

УДК 621.396.676.2

## Исследование влияния кузова автомобиля на электрические характеристики низкопрофильной широкополосной антенны

Лянгузов Д. А.

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

**Постановка задачи.** Известные способы выбора места установки низкопрофильной широкополосной антенны на кузова автомобилей не учитывают влияние корпуса или применимы только для несимметричных вертикальных вибраторов, поэтому актуальной задачей является определение оптимальных мест установки антенны с учетом влияния корпуса на форму диаграммы направленности. **Целью работы** является разработка практических рекомендаций по установке нештатной бортовой антенны на несколько типов кузовов автомобилей («КАМАЗ», «Тигр», «Газель»). **Используемые методы:** определение поверхностных токов ближней зоны с помощью метода конечных элементов, построение диаграммы направленности методом Стреттона — Чу. Элементами **новизны** являются способ анализа электрических характеристик антенны и полученные на его основе геометрические параметры установки антенны, обеспечивающие ее оптимальное размещение на корпусе с точки зрения сохранения формы диаграммы направленности и отсутствия провалов. **Результат:** предложены практические рекомендации по обоснованному выбору места размещения антенны на автомобиле. **Практическая значимость:** представленные результаты предлагается использовать для обоснованного принятия решения при разработке новых и модернизации существующих подвижных средств радиосвязи.

**Ключевые слова:** антенна, размещение антенны, корпус, искажения, рекомендации

### Введение

Диаграмма направленности (ДН) ненаправленной антенны при установке на подвижный объект (ПО) в качестве бортовой может испытывать существенные искажения [1–5]. В настоящее время широкое распространение в качестве бортовых антенн получили вертикальные несимметричные вибраторы (НСВ) благодаря простоте и надежности конструкции, небольшим размерам в горизонтальной плоскости.

На резонансных частотах данные бортовые антенны имеют незначительные отклонения формы ДН в азимутальной плоскости от круговой, однако при работе радиостанции в широкой полосе частот использование данных антенн нецелесообразно.

В связи с этим отечественными инженерами разработаны новые типы сложных излучателей, ДН которых незначительно искажается при установке на борт благодаря внесению реактивности в ближнее поле антенны. В отличие от широко распространенных НСВ наилучшие места размещения на кузове для них не определены экспериментально, что требует оценки возможности обеспечения равноудаленной радиосвязи для различных мест установки на борт.

### Библиографическая ссылка на статью:

Лянгузов Д. А. Исследование влияния кузова автомобиля на электрические характеристики низкопрофильной широкополосной антенны // Вестник СПбГУТ. 2024. Т. 2. № 3. С. 3. EDN: APGGXL

### Reference for citation:

Lyanguzov D. Investigation of the Influence of the Car Body on the Electrical Characteristics of a Low-profile Broadband Antenna // Herald of SPbSUT. 2024. Vol. 2. Iss. 3. P. 3. EDN: APGGXL

### Исследование электрических характеристик антенны

Задачей исследования является определение: 1) электрических характеристик антенны с учетом воздействия элементов кузова автомобиля (выступов и кромок в ближней зоне антенны); 2) оптимального размещения антенны на автомобиле на основе форм ДН и частотного распределения коэффициента стоячей волны. Для анализа используем следующие электрические характеристики антенн: ДН в горизонтальной плоскости (угол возвышения  $15^\circ$ ), частотное распределение коэффициента стоячей волны (КСВ) и коэффициент неравномерности ДН в диапазоне частот ( $K_{нер}$ ), подробно описанный в работе [6]. В качестве диапазона рабочих частот выберем диапазон ДМВ1 как наиболее распространенный (250–520 МГц). Для расчета поверхностных токов используем метод конечных элементов (МКЭ), с учетом сложности геометрической формы антенны, обусловленной наличием в ее конструкции реактивностей (шунтов и колец). Особенности разбиения объекта на конечные элементы, математический аппарат и границы применимости данного численного метода подробно описаны в [7].

После определения поверхностных токов на антенне и на корпусе автомобиля (части, входящей в ближнюю зону антенны) построим характеристику направленности в дальней зоне методом Стреттона – Чу. Алгоритм работы представлен на рисунке 1.

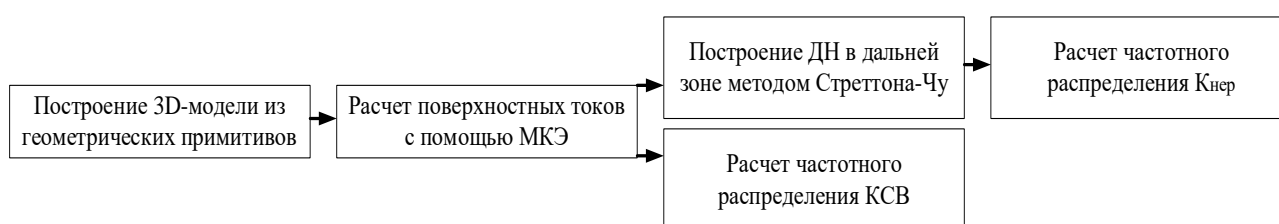


Рис. 1. Схема расчета

В качестве основы для создания модели расчетной области используем следующие транспортные средства: броневый автомобиль на базе грузовика «КАМАЗ», фургон «Газель» и броневик «Тигр» (рисунок 2). Их габаритные размеры представлены в таблице 1.



Рис. 2. Варианты кузовов автомобилей

Таблица 1. Габаритные размеры автомобилей

Параметр	КАМАЗ	Газель	Тигр
Высота, м	3,3	2,1	2
Длина, м	8	6,5	5,7
Ширина, м	2,5	2	2

Расчетная область ( $S_0$ ) состоит из следующих элементов (рисунок 3):

- токопроводящих стенок А, расположенных на расстоянии  $\lambda/4$  от автомобиля, где  $\lambda$  — рабочая частота;
- модели автомобиля Б;
- модели низкопрофильной антенны В;
- системы координат с центром в левом нижнем углу расчетной области.

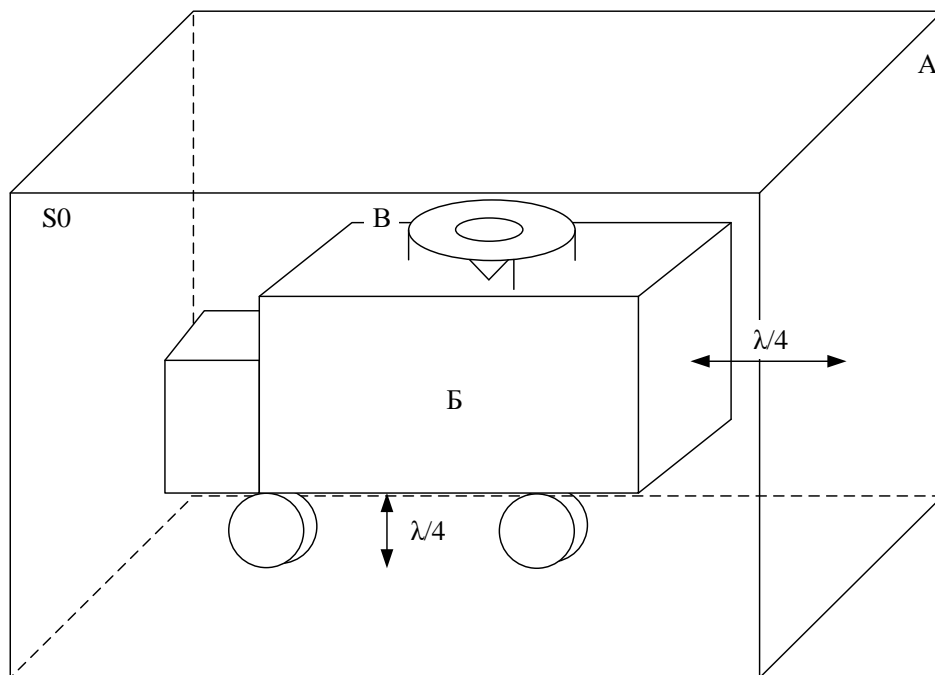


Рис. 3. Расчетная область

Для анализа электрических характеристик антенн использовался пакет CST Studio Suite 2024, позволяющий анализировать электродинамические модели различными численными методами (<https://www.3ds.com/products/simulia/cst-studio-suite>) [8].

На рисунке 4 представлены результаты расчета КСВ в диапазоне рабочих частот для трех типов кузовов. Варианты размещения антенны на корпусе представлены на рисунке 5.

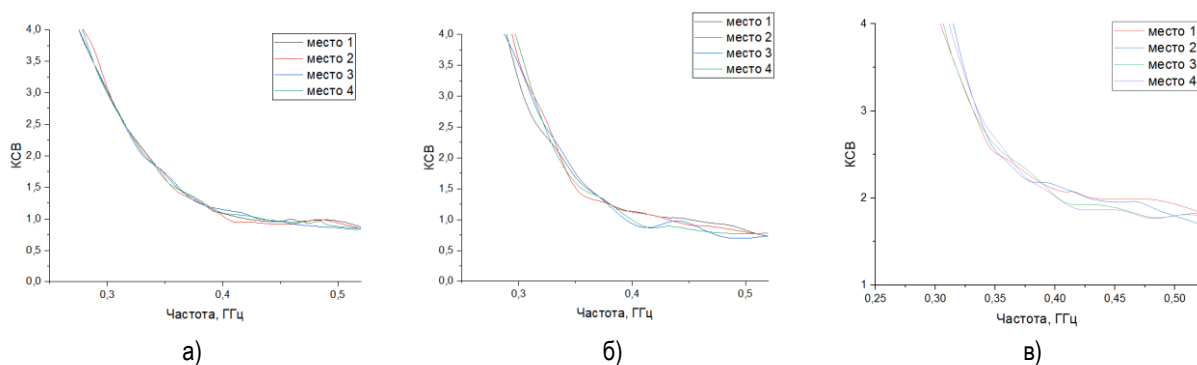


Рис. 4. Результаты расчета коэффициента стоячей волны методом конечных элементов для «КАМАЗа» (а), «Тигра» (б) и «Газели» (в)

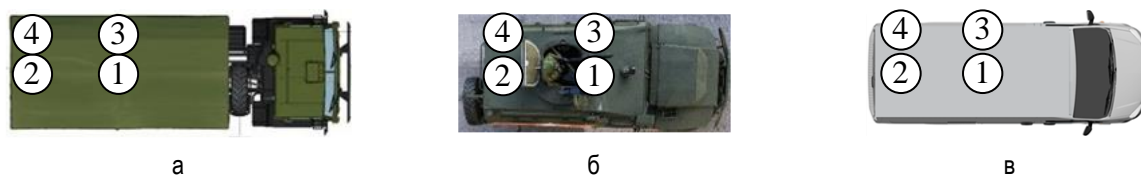


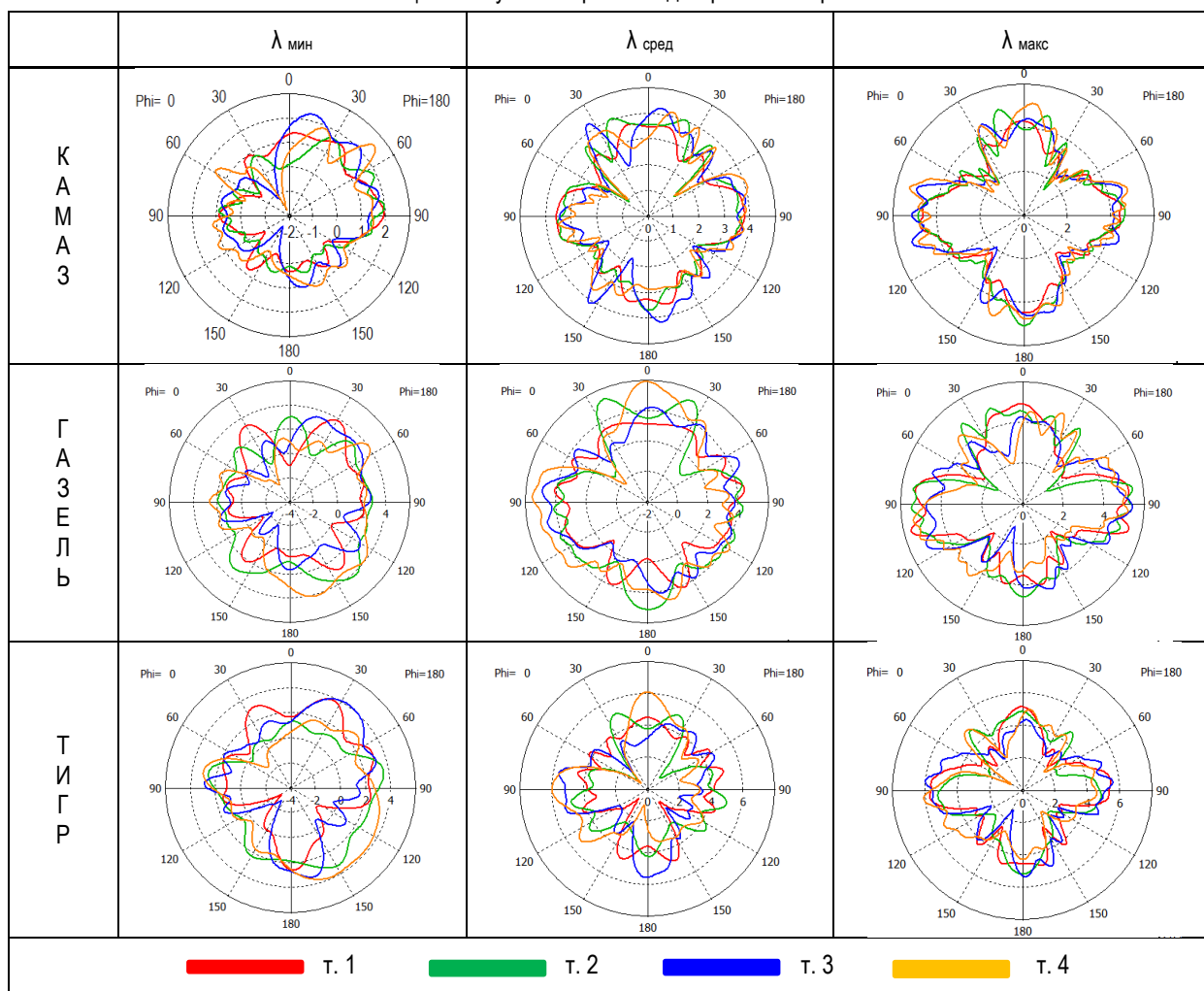
Рис. 5. Варианты размещения антенны на кузове «КАМАЗа» (а), «Тигра» (б) и «Газели» (в)

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о слабой зависимости согласования данной антенны от места ее установки. В диапазоне от 400 до 500 МГц для «Газели» лучшими будут места 3 и 4. На нижних частотах данную антенну целесообразно использовать только в качестве приемной (значения КСВ более 2).

В таблице 2 представлены результаты моделирования ДН антенны в горизонтальной плоскости. Из полученных графиков видно, что в нижней части рабочего диапазона ДН значительно искажается в точках 3 и 4 (т. 3, т. 4) для «КАМАЗа» и «Газели». На автомобиле «Тигр» искажения наблюдаются

в т. 1 и т. 3. На низких и средних частотах рабочего диапазона на кузове «КАМАЗ» значительных искажений не наблюдается для любого варианта установки. На газели «провал» в ДН наблюдается в т. 2 и т. 4. На «Тигре» в середине частотного диапазона ДН без искажений получена на т. 3. На «Газели» в верхней части частотного диапазона искажения наблюдаются в т. 3, а на «Тигре» — в т. 4.

Таблица 2. Результаты расчета диаграммы направленности



### Выводы

В таблице 3 приведена оценка места размещения на корпусе. В целом антенна работает приемлемо в любой точке размещения, что обусловлено особенностью ее конструкции.

Внесение реактивности в ближнюю зону антенны ограничивает растекание поверхностных токов за ее пределы, а шунты позволяют управлять концентрацией токов.

Таблица 3. Оценка мест установки антенн

	т. 1.			т. 2.			т. 3.			т. 4.		
	$\lambda_{\text{мин}}$	$\lambda_{\text{сред}}$	$\lambda_{\text{макс}}$	$\lambda_{\text{мин}}$	$\lambda_{\text{сред}}$	$\lambda_{\text{макс}}$	$\lambda_{\text{мин}}$	$\lambda_{\text{сред}}$	$\lambda_{\text{макс}}$	$\lambda_{\text{мин}}$	$\lambda_{\text{сред}}$	$\lambda_{\text{макс}}$
КАМАЗ	2	1	1	2	1	1	3	1	1	3	1	1
Газель	2	2	2	2	3	2	3	2	3	3	3	2
Тигр	3	2	2	2	2	2	3	1	2	2	2	3
$\Sigma_{\text{ср}}$	1,89			1,89			2,11			2,22		

1 – оптимально, 2 – приемлемо, 3 – нецелесообразно

По возможности следует устанавливать антенну ближе к центру корпуса подвижного объекта (т. 1, т. 2), где антенна работает значительно лучше. Данная особенность объясняется равномерностью

концентрации токов ближней зоны, значительную часть которых составляют переотраженные токи от кромок и неравномерностей корпуса, расположенных равноудаленно от фазового центра антенны в случае т. 1 и т. 2 и несимметрично для т. 3 и т. 4.

Областью применения результатов данного исследования являются корпуса объектов простой геометрической формы: фургоны, прицепы, автомобили типа хэтчбэк, кузов которых изготовлен из металла и не содержит иных материалов на крыше (например, стекла или пластика). Следует учитывать, что для получения более точных результатов требуется проведение практических измерений на натуральных макетах антенны и автомобиля. Дальнейшим направлением анализа может являться рассмотрение электрических характеристик антенны на борту с надстройками (например, корабля), а также сравнение с другими типами излучателей.

### Литература

1. Князева К. В., Панько В. С., Ерохин А. А., Андреев А. Г., Косолапов А. В. и др. Искажения фазовой диаграммы направленности антенны СВ-диапазона при ее размещении на носителе // Журнал радиоэлектроники. 2024. № 7. DOI: 10.30898/1684-1719.2024.7.6. EDN: КАМУТА
2. Конов К. И., Климов К. Н. Влияние факела ракетного двигателя на диаграмму направленности бортовой антенны на активном участке траектории // Вестник воздушно-космической обороны. 2024. № 1 (41). С. 65–72. EDN: FVFBLK
3. Кузьмин С. В., Коровин К. О., Андропов А. В. Учет диаграммы направленности бортовой антенны при анализе канала связи с летательным аппаратом // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2021. Т. 17. № 4. С. 118–122. DOI: 10.36622/VSTU.2021.17.4.016. EDN: OEEASG
4. Михайлов В. Ф. Характеристики бортовой антенны со сложной теплозащитой // Волновая электроника и инфокоммуникационные системы: Материалы XXV Международной научной конференции (Санкт-Петербург, 30 мая – 3 июня 2022 г.). Ч. 2. СПб.: СПбГУАП, 2022. С. 199–204. EDN: NKTIKS
5. Михайлов В. Ф., Мажник И. В. Влияние неоднородной теплозащиты на характеристики излучения антенны космического аппарата // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2023. Т. 15. № 3. С. 4–10. DOI: 10.36724/2409-5419-2023-15-3-4-10. EDN: OUMNHU
6. Бородулин Р. Ю., Лянгузов Д. А. Модель низкопрофильной антенны для размещения на поверхности ограниченных размеров // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 12. С. 193–199. DOI: 10.24412/2071-6168-2022-12-193-200. EDN: LEMJWJ
7. Бородулин Р. Ю. Конструкционный синтез электрически малых антенн. СПб.: ВАС, 2020. 180 с.

Статья поступила 18 ноября 2024 г.  
Одобрена после рецензирования 26 ноября 2024 г.  
Принята к публикации 29 ноября 2024 г.

### Информация об авторе

*Лянгузов Данила Андреевич* — кандидат технических наук, инженер кафедры радиотехники Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича.  
E-mail: danilalgz@ya.ru

## Investigation of the Influence of the Car Body on the Electrical Characteristics of a Low-profile Broadband Antenna

D. Lyanguzov

The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

**Task statement.** *Known methods for selecting the location of installation of a low-profile broadband antenna on car bodies do not take into account the influence of the housing or are applicable only to asymmetrical vertical vibrators, therefore, the urgent task is to determine the optimal locations for installing the antenna, taking into account the influence of the housing on the shape of the radiation pattern. **The purpose** of the work is to develop practical recommendations for the installation of non-standard on-board antennas for several types of car bodies (Kamaz, Tiger, Gazelle). **Methods used:** determination of near-field surface currents using the finite element method, construction of a radiation pattern using the Stretton — Chu method. **The novelty elements** a method for analyzing the electrical characteristics of an antenna and the geometric parameters for installing the antenna obtained on its basis, ensuring optimal placement of the antenna on the body from the point of view of maintaining the shape of the radiation pattern and the absence of dips. **Result:** practical recommendations are offered for the reasonable choice of antenna placement on a vehicle. **Practical significance:** the presented results are proposed to be used for informed decision-making in the development of new and modernization of existing mobile radio communications.*

**Key words:** antenna, housing, distortion, recommendations

### Information about Author

*Lyanguzov Danila* — Ph.D. of Engineering Sciences, Engineer of the Department of Radio Engineering (The Bonch-Bruevich Saint Petersburg State University of Telecommunications). E-mail: danilalgz@ya.ru