

УДК 621.396:621.391.82

**ВЛИЯНИЕ ДЕКОРАТИВНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
ПОКРЫТИЙ ЗДАНИЙ НА ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ ОБСТАНОВКУ  
И ЭЛЕКТРОМАГНИТНУЮ СОВМЕСТИМОСТЬ РАДИОСИСТЕМ**

*Канд. техн. наук МОРДАЧЕВ В. И., докт. техн. наук, проф. ЮРЦЕВ О. А.,  
ЛИТВИНКО П. А.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники*

Использование декоративных металлических покрытий, в частности алюминиевого листового покрытия, для улучшения внешнего вида зданий и их защиты от воздействий значи-

тельно изменяет их электродинамические характеристики и способно существенно влиять на электромагнитную обстановку (ЭМО) в окрестности этих зданий, а также на электро-

магнитную совместимость радиоэлектронных средств (ЭМС РЭС) различных служб, использующих эти здания для размещения приемопередающих антенн, либо РЭС, расположенных на небольшом расстоянии. Данное влияние, как правило, выражается в:

- изменении диаграмм направленности (ДН) размещенных на здании антенн, включая изменение направлений главных лепестков ДН;
- изменении условий дифракции радиоволн на элементах здания и увеличении коэффициента отражения радиоволн от его поверхности;
- образовании вторичных интермодуляционных излучений (пассивной интермодуляции) при облучении здания мощным электромагнитным полем за счет нелинейного преобразования (детектирования) высокочастотных токов, наводимых на элементах металлического декоративного покрытия, на подверженных окислению электрических контактах между этими элементами [1–3].

По реальным фактам влияния декоративного алюминиевого покрытия одного объекта, размещение антенн радиостанций на котором схематически приведено на рис. 1, расположенного на небольшом расстоянии от мощного радиопередающего центра, на изменение ЭМО в окрестности этого объекта были предприняты исследования, направленные на определение причин возникших электромагнитных помех стационарным и мобильным радиостанциям диапазона ОВЧ, размещенным на этом объекте и в его окрестности.

**Численное моделирование ДН антенн с учетом присутствия близкорасположенных проводящих поверхностей.** Геометрия объекта и варианты размещения на нем антенн радиостанций диапазона ОВЧ приведены на рис. 1.

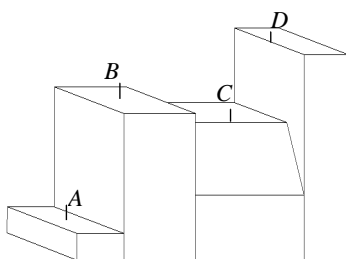


Рис. 1

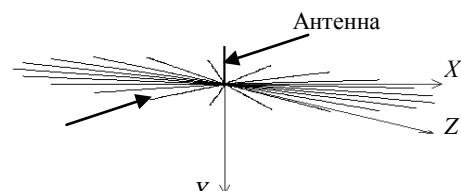
Типовым для рассматриваемых ситуаций является следующее:

- сложная многоуровневая геометрия верхней металлической поверхности, наличие выступающих элементов (лифтовых надстроек, башен и т. п.) и наклонных поверхностей (металлическая кровля);
- размещение антенн на различных расстояниях от граней, образуемых горизонтальными и вертикальными (наклонными) металлическими поверхностями.

Практическое большинство радиостанций диапазона ОВЧ, включая радиостанции на рассматриваемом объекте, имеют вибраторные антенны и полосу рабочих частот шириной  $\approx 20\%$  от значения центральной частоты настройки. При этом типовыми вариантами размещения антенн являются:

- размещение антенн на горизонтальной либо имеющей незначительный наклон плоской проводящей поверхности на удалении от края не менее длины волны  $\lambda$  (антенны *A* и *B* на рис. 1);
- размещение антенн в непосредственной близости от грани, образуемой горизонтальной и наклонной (антенна *C* на рис. 1) либо горизонтальной и вертикальной (антенна *D* на рис. 1) проводящими поверхностями;
- взаимное размещение антенн в пределах прямой видимости (антенны *B* и *C* по отношению к антенне *D*), а также в области радиотени (антенны *B*, *C* и *D* по отношению к антенне *A*).

Численное моделирование ДН вибраторных антенн, размещенных на верхних поверхностях объекта, проведено методом моментов [4]. При его выполнении использованы две модели проводящей поверхности (рис. 2): модель 1 – металлическая поверхность аппроксимирована системой радиальных проводников; модель 2 – то же системой металлических проводников в виде решетки.



Модель 1

X

Z

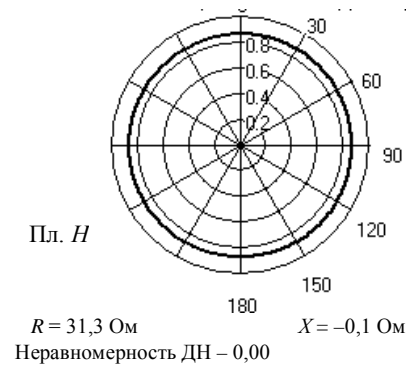
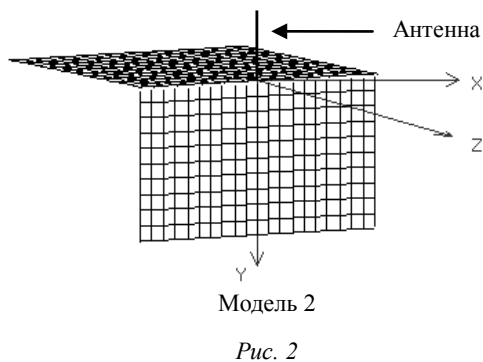
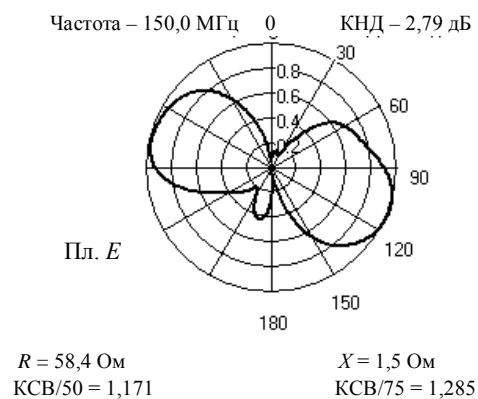


Рис. 3

Ниже приведены результаты моделирования для:

- случая 1: вертикальный вибратор  $Z$  расположен в глубине горизонтальной металлической поверхности, использована модель 1 (рис. 2) при следующих исходных данных: длина вибратора четверть длины волны ( $0,224\lambda$ ), длина аппроксимирующих проводников ограничена длиной волны  $\lambda$ . ДН в вертикальной (плоскости  $E$ ) и горизонтальной (плоскости  $H$ ) плоскостях показаны на рис. 3. На этом рисунке приведены также значения КНД, входного сопротивления ( $R + iX$ ), КСВН в линиях с волновым сопротивлением 50 и 75 Ом и неравномерность ДН в горизонтальной плоскости;



- случая 2: вертикальный вибратор расположен на краю горизонтальной металлической поверхности, переходящей в наклонную проводящую поверхность с углом наклона  $\beta = 60^\circ$  по отношению к горизонтали, использована модель 1 (рис. 2) при исходных данных, соответствующих предыдущему случаю. ДН в вертикальной (плоскости  $E$ ) и горизонтальной (плоскости  $H$ ) плоскостях показаны на рис. 4. На этом рисунке также приведены значения КНД, входного сопротивления, КСВН в линиях с волновым сопротивлением 50 и 75 Ом и неравномерность ДН в горизонтальной плоскости;

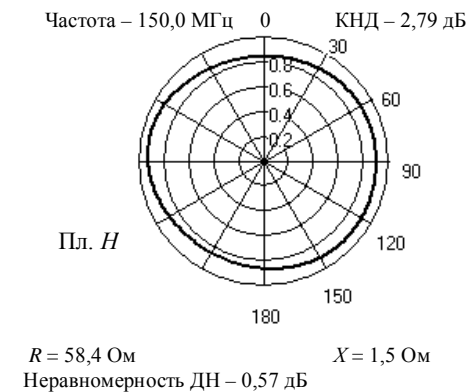
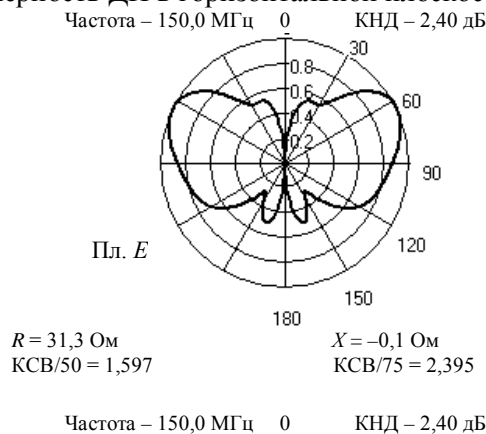


Рис. 4



- случая 3: вертикальный вибратор расположен на краю горизонтальной металлической поверхности, переходящей в вертикальную проводящую поверхность, использована вторая модель 2 (рис. 2) при исходных данных, соответствующих предыдущим случаям. ДН в вертикальной (плоскости  $E$ ) и горизонтальной (плоскости  $H$ ) плоскостях показаны на рис. 5. На этом рисунке также приведены значения КНД, входного сопротивления, КСВН в линиях с волновым сопротивлением 50 и 75 Ом и неравномерность ДН в горизонтальной плоскости.

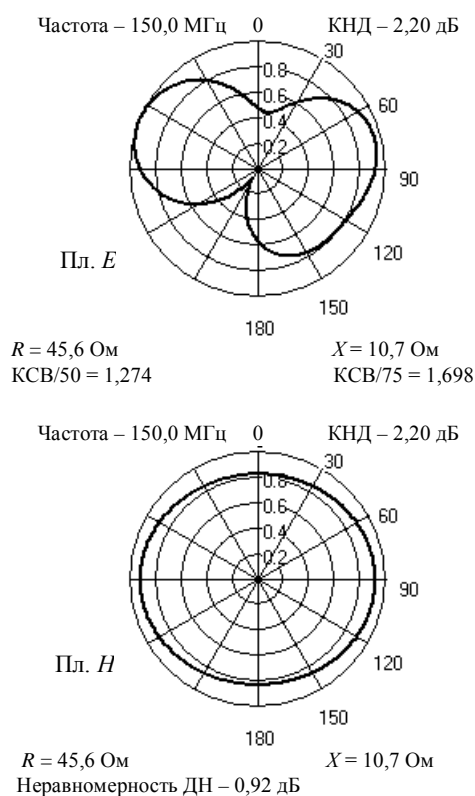


Рис. 5

Анализ полученных в результате моделирования ДН (рис. 3–5), а также оценка изменений этих ДН при изменении рабочих частот, соответствующих РЭС, свидетельствуют о следующем:

1) расположение антенны в глубине проводящей поверхности сопровождается «отжиманием» главного лепестка ДН вверх, что приводит к увеличению усиления антенны в направлениях  $(20\text{--}60)^\circ$  по углу места. Это может ухудшить ЭМС РЭС на объекте при размещении антенн этих РЭС на различных уровнях, когда взаимные углы визирования РЭС попадают в указанный диапазон значений угла места;

2) расположение антенны у края горизонтальной проводящей поверхности, переходящей в наклонную (металлическая кровля) либо вертикальную (вертикальная стена с декоративным металлическим покрытием) поверхность, приводит к существенному отклонению на  $(20\text{--}60)^\circ$  вниз главного лепестка ДН в направлении «от объекта» и на  $(20\text{--}40)^\circ$  вверх в направлении «в глубь объекта» при заметном снижении усиления антенны в горизонтальной

плоскости. Это также может являться причиной ухудшения ЭМС РЭС на объекте и в его окрестности при размещении антенн этих РЭС на различных уровнях, когда взаимные углы визирования РЭС соответствуют указанным значениям угла места, а также уменьшить дальность связи за счет снижения усиления антенн в горизонтальной плоскости на 1,5–2,5 дБ.

При размещении антенн на различных уровнях отклонение их ДН вверх от горизонтальной проводящей поверхности и вниз «вдоль» вертикальной либо наклонной проводящей поверхности в сочетании с улучшением условий отражения радиоволн от поверхности объекта и их дифракции на многочисленных острых гранях, образуемых проводящими поверхностями, может обеспечить совокупное снижение потерь распространения радиоволн между антеннами, расположенными в пределах прямой видимости, до 3–4 дБ и более, а для антенн, располагаемых в области тени, – до 5–10 дБ, что способно привести к существенному усилению паразитных электромагнитных связей между РЭС объекта и недопустимому увеличению уровня непреднамеренных помех между ними.

**Результаты моделирования отражения радиоволн.** Численное моделирование отражения электромагнитного поля, создаваемого вибраторной антенной, от декоративного металлического покрытия, также выполненное методом моментов, позволяет сделать следующие выводы:

1) применение декоративного металлического покрытия сопровождается увеличением уровней радиоволн, отраженных от соответствующих поверхностей (стен, кровли) зданий, сооружений, на 2–3 дБ и более. Это также способно привести к существенному усилению паразитных электромагнитных связей между РЭС объекта и недопустимому увеличению уровней непреднамеренных помех между ними. Использование в качестве материалов покрытия металлических сплавов с относительно малой электрической проводимостью, в частности нержавеющей стали различного состава или непроводящих декоративных материалов с поверхностной металлизацией, практически не дает эффекта по сравнению с отражением от широко используемого покрытия на основе алюминия;

2) увеличение экранирующей способности стен зданий за счет применения декоративного металлического покрытия способно ухудшить внутри этих зданий качество мобильной радиосвязи различного назначения, а также экологичность сотовой связи внутри этих зданий. Последнее обусловлено увеличением излучаемой мощности абонентских станций, компенсирующим увеличение базовых потерь при распространении радиоволн между базовой и абонентскими станциями сотовой сети.

**Результаты экспериментальных исследований ЭМО на объекте.** Экспериментальные исследования ЭМО на объекте, выполненные с использованием измерителя напряженности поля в комплекте с измерительным приемником SMR4518 и измерительной антенной Пб-61, позволили обнаружить присутствие весьма редко встречающейся в наземных группировках РЭС нестационарной пассивной интермодуляционной радиопомехи с уровнями, на 20–25 дБ превышающими уровень чувствительности типовых радиостанций диапазона ОВЧ. На рис. 6 приведена спектрограмма помеховой обстановки (по среднему и пиковому значениям напряженности поля в полосе анализа 9 кГц), наблюдаемой на выходе приемной антенны одной из радиостанций, размещенных на объекте. Подавляющее большинство узкополосных компонент этой спектрограммы представляет собой пассивную интермодуляцию, образуемую на полупроводящих контактах элементов алюминиевого декоративного покрытия объекта. Эта помеха наблюдалась периодически в течение 10–20 с в период совпадения сеансов «подсветки» объекта мощным электромагнитным полем от ряда РЭС, расположенных на различном удалении от объекта. Спектрограмма ЭМО в периоды существенно меньшей интенсивности внешнего электромагнитного поля приведена на рис. 7. Исходя из требований конфиденциальности на спектрограммах указаны условные значения частот, принадлежащих диапазону двухметровых волн.

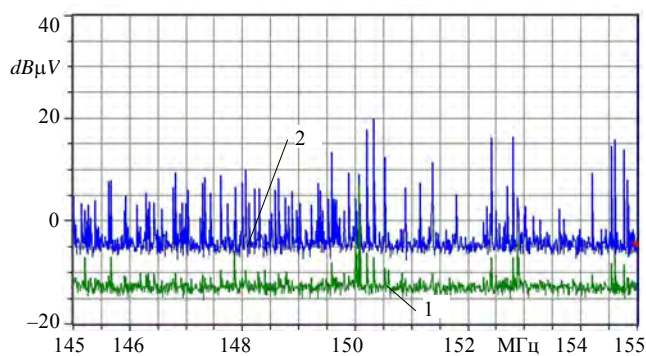


Рис. 6. 1 – АВ; 2 – ПК

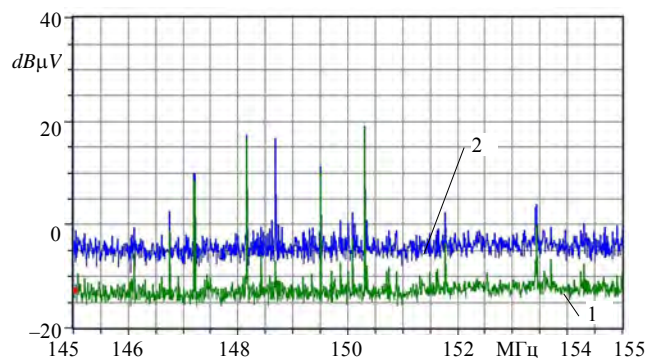


Рис. 7. 1 – АВ; 2 – ПК

## ВЫВОДЫ

1. Использование металлических декоративных покрытий зданий на объектах, насыщенных большим числом РЭС, может существенно повлиять на внутри- и межобъектовую ЭМС РЭС за счет существенного изменения характеристик электромагнитных связей между антеннами, изменения условий интерференции и дифракции радиоволн за счет существенного увеличения электрической проводимости поверхности зданий.

2. При размещении слабонаправленных антенн диапазонов ВЧ–УВЧ на зданиях с металлическим декоративным покрытием следует учитывать искажения их диаграмм направленности в вертикальной и горизонтальной плоскостях в зависимости от характера размещения антенн по отношению к проводящим плоскостям объекта (здания, сооружения).

3. В связи с увеличением опасности возникновения пассивных интермодуляционных помех следует воздерживаться от использования декоративных металлических покрытий зданий и сооружений, располагаемых вблизи мощных

радиопередатчиков и радиопередающих центров, особенно функционирующих в нижней части освоенной полосы частот (диапазоны ОНЧ–УВЧ), и на относительно небольшом удалении от высокочувствительных радиоприемных комплексов (магистральной радиосвязи, радионавигации, радиолокации и т. п.).

4. Для уменьшения опасности возникновения пассивных интермодуляционных помех за счет возникновения нелинейных свойств электрических контактов элементов декоративного металлического покрытия при его коррозии под воздействием внешней среды (атмосферного кислорода, осадков, росы и т. п.) необходимо разработать специальные технологические приемы закрепления металлических покрытий на поверхности зданий, сооружений, которые исключали бы электрические контакты между элементами декоративного покрытия либо, наоборот, обеспечивали бы хорошо защищенное контактное соединение этих элементов покрытия, например, сварным швом.

5. Декоративное металлическое покрытие зданий способно существенно усилить экранирование внутренних помещений по отношению к внешним источникам электромагнитных излучений (ЭМИ) и, как следствие, ухудшить качество сотовой связи внутри помещений, а также ухудшить ее экологичность в силу того, что вносимое дополнительное затухание при распространении радиоволн между внешней базовой станцией сотовой связи и абонентскими станциями, располагаемыми внутри помещения, будет компенсировано системой сотовой связи адекватным увеличением мощности ЭМИ абонентских станций за счет имеющейся в сетях сотовой связи второго и третьего поко-

лений стандартов GSM, CDMA (IMT-МC), UMTS (IMT) системной регулировки мощности ЭМИ абонентских станций.

6. Экранирование внутренних помещений по отношению к внешним источникам ЭМИ способно улучшить условия ЭМС радиосистем, используемых в помещениях, и внешних радиосистем, использующих те же полосы частот, в частности ЭМС сетей беспроводного широкополосного доступа, расположенный внутри зданий и сооружений (Wi-Fi) с сетями беспроводного широкополосного доступа, функционирующими вне зданий и сооружений (WiMAX), в полосах радиочастот 2400–2483,5 МГц [5, 6].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Siwiak, K.** Radiowave Propagation and Antennas for Personal Communications. Second Edition / K. Siwiak. – Boston, Artech House, 1998. – 418 p.
2. **Распространение** радиоволн за счет дифракции: рекомендация МСЭ-R 526-9. – 37 с.
3. **Catrysse, J.** Passive Intermodulation / J. Catrysse // Post-graduate course on International Symposium on Electromagnetic Compatibility «EMC Europe 2006», Spain, Barcelona, Sept. 4–8, 2006. – 20 p.
4. **Митра, Р.** Вычислительные методы электродинамики / Р. Митра. – М.: Мир, 1977. – 485 с.
5. **Об использовании** полосы радиочастот 2400–2483 МГц для эксплуатации оборудования беспроводного широкополосного доступа на безлицензионной основе: решение Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) Респ. Беларусь № 14/06 от 29.03.2006.
6. **Об использовании** полосы радиочастот 2400–2483 МГц для строительства и эксплуатации технологических сетей беспроводного широкополосного доступа на безлицензионной основе: решение ГКРЧ Респ. Беларусь № 15/06 от 29.03.2006.

Поступила 21.11.2008

УДК 531.3; 796.01

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СПОРТИВНОГО СНАРЯДА

*ПОКАТИЛОВ А. Е., докт. пед. наук, доц. ЗАГРЕВСКИЙ В. И., ЛАВШУК Д. А.*

*Могилевский государственный университет продовольствия,*