

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫ, УСТАНОВЛЕННОЙ НА ПОДВИЖНОМ ОБЪЕКТЕ РАДИОСВЯЗИ

А.А. Боробов¹, Н.Я. Карасик¹, Н.О. Лукьянов^{1*}, Б.В. Сосунов¹

¹Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного,
Санкт-Петербург, 194064, Российская Федерация

*Адрес для переписки: lukyanovno@yandex.ru

Информация о статье

УДК 621.396.67

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Боробов А.А., Карасик Н.Я., Лукьянов Н.О., Сосунов Б.В. Исследование характеристики направленности антенны, установленной на подвижном объекте радиосвязи // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 1. С. 13–21.

Аннотация: В статье представлены методика и результаты решения задачи дифракции электромагнитных волн, возбуждаемых размещенным на автомобиле ГАЗ-2330 излучателем. Расчеты характеристик направленности осуществлялись методом конечных разностей во временной области. Проведено исследование зависимости характеристик направленности в дальней зоне излучателя от его положения на автомобиле и частоты излучения. По результатам проведенных расчетов сформулированы рекомендации по размещению антенн с учетом снижения влияния автомобиля на искажение характеристики направленности.

Ключевые слова: метод конечных разностей во временной области, дифракция, вертикальный несимметричный вибратор, характеристика направленности, коэффициент неравномерности диаграммы направленности.

Развитие современного вооружения и военной техники, а также опыт локальных вооруженных конфликтов в различных точках планеты показал необходимость создания эффективной и устойчивой системы связи, не требующей значительных затрат времени на развертывание. При таких условиях развитие и совершенствование средств радиосвязи, размещаемых на подвижных объектах, является актуальной задачей.

Однако при размещении средств радиосвязи и их антенн на подвижных объектах возникают различного рода трудности, связанные с необходимостью обеспечения электромагнитной совместимости технических средств, а также с влиянием металлической конструкции объекта на электрические параметры антенного устройства. Особенно претерпевает изменения характеристика направленности антенн, которая будет существенно меняться в зависимости от положения антенны на объекте и от рабочей частоты [1].

В вооруженных силах различных стран, в том числе и в нашей стране, в настоящее время применяются подвижные средства радиосвязи, расположенные на небольших, быстрых и маневренных автомобилях. Одним из таких подвижных объек-

тов связи является командно-штабная машина (КШМ) Р-145БМА на базе ГАЗ-2330 (далее по тексту – КШМ).

Размещение антенно-фидерных устройств (АФУ) радиосредств на КШМ накладывает определенные трудности, связанные с конструктивными особенностями объекта, металлический корпус которого будет оказывать влияние на характеристику направленности антенн [2]. От выбора места размещения будет зависеть форма диаграммы направленности, а соответственно и качество обеспечения связи для разного направления на корреспондента будет отличаться.

При этом антенны должны обладать малыми размерами и позволять обеспечивать радиосвязь как в движении, так и на стоянках, никак не ограничивать перемещение КШМ по пересеченной местности и в различных сложных условиях обстановки, а также при ведении боевых действий. В основном радиосредства КШМ предназначены для обеспечения взаимодействия и управления подразделениями при работе в радиосети, поэтому необходимо иметь антенны с ненаправленной диаграммой в горизонтальной плоскости.

В настоящее время в известной литературе отсутствуют публикации, в которых были бы представлены результаты исследований влияния металлического корпуса автомобильной базы КШМ Р-145БМА на электрические характеристики антенн, размещаемых на ней.

Известно, что для исследования влияния объекта-носителя на электрические характеристики антенн необходимо знать особенности его эксплуатации и габариты. КШМ предназначена для организации связи руководителя специального мероприятия на стоянке и в движении с руководством федеральных органов исполнительной власти, подчиненными силами и подразделениями, с взаимодействующими органами управления, местными органами исполнительной власти. КШМ со второй половины 2000-х годов эксплуатируется Внутренними Войсками (Росгвардией) МВД РФ и Российской Армией. Рабочие места расчета и целевое оборудование машины размещены внутри закрытого стального цельносварного броневоего корпуса с двумя боковыми и одной задней двухстворчатой дверями, установленного на раме шасси за моторным отсеком.

В состав оснащения КШМ входят несколько ультракоротковолновых (УКВ) радиостанций, рабочий диапазон которых занимает полосу частот от 30 до 463 МГц. Внешний вид КШМ с АФУ представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Внешний вид КШМ Р-145БМА с АФУ

Для того, чтобы провести расчет влияния автомобиля на характеристику направленности, необходимо знать его габариты, а также электрические параметры материала, из которого изготовлен автомобиль. На рисунке 2 представлена конфигурация и размеры автомобиля ГАЗ-2330.

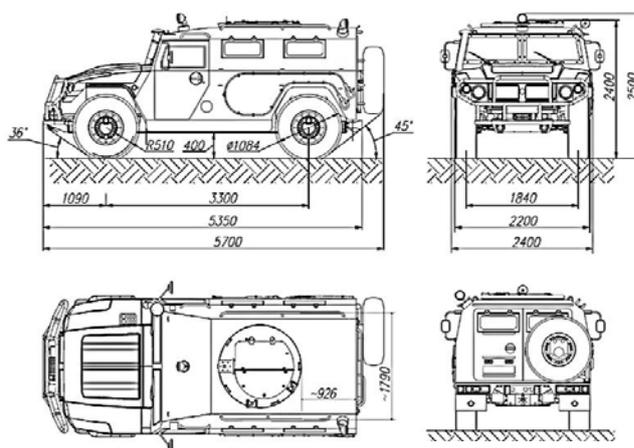


Рис. 2. Габариты автомобиля Газ-2330

Корпус автомобиля состоит из автомобильной бронированной стали с удельной проводимостью $\sigma = 7,6 \cdot 10^6$ см/м. Бронированное стекло автомобиля имеет следующие электрические параметры: $\sigma = 10^{-10}$ см/м, относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 6$, относительная магнитная проницаемость $\mu = 12,6$. Для исследования влияния корпуса автомобиля на характеристику направленности расположенных на нем антенн необходимо решить задачу дифракции электромагнитных волн (ЭМВ), возбуждаемых излучателем. Для этого следует применить численный метод решения задач электродинамики: в частности, метод конечных разностей во временной области (КРВО) гипотетически позволяет решить задачу дифракции и производить расчеты характеристики направленности антенн с учетом влияния металлического корпуса объекта, на котором они размещаются [3].

Однако моделирование электродинамических процессов в КРВО имеет особенность, которая заключается в том, что при решении задач этим методом в начальный момент времени $t = 0$ во всей расчетной области электрические и магнитные составляющие электромагнитного поля (ЭМП) равны нулю, а с течением времени происходит плавное увеличение амплитуд компонент ЭМП до наступления установившихся гармонических колебаний. Время от начала процесса расчета методом КРВО до изменения компонент ЭМП по гармоническому закону называется временем длительности переходных процессов $t_{\text{прх}}$. Для различных форм объектов это время различно, но, как правило, среднее его значение составляет четыре периода изменения компонент ЭМП, поэтому возникает необходимость отсрочки начала исследования распределения ЭМП на время протекания переходных процессов. И поскольку расчетная область пространства всегда ограничена, очень важно, чтобы отраженная от ее границ волна не успела достичь точки наблюдения. Пример мгновенного изменения значения тока в точке питания антенны представлен на рисунке 3.

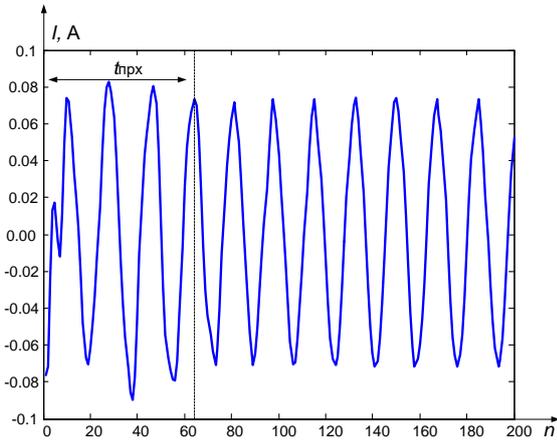


Рис. 3. Переходный процесс при мгновенном распределении тока в точке питания антенны

На первоначальном этапе необходимо создать массивы для хранения составляющих ЭМП; размеры этих массивов равны количеству узлов, получающихся при разбиении расчетной области в соответствии с выбранным шагом дискретизации.

На рисунке 4. представлен шаблон для вычисления методом КРВО H_x -составляющей ЭМП.

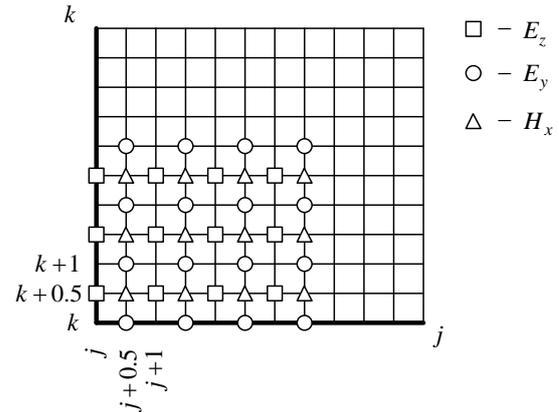


Рис. 4. Вычислительный шаблон

Для расчета методом КРВО составляющих вектора напряженности электрического \vec{E} и магнитного \vec{H} поля известные уравнения Максвелла, записанные в конечно-разностной форме, преобразуются к виду [4]:

$$E_x^n(i, j, k) = E_x^{n-1}(i, j, k) \cdot \frac{1 - \frac{\Delta t \sigma(i, j, k)}{2\varepsilon(i, j, k)}}{1 + \frac{\Delta t \sigma(i, j, k)}{2\varepsilon(i, j, k)}} + \frac{\Delta t}{\varepsilon(i, j, k)} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta t \sigma(i, j, k)}{2\varepsilon(i, j, k)}} \times \left[\frac{H_z^{n+0.5}(i, j, k) - H_z^{n+0.5}(i, j - 1, k)}{\Delta y} - \frac{H_y^{n+0.5}(i, j, k) - H_y^{n+0.5}(i, j, k - 1)}{\Delta z} \right] \quad (1)$$

$$E_y^n(i, j, k) = E_y^{n-1}(i, j, k) \cdot \frac{1 - \frac{\Delta t \sigma(i, j, k)}{2\varepsilon(i, j, k)}}{1 + \frac{\Delta t \sigma(i, j, k)}{2\varepsilon(i, j, k)}} + \frac{\Delta t}{\varepsilon(i, j, k)} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta t \sigma(i, j, k)}{2\varepsilon(i, j, k)}} \times \left[\frac{H_x^{n+0.5}(i, j, k) - H_x^{n+0.5}(i, j, k - 1)}{\Delta z} - \frac{H_z^{n+0.5}(i, j, k) - H_z^{n+0.5}(i - 1, j, k)}{\Delta x} \right] \quad (2)$$

$$E_z^n(i, j, k) = E_z^{n-1}(i, j, k) \cdot \frac{1 - \frac{\Delta t \sigma(i, j, k)}{2\varepsilon(i, j, k)}}{1 + \frac{\Delta t \sigma(i, j, k)}{2\varepsilon(i, j, k)}} + \frac{\Delta t}{\varepsilon(i, j, k)} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta t \sigma(i, j, k)}{2\varepsilon(i, j, k)}} \times \left[\frac{H_y^{n+0.5}(i, j, k) - H_y^{n+0.5}(i - 1, j, k)}{\Delta x} - \frac{H_x^{n+0.5}(i, j, k) - H_x^{n+0.5}(i, j - 1, k)}{\Delta y} \right] \quad (3)$$

$$H_x^{n+0.5}(i, j, k) = H_x^{n-0.5}(i, j, k) + \frac{\Delta t}{\mu(i, j, k)} \times \left[\frac{E_y^n(i, j, k + 1) - E_y^n(i, j, k)}{\Delta z} - \frac{E_z^n(i, j + 1, k) - E_z^n(i, j, k)}{\Delta y} \right] \quad (4)$$

$$H_y^{n+0.5}(i, j, k) = H_y^{n-0.5}(i, j, k) + \frac{\Delta t}{\mu(i, j, k)} \times \left[\frac{E_z^n(i + 1, j, k) - E_z^n(i, j, k)}{\Delta x} - \frac{E_x^n(i, j, k + 1) - E_x^n(i, j, k)}{\Delta z} \right] \quad (5)$$

$$H_z^{n+0.5}(i, j, k) = H_z^{n-0.5}(i, j, k) + \frac{\Delta t}{\mu(i, j, k)} \times \left[\frac{E_x^n(i, j + 1, k) - E_x^n(i, j, k)}{\Delta y} - \frac{E_y^n(i + 1, j, k) - E_y^n(i, j, k)}{\Delta x} \right] \quad (6)$$

В формулах (1)–(6) полуцелые индексы заменены на целые путем уменьшения на пол-индекса. Например, для H_x составляющей $j + 0.5$ заменено на j , а $k + 0.5$ заменено на k . Тем самым исключены полуцелые индексы (см. рисунок 4), которые одновременно выполняют роль координат элементов массива, хранящего численные значения проекций векторов ЭМП и пространственных координат соответствующих проекций векторов ЭМП.

Поля \vec{E} и \vec{H} вычисляются со сдвигом на полшага по времени. Будем использовать следующие обозначения: E^n – значение поля \vec{E} на только что вычисленном шаге; E^{n+1} – значение поля E на вычисляемом сейчас шаге; $H^{n-0.5}$ – значение поля \vec{H} на только что вычисленном шаге; $H^{n+0.5}$ – значение поля на вычисляемом сейчас полушаге. Отсюда следует, что процедура вычислений начинается с поля $H^{n+0.5}$, потому что в момент $t = 0$ ($n = 0$)

установлены начальные условия по всему счетному объему: все значения полей \vec{E} и \vec{H} равны нулю. Можно считать, что пространственная сетка проходит через вектор \vec{H} ; процедура счета начинается с поля \vec{E} . Для учета объектов и среды распространения ЭМВ при расчете методом КРВО необходимо задать ϵ , μ , σ для каждого узла расчетной области, причем для каждой проекции свои. Параметры среды ϵ , μ , σ задаются в виде массивов. Размеры массивов ϵ , μ , σ и размеры массивов проекций векторов ЭМП равны между собой. Создание массивов параметров среды вызвано тем, что проекции векторов ЭМП при вычислении методом КРВО разнесены в пространстве. Из-за этого на границе раздела сред для элементов массивов проекций векторов ЭМП при одинаковых (i, j, k) , будут различные численные значения ($\epsilon_1, \mu_1, \sigma_1$ или $\epsilon_2, \mu_2, \sigma_2$).

Для пояснения рассмотрим небольшой пример. На рисунке 5 изображена дискретизированная область, заполненная вакуумом (σ_1, ϵ_1) и идеально проводящий прямоугольник (σ_2, ϵ_2).

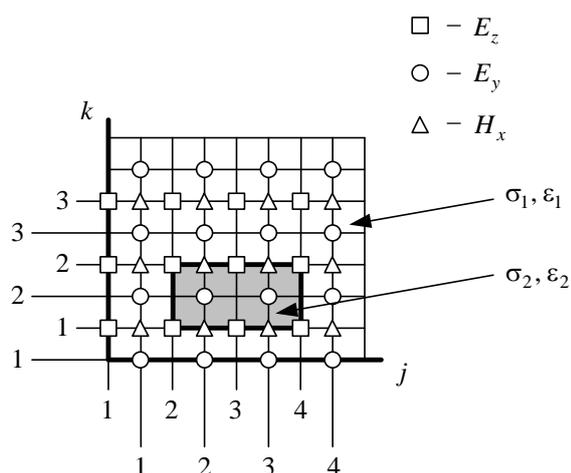


Рис. 5. Схема пространства КРВО с различными параметрами среды

Согласно схеме (см. рисунок 5), при вычислении E_y в столбцах со второго по третий включительно во второй строке $\sigma, \epsilon = \sigma_2, \epsilon_2$, во всех остальных узлах $\sigma, \epsilon = \sigma_1, \epsilon_1$. При вычислении E_z в столбцах со второго по четвертый включительно в строках с первой по вторую $\sigma, \epsilon = \sigma_2, \epsilon_2$, во всех остальных узлах $\sigma, \epsilon = \sigma_1, \epsilon_1$.

Рассмотрим основные этапы решения задач дифракции, которое осуществляется методом КРВО путем моделированием электродинамических процессов на основе исходных данных.

1) Ввод исходных данных. В декартовой системе координат задается трехмерная расчетная область $V_{i, j, k}$, состоящая из элементарных ячеек КРВО и достаточная для завершения переходного процесса. В i, j, k -узлах ячеек расчетной области задаются различные параметры моделируемых объектов и пространства ϵ, μ, σ .

2) Определение размеров расчетной области. Доказано, что для завершения переходных процессов необходимо задавать размеры расчетной области вдоль осей координат не менее десяти длин волн [4].

3) Определение приращений по пространству. Точность и устойчивость алгоритмов, реализующих вычисления на основе метода КРВО, определяется выбором величины шага сетки по осям координат $\Delta x, \Delta y$ и Δz , которые должны быть малы по сравнению с длиной волны. Размер ячеек вдоль осей координат задается в зависимости от шага дискретизации d . Для упрощения вычислений и программного моделирования объектов сложной формы целесообразно выбирать равные размеры ячейки вдоль осей координат. Шаг дискретизации выбирается так, чтобы при аппроксимации была возможность максимально точно детализировать объект сложной формы. При этом шаг дискретизации должен быть $d \geq \frac{\lambda}{10}$, где λ – длина волны, на которой проводятся расчеты. Однако очень малый шаг потребует значительных объемов оперативной памяти, что ограничивает выбор шага дискретизации.

4) Расчет приращения по времени согласно условию Куранта-Фридрихса-Леви. Расчет в методе КРВО проводится как в пространстве, так и во времени. В трехмерной задаче для обеспечения пошаговой устойчивости алгоритма во времени, шаг временной дискретизации Δt выбирают согласно условию Куранта-Фридрихса-Леви [4].

5) Аппроксимация объекта, антенны и модели возбуждения. В методе КРВО объект сложной геометрической формы аппроксимируется элементарными кубическими ячейками; при выборе малого шага дискретизации можно аппроксимировать объекты практически любой геометрической сложности. В центр расчетной области помещается аппроксимационная модель объекта. Согласно месту ее расположения в расчетной области записываются численные значения электромагнитных параметров среды в зависимости от $i = 1, 2, \dots, i_n, j = 1, 2, \dots, j_n, k = 1, 2, \dots, k_n$. Так как дискретизация расчетного пространства производится эквидистантной сеткой, то создается по одному массиву для каждого параметра среды. Выбирается модель излучателя: самым простым является модель бесконечно тонкого вертикального несимметричного вибратора. Антенна помещается над моделью объекта на расстоянии одной ячейки КРВО. Между излучателем и металлическим экраном задается источник возбуждения антенны в возбуждающем зазоре $U = A \sin(2\pi f n \Delta t)$, где n – номер временного шага. Так как метод КРВО оперирует значениями векторов поля \vec{E} и \vec{H} , то напряжение задается через напряженность электрического поля $U = -E_z^n(i, j, k) \Delta z$, где $E_z^n(i, j, k)$ – составляющая вектора напряженности электрического поля, в точке питания антенны, узле с координатами i, j, k [5].

6) Ввод времени наблюдения за исследуемым объектом. Количество временных отсчетов N_t выбирается таким, чтобы за этот интервал t закончился переходный процесс излучения. Математически это выражается, как $N_t \geq t_{\text{прх}}/\Delta t$, где: $t_{\text{прх}}$ – время, необходимое для завершения переходного процесса, Δt – шаг временной дискретизации.

7) Создание массивов проекций векторов ЭМП. Уравнения Максвелла записываются в конечно-разностной форме относительно осей координат (1)–(6). В начальный момент времени во всей расчетной области значение полей \vec{E} , \vec{H} равны нулю. Источник генерирует значение напряжения, выраженного через напряженность электрического поля в возбуждающем зазоре на каждом временном шаге. Поля \vec{E} и \vec{H} вычисляются со сдвигом на полшага по времени. Сначала вычисляются значения магнитных составляющих ЭМВ (H_x , H_y , H_z) на временном отсчете $n = n + 0,5$ во всей расчетной области. Далее методом КРВО вычисляются значения электрических составляющих ЭМВ (E_x , E_y , E_z) на временном шаге $n = n + 1$, с использованием обновленных значений H_x , H_y , H_z . Процесс вычислений повторяется в течение всего заданного цикла. Время и пространство рассчитано таким образом, что просчитывается пять периодов изменения составляющих ЭМП. Этого достаточно для установления гармонических колебаний и получения достаточно точного результата.

8) Расчет характеристики направленности. Производится расчет амплитудного распределения вектора напряженности электрического поля с учетом отраженных волн, а также расчет характеристики направленности, искажаемой объектом, на котором размещаются излучатель [5].

Для исследования влияния металлического корпуса реального автомобиля ГАЗ-2330 СПМ-2 «Тигр» на характеристику установленных на нем АФУ в качестве излучателя выберем четвертьволновый вертикальный несимметричный вибратор. Расчеты проведем для различных мест его размещения на крыше автомобиля; места положения излучателя на рисунке 6 обозначены А1, А2 и А3.

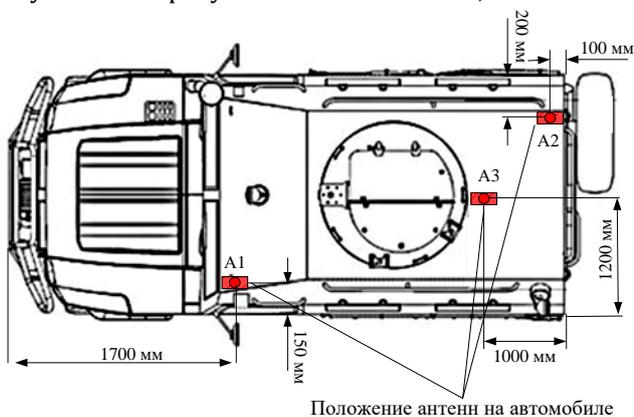


Рис. 6. Схема размещения антенн на автомобиле ГАЗ-2330

Схема расчетной области для решения задачи дифракции электромагнитных волн, возбуждаемых излучателем, установленным на крыше автомобиля, представлена на рисунке 7.



Рис. 7. Схема расчетной области

Количество ячеек вдоль осей координат задается в зависимости от шага дискретизации $d = \Delta x = \Delta y = \Delta z$, где $\Delta x = \Delta y = \Delta z$ – длина сторон кубической решетки, по осям координат эквидистантной сетки. Размер пространственной решетки расчетной области V определяется согласно выражению:

$$N_{\text{реш}} = \frac{\ell_v \cdot h_v \cdot w_v}{d^3} = N_{Vx} N_{Vy} N_{Vz}$$

где ℓ_v , w_v , h_v – длина, ширина и высота расчетной области; N_{Vx} , N_{Vy} , N_{Vz} – количество узлов расчетной области вдоль осей x , y , z .

Так как точность вычислений на основе метода КРВО определяется выбором величины шага сетки Δx , Δy , Δz , которые должны быть малы по сравнению с длиной волны, то для того, чтобы погрешность расчетов не превышала 5% [3], выбран шаг дискретизации $d = \lambda/40$.

Задача решается в трехмерной области, поэтому для обеспечения пошаговой устойчивости алгоритма во времени шаг временной дискретизации Δt выбирается согласно условию, которое для эквидистантных сеток ($\Delta x = \Delta y = \Delta z$) примет вид [4]:

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{\sqrt{3}c}$$

где c – скорость света в вакууме, м/с.

Между излучателем и объектом задается источник возбуждения антенны:

$$E_z^n(i, j, k) = -\frac{A \sin(2\pi f n \Delta t)}{\Delta z},$$

где n – номер временного шага; f – частота; A – амплитуда напряжения; $E_z^n(i, j, k)$ – составляющая вектора напряженности электрического поля в точке питания антенны.

Используя разработанную схему (см. рисунок 7), был проведен расчет диаграмм направленности антенн на частотах 30, 60 и 100 МГц, расположенных в различных местах крыши

автомобиля ГАЗ-2330 (см. рисунок 6). Результаты расчета диаграмм направленности представлены на рисунке 8.

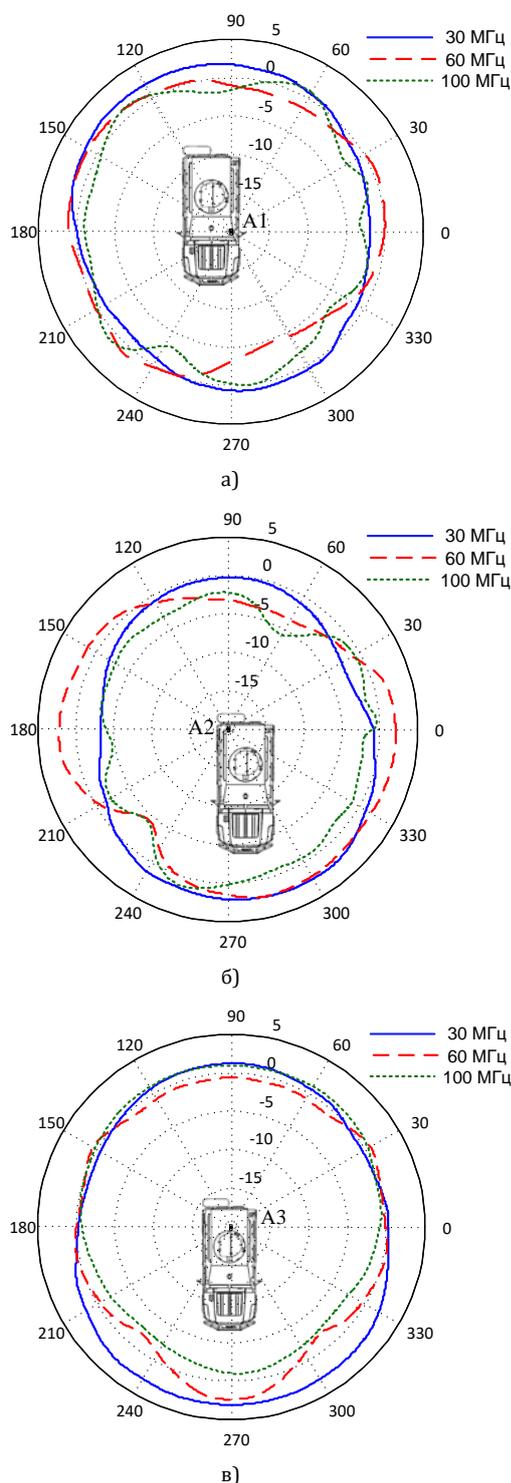


Рис. 8. Диаграммы направленности антенн в горизонтальной плоскости: а) антенна А1 расположена на левом переднем крае крыши; б) антенна А2 расположена на правом заднем крае крыши; в) антенна А3 расположена на равном расстоянии от бортов на расстоянии 1 м от заднего края крыши

Трехмерные диаграммы направленности на частоте 30 МГц представлены на рисунке 9.

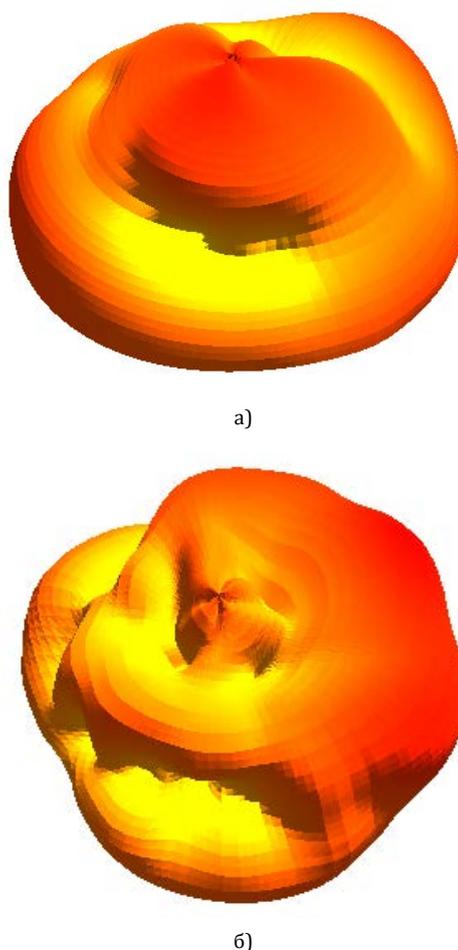


Рис. 9. Трехмерные диаграммы направленности: а) антенна А1; б) антенна А2

Как видно из результатов расчета, диаграмма направленности в горизонтальной плоскости вертикального несимметричного вибратора существенно искажается под влиянием металлического корпуса автомобиля. Причем на характеристику направленности влияет как положение антенны, так и частота, на которой она излучает. Этот факт, несомненно, будет оказывать влияние, как на дальность, так и на качество связи с корреспондентами, находящимися под различными азимутами.

Для того, чтобы численно оценить, как корпус ГАЗ-2330 будет влиять на диаграмму направленности антенн при различном их положении на крыше и различной частоте, рассчитаем коэффициент неравномерности N по формуле [2]:

$$N = E_{\max} - E_{\min},$$

где E_{\max} , E_{\min} – максимальное и минимальное значение напряженности электрического поля излучения в децибелах. Для несимметричного вибратора над идеально проводящей плоскостью $N = 0$.

Результаты расчета коэффициента неравномерности представлены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Коэффициент неравномерности диаграммы направленности

№ п/п	Место размещения антенны	Частота, МГц	N, дБ
1.	A1	30	4,2
		60	5,6
		100	5,7
2.	A2	30	5,8
		60	7,2
		100	7,5
3.	A3	30	4,1
		60	4,2
		100	4,2

Результаты расчета (см. рисунок 8) показали, что диаграмма направленности вертикального несимметричного вибратора, размещенного на крыше автомобиля ГАЗ-2330, существенно отличается от круговой и сильно зависит от места расположения излучателя и частоты ЭМВ. Результаты расчета коэффициента неравномерности N (см. таблицу 1) позволяют численно оценить величину влияния объекта на диаграмму направленности антенны, который, в свою очередь, зависит от места расположения излучателя и частоты ЭМВ. Установленный эффект следует принимать во внимание при расчете энергетических параметров УКВ-радиолинии, для чего в уравнении радиопередачи необходимо учесть изменение коэффициента усиления в зависимости от азимута корреспондента. С учетом этого обстоятельства мощность сигнала на входе приемника P_2 в децибелах рассчитывается с помощью следующего выражения [6]:

$$P_2 = P_1 + G_1 + G_2 + \eta_{\phi 1} + \eta_{\phi 2} + W_0 + W_T + \Delta G_1(\phi),$$

где P_1 – мощность передатчика; G_1, G_2 – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн; $\eta_{\phi 1}, \eta_{\phi 2}$ – коэффициент полезного действия фидера передающей и приемной антенн; $\Delta G_1(\phi)$ – изменение коэффициента усиления передающей антенны в зависимости от азимута корреспондента; W_0 – множитель ослабления свободного пространства; W_T – множитель ослабления трассы, который определяется из графиков, рассчитанных для антенн, высота которых не превышает 5 м (рисунок 10).

На наземных радиолиниях строгое решение задач энергетического расчета УКВ-радиотрасс практически невозможно. Поэтому положим, что вдоль трассы тропосфера однородна, а неровность рельефа местности не превышает 50 м. Расчет радиолинии проводится, исходя из того, что расстояние r_0 прямой видимости определяется по формуле:

$$r_{0(км)} = 4,12 \left(\sqrt{h_{1(м)}} + \sqrt{h_{2(м)}} \right),$$

где $h_{1(м)}$ – высота подъема передающей антенны, м; $h_{2(м)}$ – высота подъема приемной антенны, м.

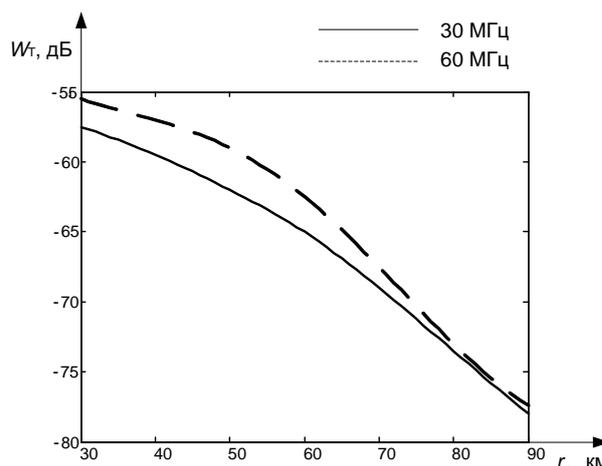


Рис. 10. Множитель ослабления радиотрассы с гладкой сферической землей

Качество радиосвязи (или устойчивость работы радиолиний) определяется минимально необходимым отношением мощностей сигнал/помеха на входе приемного устройства:

$$P_c - P_n \geq z,$$

где z – превышение среднего уровня сигнала над средним уровнем помехи, дБ; P_n – суммарная мощность внешних помех и внутренних шумов высокочастотного (ВЧ) тракта приемного устройства, дБ.

Мощность помех и шумов на входе приемника чаще всего принято определять через эквивалентную шумовую температуру всего ВЧ-тракта, пересчитанную на вход приемника:

$$P_n = k_B \Delta f (T_A + T_{прм}),$$

где k_B – постоянная Больцмана; Δf – полоса пропускания приемника, Гц.

Полная эквивалентная шумовая температура приемника равна:

$$T_{прм} = T_0 (n_{ш} - 1),$$

где $T_0 = 288 \text{ K}^\circ$ – стандартная абсолютная температура в Кельвинах; $n_{ш}$ – коэффициент шума приемника.

Эффективная шумовая температура антенны, приведенная к входу приемника, определяется согласно выражения:

$$T_A = \eta_2 T_{я} + T_{аф},$$

где $\eta_2 = \eta_{A2} \eta_{\phi 2}$; $T_{я}$ – яркостная температура внешних шумов, K° ; $T_{аф}$ – вклад в шумовую температуру антенны из-за флуктуаций в неидеальных проводниках и диэлектриках в АФУ.

Изменение коэффициента усиления несимметричного вибратора, расположенного на КШМ, рассчитывается из характеристик направленности антенны, нормированной относительно значения E_z -составляющей вектора напряженности электрического поля вертикального несимметричного

вибратора, расположенного над идеально проводящей плоскостью.

Графики зависимости коэффициента неравномерности ΔG от направления на корреспондента φ° , с помощью которых можно оценить влияние автомобиля ГАЗ-2330 на коэффициент усиления при различных местах размещения антенны на крыше автомобиля ГАЗ-2330 на частотах 30, 60 и 100 МГц представлены на рисунке 11.

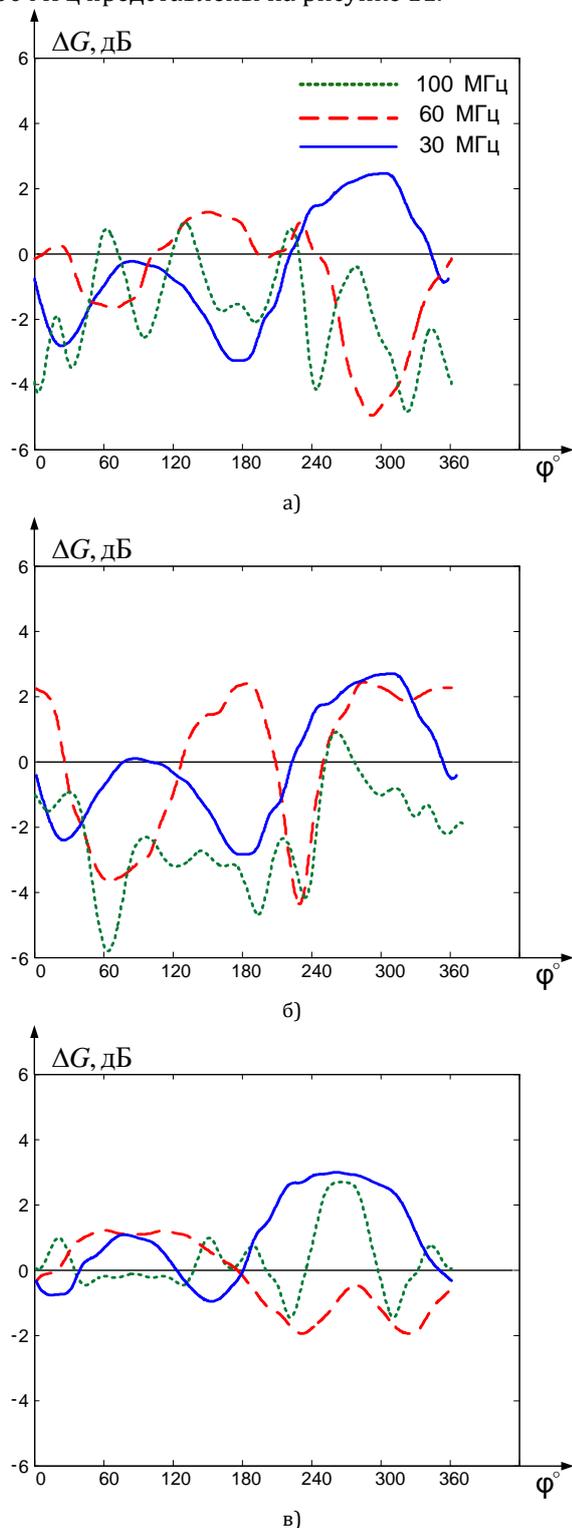


Рис. 11. Коэффициент усиления в зависимости от азимута корреспондента: а) A1; б) A2; в) A3

Результаты энергетического расчета УКВ-радиолинии с учетом максимального ($\Delta G_{1max}(\varphi^\circ)$) и минимального ($\Delta G_{1min}(\varphi^\circ)$) значения изменения коэффициента усиления для антенн, расположенных на крыше КШМ пространства при работе на частотах 30 МГц и 60 МГц представлены в таблицах 2 и 3 соответственно.

ТАБЛИЦА 2. Результаты энергетического расчета при $f = 30$ МГц

№ п/п	Положение антенны	ΔG_{1max} , (дБ)	ΔG_{1min} , (дБ)	P_2 , (дБ)	$P_{п}$, (дБ)	z , (дБ)
1.1	A_1	2,3		-133,725	-134,895	1,17
1.2	A_1		-3,2	-139,225	-134,895	-4,33
2.1	A_2	2,2		-133,825	-134,895	1,07
2.2	A_2		-3,1	-139,125	-134,895	-3,16
3.1	A_3	3		-133,025	-134,895	1,87
3.2	A_3		-1	-137,025	-134,895	-2,13

ТАБЛИЦА 3. Результаты энергетического расчета при $f = 60$ МГц

№ п/п	Положение антенны	ΔG_{1max} , (дБ)	ΔG_{1min} , (дБ)	P_2 , (дБ)	$P_{п}$, (дБ)	z , (дБ)
1.1	$A_1(0; 0)$	1,5		-138,546	-144,882	6,336
1.2	$A_1(0; 0)$		-5,1	-145,146	-144,882	-0,264
2.1	$A_2(0; 2,5)$	2,3		-137,746	-144,882	7,136
2.2	$A_2(0; 2,5)$		-4,7	-141,746	-144,882	3,136
3.1	$A_3(0; 7,5)$	1,2		-138,846	-144,882	6,036
3.2	$A_3(0; 7,5)$		-2,1	-142,146	-144,882	2,736

В результате проведенного исследования установлено существенное влияние на электрические свойства ненаправленных УКВ-антенн (и, соответственно, на дальность и качество обеспечения связи) металлического корпуса автомобиля; диаграммы направленности таких антенн всегда вытянуты вдоль его корпуса. Из проведенного расчета энергетических параметров можно сделать вывод, что коэффициент усиления антенн зависит от направления на корреспондента, поэтому выбор места размещения антенны и рабочая частота радиостанции будут оказывать влияние на дальность и качество связи.

Результаты энергетического расчета показали, что в зависимости от направления на корреспондента (см. рисунок 11) превышения уровня сигнала над уровнем шума может меняться более чем на 7 дБ. Обеспечение связи с требуемым качеством, в таком случае, сильно зависит не только от расстояния до корреспондента, но и от его положения относительно КШМ в азимутальной плоскости.

На основе проведенного исследования можно сделать вывод, что выбор мест размещения антенн на крыше автомобиля должен осуществляться с учетом влияния объекта на диаграмму направленности антенн. Для случая, рассмотрен-

ного в примере, с учетом выбранных мест, наибольшее искажение (см. N в таблице 1) диаграммы направленности наблюдается у антенн А1 и А2. Поэтому для снижения коэффициента неравномерности и повышения помехоустойчивости при работе в радиосети целесообразно обеспечить работу радиостанций совместно с антенной, рас-

положенной в центре крыши автомобиля, что позволяет уменьшить коэффициент неравномерности диаграммы направленности. Такой подход позволит снизить резкие изменения уровня сигнала при различном направлении на корреспондента, и, как следствие, повысить помехоустойчивость системы радиосвязи.

Список используемых источников

1. Бородулин Р.Ю., Лукьянов Н.О., Сосунов Б.В. Характеристика направленности излучателя, установленного на крыше железнодорожного вагона // Сборник трудов III Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфокоммуникаций в науке и образовании». СПб.: СПбГУТ, 2014. С. 169-174.
2. Лукьянов Н.О. Анализ характеристик направленности излучателей метрового диапазона волн, размещенных в подкрышном пространстве железнодорожного вагона // Сборник трудов НТК Молодых ученых № 5 «Актуальные вопросы развития сил и средств ВКО». М.: ВКО «Алмаз-Антей», 2014. С. 120-125.
3. Бородулин Р.Ю., Лукьянов Н.О., Николаев В.И., Сосунов Б.В. Решение задачи дифракции на объекте сложной геометрической формы // Теория и техника радиосвязи. 2014. № 4. С. 40-45.
4. Allen Taflove. Computational Electromagnetics: The Finite-Difference Time-Domain Method, Artech House Publishers, 1995. 320 p.
5. Сосунов Б.В., Ульянов С.А., Савлук А.В. Методика и алгоритм расчета электромагнитных волн, возбуждаемых излучателем, установленным на подвижном объекте радиосвязи // Научно-технический сборник «Труды академии». № 93. СПб.: ВАС, 2016. С. 61-66.
6. Мешалкин В.А., Сосунов Б.В. Основы энергетического расчета радиоканалов. Л.: ВАС, 1991. 110 с.

* * *

INVESTIGATION OF THE ANTENNA DIRECTIVITY PATTERN CHARACTERISTIC MOUNTED ON MOBILE RADIO OBJECT

A. Borobov¹, N. Karasik¹, N. Lukyanov¹, B. Sosunov¹

¹Telecommunications Military Academy,
St. Petersburg, 194064, Russian Federation

Article info

Article in Russian

For citation: Borobov A., Karasik N., Lukyanov N., Sosunov B. Investigation of the Antenna Directivity Pattern Characteristic Mounted on Mobile Radio Object // Proceedings of Telecommunication Universities. 2018. Vol. 4. Iss. 1. PP. 13-21.

Abstract: *The technique and results of solving the problem of diffraction of electromagnetic waves excited by a radiator placed on a GAZ-2330 vehicle are presented in the article. Calculations of the directional characteristics were carried out by the method of finite differences in the time domain. A study was made of the dependence of the directivity characteristics in the far zone of the radiator on its position on the car and on the frequency of the radiation. Based on the results of the calculations, recommendations were made on the placement of antennas, taking into account the decrease in the influence of the car on the distortion of the directional characteristics.*

Keywords: *finite difference method in the time domain, diffraction, asymmetric vertical vibrator, the directional characteristic, the coefficient of uneven radiation pattern.*