

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ

Приводится критерий обнаружения мест с наибольшим уровнем плотности потока мощности. Приводятся результаты исследования электромагнитного поля в жилых помещениях. Показана эффективность электромагнитных экранов, устанавливаемых в оконных проемах.

Ключевые слова: уровень сигнала, измерения, ослабление, электромагнитные экраны.

Поддержано грантом РФФИ 08-07-97000-Р_поволжье_a.

В работе [1] была показана актуальность использования электромагнитных экранов для уменьшения плотности потока мощности вблизи излучающих антенн. Кроме того, были приведены начальные результаты исследования электромагнитных экранов. В настоящей статье будут продолжены исследования экранов, которые будут устанавливаться в оконных проемах жилых помещений.

Необходимость установки электромагнитных экранов определяется значением плотности потока мощности около оконных проемов. Рекомендованная в [2] и используемая в [3] формула (1) определения максимального расстояния d_{max} от излучающей антенны до точек местности, в которых возможно допустимое значение плотности потока мощности $P_{доп}$ не позволяет учитывать реальные значения параметров антенн и условий измерения (высота и положение относительно главной оси антенны). Все это делает формулу (1) непригодной для прогнозирования проблемных зон вблизи излучающих антенн.

$$d_{max} = 4.51 \cdot \sqrt{\frac{10^{0.1G_{np\delta}} \cdot P_{max}}{P_{доп}}} \quad (1)$$

где $G_{np\delta}$ – коэффициент усиления антенны; P_{max} – максимальная мощность передатчика.

В работе [4] авторами была показана возможность использования формулы (2) [5] как для определения точки местности с наибольшим значением плотности потока мощности в зависимости от реальных параметров излучающих антенн и места расположения наблюдателя, так и для определения самого значения плотности потока мощности в этой точке.

$$P = \frac{N_{nn} \cdot P_{max} \cdot 10^{0.1G_{np\delta}} \cdot \theta_z^2(\varphi_z) \cdot \theta_\theta^2(\varphi_\theta)}{4\pi R^2}, \quad (2)$$

где N_{nn} – число приемо-передатчиков; P_{max} – максимальная мощность передатчика; $G_{np\delta}$ – коэффициент усиления антенны; $\theta_z(\varphi_z)$ и $\theta_\theta(\varphi_\theta)$ – нормированная диаграмма направленности передающей антенны (ДНА) в горизонтальной и вертикальной плоскостях (в статье будем использовать выражение $\sin(x)/x$ для описания ДНА [5]); R – расстояние от центра передающей антенны до точки наблюдения. Выполнив по формулам (3–5) переход от полярных координат к декартовым, получим выражение, которое позволит определить плотность потока мощности вблизи интересующего оконного проема.

$$R^2 = (h1 - h2)^2 + (x^2 + y^2), \quad (3)$$

$$\varphi_z = \arg \operatorname{tg} \left(\frac{y}{x} \right), \quad (4)$$

$$\varphi_\theta = \arg \operatorname{tg} \left(\frac{h1 - h2}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right), \quad (5)$$

где $h1$ – высота подвеса антенны; $h2$ – высота точки измерения; x и y – координаты точки измерения относительно места установки антенны. Таким образом, формула (2) может быть использована для прогнозирования значения плотности потока мощности в конкретной точке измерения.

Поскольку наибольшее значение сигнала наблюдается на расстоянии, при котором наблюдатель оказывается на главной оси антенны, то для оценки наибольшего значения

плотности потока мощности примем углы φ_2 и φ_6 равными нулю. На рис. 1 показаны результаты расчета по формуле (2) зависимости плотности потока мощности типовой антенны GSM с мощностью излучения 60Вт с одним и тремя приемопередатчиками от расстояния до антенны. Из рис. 1 видно, что минимальное расстояние до излучающей антенны, при котором плотность потока мощности не превышает 10 мкВт/см^2 , составляет 80 м .

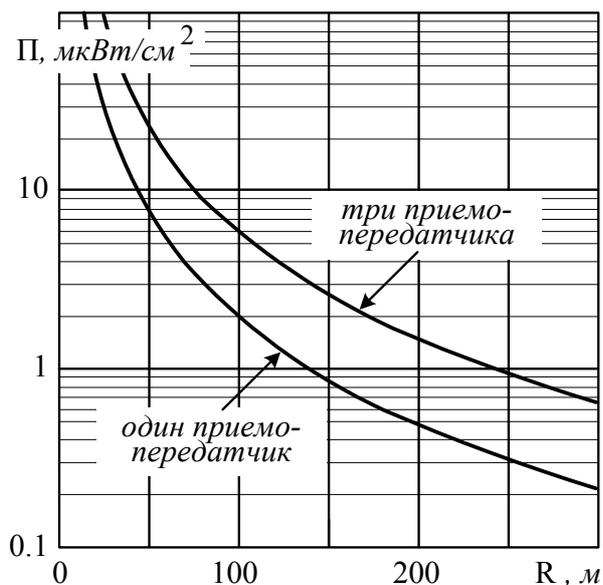


Рис. 1. Зависимость плотности потока мощности от расстояния до антенны

Таким образом, основным критерием необходимости измерения плотности потока мощности в жилом помещении может стать тот факт, что расстояние от антенны до жилого помещения составляет менее 80 м .

Проведенная серия измерений ослабления экранов в жилых помещениях с помощью разработанного мобильного измерительного терминала [6] показала, что максимальное значение плотности потока мощности не превышает 0.5 мкВт/см^2 . Для анализа величины ослабления электромагнитных экранов, устанавливаемых в оконных проемах в качестве источника излучения использовались работающие антенны стандарта GSM. В работе [1] было показано, что толщиной сплошного металлического экрана можно пренебречь, и, что на открытом пространстве экраны обеспечивают ослабление сигнала порядка $6-7\text{ дБм}$ вблизи экрана. Кроме того, в работе [1] показано, что для получения наименьшего значения

среднеквадратического отклонения (СКО) уровня сигнала необходимо вычислять оценку его математического ожидания. При этом следует выполнять четыре повторных измерения при интервале времени накопления равном трем минутам (общее число измерений составит 600 замеров, причем каждый замер есть среднее арифметическое 1024 измерений [6]).

Для подтверждения сказанного в табл. 1 приведены результаты измерения ослабления вблизи экранов, установленных в оконных проемах жилых помещений при различных параметрах эксперимента.

Табл. 1
Результаты измерения ослабления вблизи экрана при различных параметрах эксперимента

Тип экрана	Удаленность от экрана, м				Число повторных измерений	Интервал времени накопления, мин
	0.01		1			
	Ослабление, дБм	СКО, дБм	Ослабление, дБм	СКО, дБм		
Пленка 0.3 мкм	7.6	0.58	3.2	0.53	10	3
	7.7	0.58	3.1	0.49	7	
	7.3	0.16	3.0	0.34	4	
	7.3	0.17	2.9	0.38	3	5
	7.5	0.37	3.2	0.54	10	
	7.5	0.26	3.2	0.41	7	
	7.3	0.16	3.0	0.35	4	
	7.4	0.19	3.0	0.40	3	
Фольга	7.1	0.85	3.5	0.47	4	3
	7.0	1.00	3.5	0.59	4	5

Анализ данных, приведенных в табл. 1 подтверждает зависимость СКО ослабления от числа повторных измерений и от интервала времени накопления. Хотелось бы отметить, что оценка математического ожидания ослабления слабо зависит как от числа повторных измерений, так и от интервала времени накопления. Кроме того, из табл. 1 видно, что экран из фольги имеет практически такое же ослабление, что и экран, выполненный в виде пленки с металлизированным напылением порядка 0.3 мкм , что подтверждается и проведенными измерениями на открытом пространстве [1], при котором обеспечивается ослабление 7 дБм и $6,5\text{ дБм}$ соответственно.

Кроме того, в [7] показано, что стекло с металлическим напылением в диапазоне 6 ГГц обеспечивает ослабление 8–10 дБ, что согласуется с полученными автором значениями ослабления экранов.

Таким образом, ослабление вблизи экрана на открытом и в закрытом пространстве можно считать практически равными при наличии прямой видимости на антенну.

Для выявления влияния экранов, установленных в оконных проемах жилых помещений на уровень сигнала в помещении будем проводить два измерения уровня сигнала: непосредственно в центре окна P_0 и на расстоянии 1 м от центра окна P_1 (с экраном и без экрана). При этом будут фиксироваться тип здания, этаж, внутренняя обстановка помещения и положение помещения относительно излучающих антенн. На рис. 2 приведена зависимость уровня сигнала P_1 от уровня сигнала P_0 без использования экрана. Из рис. 2 видно, что между уровнем сигнала P_1 и уровнем сигнала P_0 существует линейная зависимость.

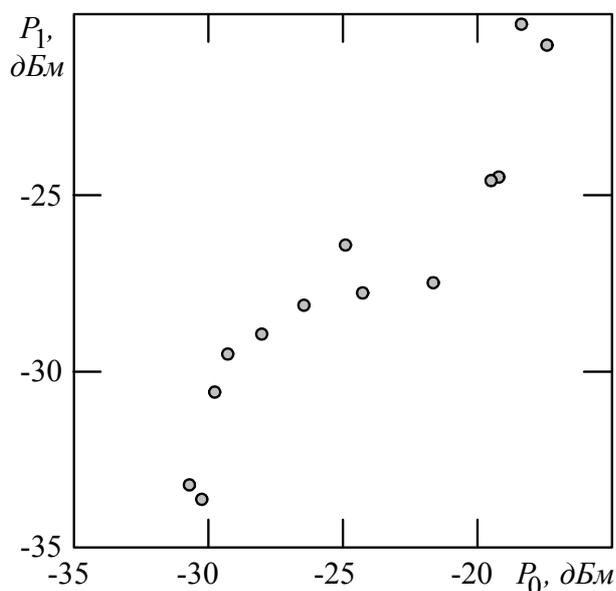


Рис.2. Зависимость уровня сигнала P_1 от уровня сигнала P_0

Для подтверждения значимости линейной регрессии $P_1 = -8.02 + 0.79P_0$ будем использовать F-критерий [8]. Вычисленное по экспериментальным данным значение $F_{31} = 79.7$ больше критического значения $F_{кр}(1, 11) = 9.65$ при степени надежности 0.99. Следовательно, гипотеза о наличии линейной связи

подтверждается. Кроме того, для численного подтверждения правильности выбора линейной зависимости рассчитаем коэффициент детерминации [8], который в нашем случае равен 94%. Таким образом, поведение уровня сигнала P_1 на 94% определяется поведением уровня сигнала P_0 . Хотелось бы отметить, что при наличии явной зависимости уровня сигнала от типа здания, указанная выше зависимость была бы очень чувствительной к конструктивным особенностям зданий и описывалась бы более сложной зависимостью.

Высказанное выше предположение об отсутствии явной зависимости уровня электромагнитного поля внутри помещения от типа здания и этажа жилого помещения проследим по подобной зависимости, но при наличии экрана в оконном проеме. Установка экрана уменьшит долю электромагнитного излучения, попадающего в помещение через окно. Таким образом, картина поля будет в большей мере определяться электромагнитным излучением проникающим через стены и межэтажные перекрытия.

На рис. 3. приведена зависимость уровня сигнала P_{31} на расстоянии 1 м от окна с электромагнитным экраном от уровня сигнала P_0 . Из рис. 3 видно, что уменьшение проникновения электромагнитного излучения через оконный проем практически не сказывается на виде зависимости уровня сигнала P_{31} от уровня сигнала P_0 : $P_{31} = -8.65 + 0.83P_0$.

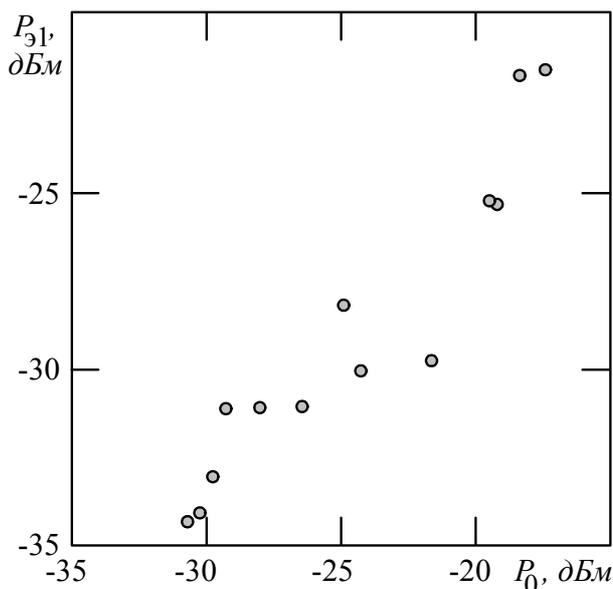


Рис. 3 Зависимость уровня сигнала P_{31} от уровня сигнала P_0

Кроме того, полученное экспериментальное значение $F_{92} = 95.5$ и коэффициент детерминации, равный 97% подтверждают гипотезу о линейной связи уровня сигнала P_{91} и уровня сигнала P_0 . При этом, уменьшение влияния оконного проема на уровень сигнала в помещении, как и предполагалось, приводит к усилению линейной связи между P_{91} и P_0 .

Хотелось бы отметить, что после установки экрана затухание сигнала на расстоянии 1 м от окна изменяется с 2.8 дБм (СКО равно 1.8 дБм) до -0.4 дБм (СКО равно 1.8 дБм). Таким образом, после установки экрана значения затухания сигнала на расстоянии 1 м от окна группируются в районе 0 ± 1 дБм с доверительной вероятностью 0.95. Значит, установка экрана приводит к относительному выравниванию уровня поля в помещении. Следовательно, уровень сигнала в помещении, в основном, определяется величиной излучения, проникающего через оконный проем.

Для выявления эффективности экранов, устанавливаемых в оконных проемах жилых помещений построим экспериментальную зависимость уменьшения уровня сигнала на расстоянии 1 м от окна после установки экрана.

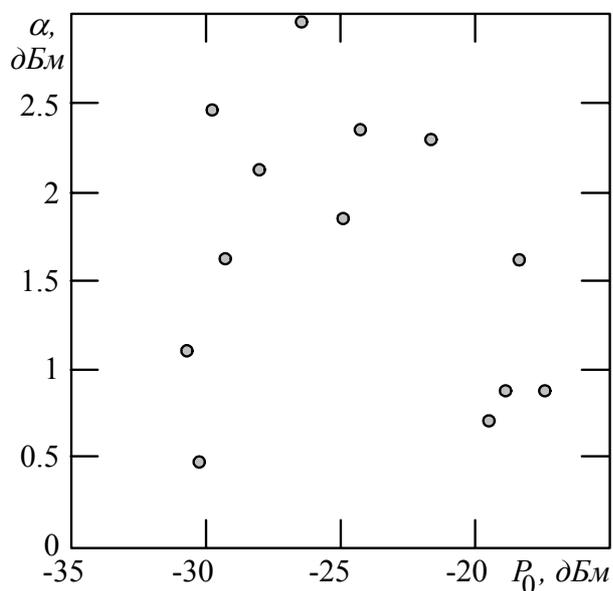


Рис. 4. Зависимость уменьшения уровня сигнала на расстоянии 1 м от экрана после установки экрана при различном уровне сигнала P_0

Из рис. 4 видно, что значение уменьшения уровня сигнала составляет 1.6 ± 0.4 дБм с доверительной вероятностью 0.95.

Таким образом, проведенные исследования экранов, устанавливаемых в оконных проемах жилых помещений показали, что:

- экраны обладают достаточно низкой эффективностью;
- уровень сигнала в помещениях слабо зависит от конструктивных особенностей жилых помещений, а определяется уровнем внешнего сигнала;
- оценка уровня электромагнитного поля в помещении может быть проведена по уровню электромагнитного поля вблизи окна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Елягин С.В. Анализ эффективности электромагнитных экранов от излучения антенн стандарта GSM // Радиоэлектронная техника : межвуз. сб. науч. тр. / под ред. В.А. Сергеева. - Ульяновск : УлГТУ. - 2008. - С. 29-33.
2. Measurement and Evaluation of High Frequency (9 kHz to 300 GHz) Electromagnetic Fields with Regard to Human Exposure. IEC, TC85 WG15, 1995. 214 p.
3. Григорьев О.А. Электромагнитные поля базовых станций подвижной радиосвязи и экология. Характеристика и оценка электромагнитной обстановки вокруг базовых станций подвижной радиосвязи / Григорьев О.А., Меркулов А.В., Григорьев К.А. // Радиационная биология. Радиоэкология. - 2005. - Т.45, N 6. - С. 722-725.
4. Елягин С. В. Анализ плотности потока мощности (ППМ) вблизи излучающих антенн // Вестник Ульяновского государственного технического университета. - 2008. - №4. - С. 51-54.
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.
6. Елягин С. В. Измерение плотности потока мощности с помощью мобильного измерительного терминала // Вестник Ульяновского государственного технического университета. - 2008. - №2. - С. 56-58.
7. http://grachev.distudy.ru/Uch_kurs/sredstva/Templ1/templ_1_6.htm.
8. <http://www.yartel.ru/stat>.

•••••

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