

УДК 621.396.67.012.12

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АНТЕННО-МАЧТОВЫХ
УСТРОЙСТВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА МОБИЛЬНОМ УЗЛЕ СВЯЗИ****Разумков Игорь Сергеевич,**

студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Калуга, rrazumkovv@mail.ru

Ткачев Дмитрий Эдуардович,

студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Калуга, tka4iov.dmitry@yandex.ru

Фадеев Даниил Владимирович,

студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Калуга, grouw.uzkiy@yandex.ru

Андреев Владимир Викторович,д-р техн. наук, профессор кафедры «Проектирование и технология производства
электронных приборов» КФ МГТУ им. Н. Э. Баумана, г. Калуга, vladimir_andreev@bmstu.ru**Аннотация**

В статье рассмотрены мобильные узлы связи и их использование. Исследованы электрические свойства антенно-мачтовых устройств, расположенных на мобильном узле связи. Выполнен анализ влияния дифракция электромагнитных волн на работу антенно-мачтовых устройств. Проведен расчет диаграмм направленности антенно-мачтовых устройств. Предложены рекомендации по размещению антенно-мачтовых устройств на мобильном узле связи.

Ключевые слова: подвижной узел связи, антенно-мачтовое устройство, дифракция электромагнитных волн, диаграмма направленности.

**INVESTIGATION OF THE ELECTRICAL PROPERTIES OF ANTENNA-MAST
DEVICES LOCATED ON A MOBILE COMMUNICATION NODE****Igor S. Razumkov,**

student of the Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, rrazumkovv@mail.ru

Dmitry E. Tkachev,

student of the Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, tka4iov.dmitry@yandex.ru

Daniil V. Fadeev,

student of the Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, grouw.uzkiy@yandex.ru

Vladimir V. Andreev,

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department "Design and Technology of Production of Electronic Devices" of the Bauman Moscow State Technical University, Kaluga,
vladimir_andreev@bmstu.ru

ABSTRACT

The article discusses mobile communication nodes and their use. The electrical properties of antenna-mast devices located on a mobile communication node are investigated. The analysis of the influence of electromagnetic wave diffraction on the operation of antenna-mast devices is carried out. The radiation patterns of antenna-mast devices were calculated. Recommendations on the placement of antenna-mast devices on a mobile communication node are proposed.

Keywords: mobile communication node, antenna-mast device, diffraction of electromagnetic waves, radiation pattern.

В настоящее время в мире в различных профильных ведомствах и государственных корпорациях получили распространение мобильные узлы связи, которые располагаются на шасси современных проходимых автомобилей [1]. Мобильные узлы связи используются для оперативного развертывания и организации спутниковой, проводной и радиосвязи. Установленное на борту оборудование позволяет осуществлять видеонаблюдение в зоне выполнения задач, обеспечить передачу данных, в том числе по видеоконференцсвязи в ведомственной сети связи. При разработке и изготовлении мобильных узлов связи обычно используется высоконадежная элементная база, способная работать в различных критических условиях [2].

Тем не менее, при размещении приемопередающих устройств на крыше автомобилей разработчики сталкиваются с определенными трудностями, связанными с влиянием стального корпуса автомобиля на электрические свойства антенно-мачтовых устройств (далее по тексту – АМУ) [3]. В особенности от материала корпуса бронеавтомобиля зависит характеристика направленности и форма диаграммы направленности АМУ. Именно поэтому качество сигнала на специальных частотах и дальность связи будут зависеть непосредственно от места установки АМУ на корпусе автомобиля [3].

В данной статье исследованы электрические свойства антенно-мачтовых устройств, расположенных на автомобиле с металлическим кузовом и предложены рекомендации по их размещению.

Мобильный узел связи состоит из средств каналаообразования, средств коммутации, средств документального обмена, средств абонентского доступа, средств служебной связи, средств навигации и средств автоматизации процессов управления и обмена информацией.

Форма и размеры рассматриваемого автомобиля с установленными на крыше АМУ представлены на рисунке 1.

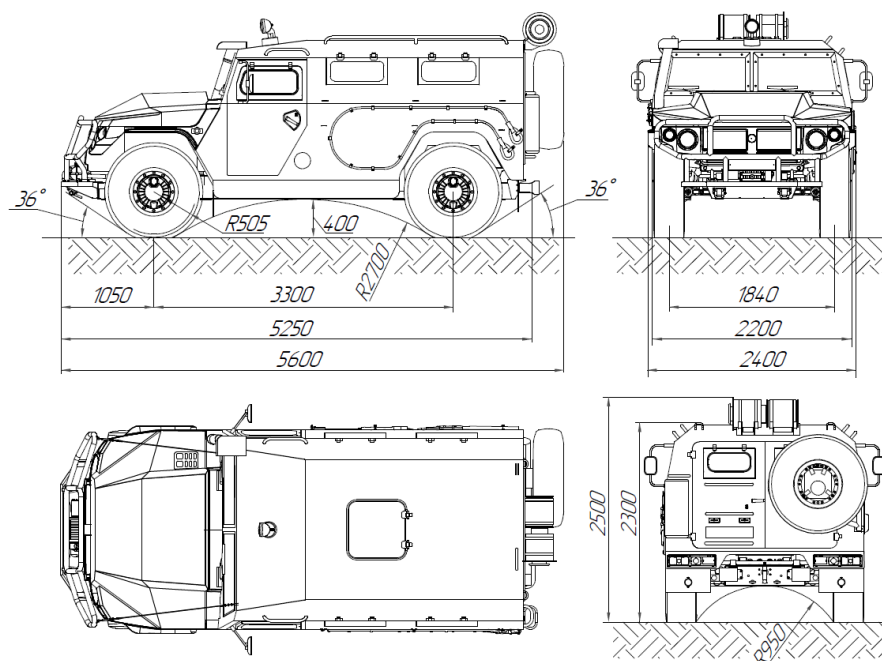


Рисунок 1. Габариты рассматриваемого автомобиля

Предположим, что шасси автомобиля изготовлено из специальной стали, которая имеет удельную электропроводность $\sigma = 8,5 \cdot 10^6$ см/м. Стекла шасси автомобиля имеют следующие параметры: $\sigma = 10^{-9}$ см/м, относительную магнитную проницаемость $\mu = 12,3$, относительную диэлектрическую проницаемость $\varepsilon = 6$.

Для научного анализа воздействия стального корпуса автомобиля на характеристику направленности, расположенных на его крыше АМУ, нужно произвести расчет дифракции электромагнитных волн, которые возбуждаются приемо-передатчиком АМУ. Существующий в научной среде метод конечных разностей во временной области (далее по тексту – метод КРВО) теоретически позволяет произвести расчет решения задачи дифракция электромагнитных волн и расчет диаграмм направленности АМУ [4].

Решение задачи дифракции электромагнитных волн.

С помощью моделирования электродинамических свойств на основе начальных условий приведем основные пункты решения задачи дифракции.

1. Ввод начальных условий. Для начала в декартовой системе координат укажем трехмерное пространство для расчета W_i, j, k , в которое входят элементарные ячейки КРВО и которого достаточно для того чтобы завершился переходной процесс. Далее необходимо задать различные характеристики исследуемых предметов в узлах ячеек и пространства.

2. Установление границ исследуемого пространства. Для того чтобы закончить переходной процесс габариты исследуемого пространства нужно обозначить, по крайней мере, не меньше десятка длин волн вдоль осей координат

3. Установление пространственного приращения. Правильность и стабильность алгоритмов, создающих решения на базе метода КРВО, решается подбором значения шага сетки по направлениям координат $\Delta x, \Delta y$ и Δz . Данные значения, относительно длины волны, необходимо принимать минимальными. Необходимо учитывать шаг дискретизации s , чтобы задать значения ячеек вдоль направлений координат. Правильно будет использовать одинаковые значения ячеек вдоль направлений координат. Это необходимо для облегчения расчетов и исследования. Шаг дискретизации необходимо взять таким образом чтобы при исследовании электрических свойств, имелся способ как можно достоверней представить сложную модель.

4. Расчет временного приращения по критерию устойчивости Куранта-Фридрихса-Леви.

5. Представление геометрии автомобиля, АМУ и исследование возбуждения.

Объемный объект сложной геометрии с помощью метода КРВО можно представить множеством простых кубических ячеек. Для того чтобы исследовать объекты сложной геометрии следует использовать наименьшие шаги деления. В начале координат располагается упрощенное представление объекта. Необходимо выделить по единственному массиву для всех показателей системы, потому что деление исследуемой области происходит эквистантной схемой. В нашем случае наиболее удобным вариантом излучателя будет являться модель малого вертикального несимметричного излучателя. На крыше автомобиля на длине одной ячейки системы размещается АМУ.

6. Указание времени контроля за изучаемым предметом. За промежуток времени t должен пройти переходной процесс излучения. От этого фактора зависит количество временных отсчетов It . Алгебраически это можно представить в виде формулы: $It \geq t_{\text{перех}}/\Delta t$, где: $t_{\text{перех}}$ – нужное время для окончания переходного процесса, Δt – шаг текущей дискретизации.

7. Формирование структур данных векторов электрического и магнитных полей. Условно направления пространства указываются в конечно-разностной форме уравнения Максвелла. Величина электрического и магнитного поля в исходный момент времени для всей используемой системы равно нулю. На всех временных шагах источник создает величину напряжения, которая зависит от напряженности электрического поля. Электромагнитное и электрическое поле определяются со смещением на полшага от времени [5].

В первую очередь определяются величины магнитных характеристик электромагнитного поля (H_x, H_y, H_z) на временном вычислении $k = k + 0,5$ во всей исследуемой системе. Во вторую очередь с помощью метода КРВО определяются величины электрических характеристик электромагнитного поля (E_x, E_y, E_z) на временном шаге $k = k + 0,5$, с применением новых величин H_x, H_y, H_z .

Операция подсчета возобновляется на протяжении всего указанного периода. Далее необходимо выбрать время и пространство, чтобы найти пять отрезков изменения являющихся частью электромагнитного поля. Этих отрезков хватит для того, чтобы определить гармонические колебания и составить наиболее истинный показатель.

8. Расчет характеристики направленности АМУ. Необходимо проанализировать амплитуду вектора напряженности электрического поля. При этом нужно учитывать отраженные волны. и корпус шасси с расположенным АМУ, влияющим на искажение сигнала.

Для того, чтобы определить зависимость стального корпуса [5] бронеавтомобиля и электрических свойств АМУ будем использовать на примере излучателя 4-х волновой вертикальный несимметричный вибратор.

Варианты расположения АМУ на борту автомобиля представлены на рисунке 2 и имеют обозначения №1, №2 и №3.

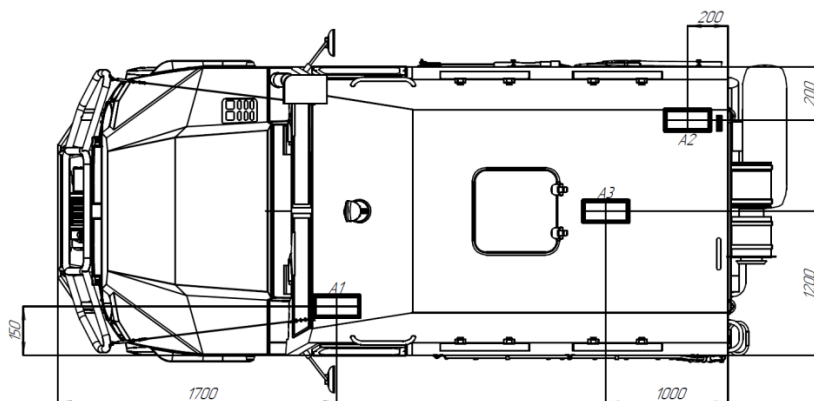


Рисунок 2. Схема размещения АМУ на борту автомобиля

Модель трехмерного автомобиля с установленным излучателем представлена на рисунке 3.

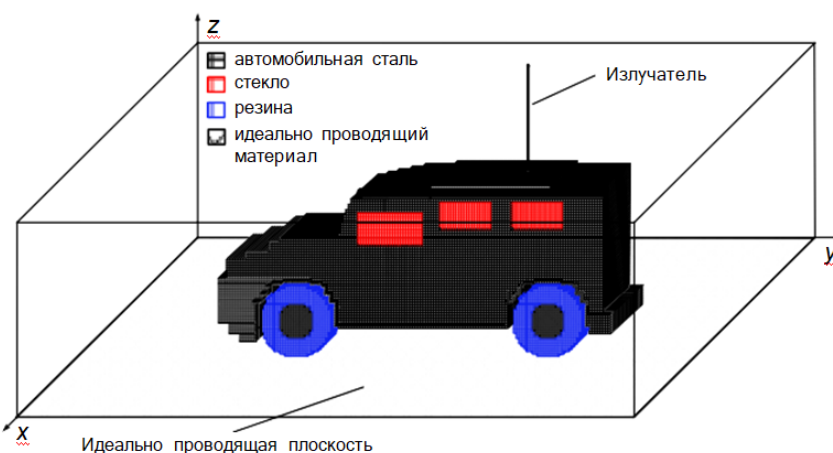


Рисунок 3. Модель трехмерного автомобиля

Допустим что, между излучателем и моделью имеется источник возбуждения АМУ:

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

где n – номер временного шага; f – частота; A – амплитуда напряжения; $E_z^n(i, j, k)$ – составляющая вектора напряженности электрического поля в месте питания АМУ [6].

Расчет диаграмм направленности антенн

На основе приведенной модели был проведен расчет диаграмм направленности АМУ А1, А2 и А3 в программе MathCAD на частотах 30, 60 и 100 МГц. Результаты расчета диаграмм направленности изображены на рисунке 4:

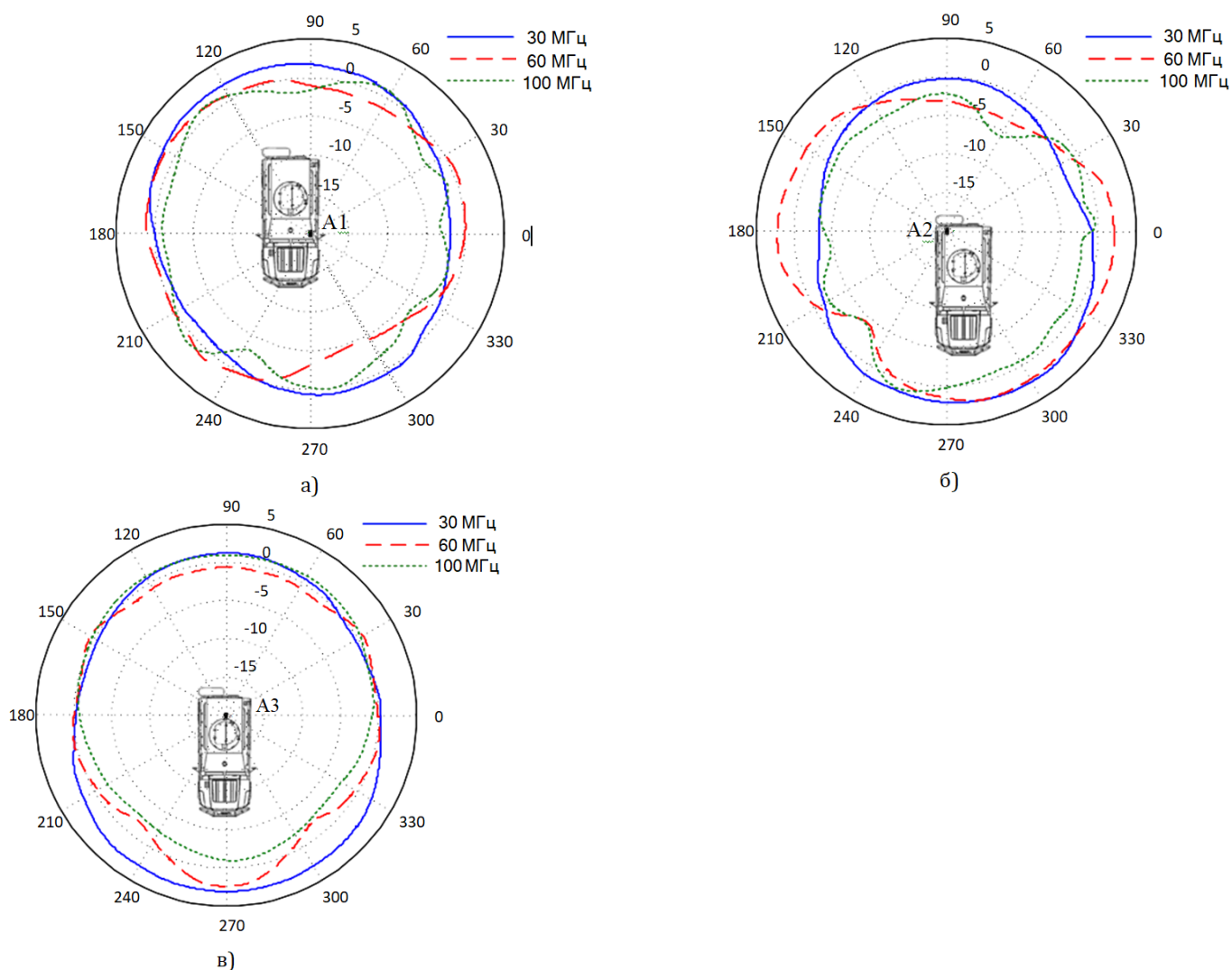


Рисунок 4. Диаграммы направленности: а) АМУ №1; б) АМУ №2;в) АМУ №3

В ходе выполнения расчетов замечено определенное искажение диаграммы направленности в горизонтальной плоскости вертикального несимметричного излучателя из-за влияния стального корпуса автомобиля. Также замечено, что местоположение на крыше АМУ и частота ее излучения влияет на характеристику направленности. Это будет оказывать воздействие, как на расстояние, так и на дальность связи между абонентами [6].

Рекомендации по размещению АМУ

В результате работы установлено существенное влияние на электрические свойства ненаправленных АМУ стального корпуса автомобиля. Диаграммы направленности таких АМУ, как правило, вытянуты вдоль его корпуса.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что шасси автомобиля существенно влияет на диаграмму направленности АМУ при выборе их местоположения. В нашем примере самое больше искривление диаграммы направленности имеется на АМУ №1 и АМУ №2

Поэтому для того чтобы снизить коэффициент неравенства и увеличения помехоустойчивости во время эфира правильно будет если снабдить радиостанцию АМУ, которая будет находиться ближе к середине корпуса автомобиля. Такое решение позволит снизить во всевозможных направлениях неожиданные изменения показателя сигнала и шума и улучшит помехоустойчивость средств радиосвязи.

Список литературы:

1. Милошенко О.В. Методы оценки характеристик радиоволн в системах подвижной радиосвязи // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012 № 9 С. 60-62.
2. Головинов С.О., Хромых А.А. Проблемы управления системами мобильной связи // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2012 № 9 С. 13-14.
3. Биккенин, Р. Р. Теория электрической связи: учеб. пособие для вузов / Р. Р. Биккенин, М. Н. Чесноков. – Москва: Академия, 2010. – 327 с. – Гриф: Рек. УМО; ISBN 978-5-7695-6510-6
4. Куксенко С.П. Электромагнитная совместимость: моделирование / под ред. Т.Р. Газизова . – Томск: В-Спектр, 2018 – 188 с. ISBN 978-5-91191-407-3
5. Артёмова, Т. К. Антенны: учеб. пособие. / Т. К. Артёмова, А 86 Н. И. Фомичёв. Изд. 2-е, исправленное и дополненное; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова. – Ярославль: ЯрГУ, 2010 – 108 с. ISBN 978-5-8397-0744-3
6. Домбровская Ж.О., "Метод конечных разностей во временной области для кусочно-однородных диэлектрических сред", Моделирование и анализ информационных систем, 23:5 (2016), 539–547.

References:

1. Miloshenko O.V. Methods for assessing the characteristics of radio waves in mobile radio communication systems // Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies. 2012 No. 9 S. 60-62.
2. Golovinov S.O., Khromykh A.A. Problems of management of mobile communication systems // Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies. 2012 No. 9 S. 13-14.
3. Bikkenin, R. R. Theory of electrical communication: textbook. manual for universities / R. R. Bikkenin, M. N. Chesnokov. - Moscow: Academy, 2010. - 327 p. - Neck: Rec. UMO; ISBN 978-5-7695-6510-6
4. Kuksenko S.P. Electromagnetic compatibility: modeling / ed. T.R. Gazizova. - Tomsk: V-Spectrum, 2018 - 188 p. ISBN 978-5-91191-407-3
5. Artyomova, T. K. Antennas: textbook. allowance. / T. K. Artyomova, A 86 N. I. Fomichev. Ed. 2nd, corrected and supplemented; Yaroslavl state un-t im. P. G. Demidov. - Yaroslavl: YarGU, 2010 - 108 p. ISBN 978-5-8397-0744-3
6. Dombrovskaya Zh.O., "Finite difference method in the time domain for piecewise homogeneous dielectric media", Modeling and analysis of information systems, 23:5 (2016), 539–547.