

УДК 621.396

DOI: [10.26102/2310-6018/2024.44.1.031](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.44.1.031)

## Моделирование патч-антенны в программе конечно-элементного анализа Comsol Multiphysics

Д.С. Черкесов, Т.И. Касаткина✉

*Воронежский государственный технический университет,  
Воронеж, Российская Федерация*

**Резюме.** В статье проводится детальная оценка возможностей применения патч-антенн, выполненная на основе анализа их достоинств и недостатков. Новая конструкция патч-антенны была подвергнута моделированию, включая описание ее структуры и создание трехмерной модели. Получено распределение поля в геометрии патч-антенны, что дает полную картину о влиянии ее структурных элементов на электромагнитные свойства. Кроме того, получена диаграмма направленности патч-антенны, которая раскрывает угловые особенности ее излучения. Построены графики коэффициента усиления одиночной патч-антенны, коэффициента равномерной решетки  $8 \times 8$ , коэффициента усиления микрополосковой патч-антенны  $8 \times 8$ , построенные в дБ-шкале. Показано, что конструкция прямоугольной микрополосковой патч-антенны с V-образными вырезами обеспечивает лучшую поляризацию на краях по сравнению с центром у предложенной модели патч-антенны, что может быть критическим фактором в реальных условиях эксплуатации, особенно в тех областях, где качество связи подвержено внешним воздействиям. Частота, при которой данная антенна резонирует, равна 1,403 ГГц, это позволяет расширить диапазон пропускания и повысить согласование импеданса. Эти результаты подчеркивают перспективность исследуемой конструкции патч-антенны в современных технологиях связи и беспроводных системах передачи данных.

**Ключевые слова:** патч-антенна, беспроводная связь, диаграмма направленности, коэффициент усиления, электромагнитные характеристики, моделирование антенн, резонансная частота, оптимизация размеров, согласование импеданса.

**Для цитирования:** Черкесов Д.С., Касаткина Т.И. Моделирование патч-антенны в программе конечно-элементного анализа Comsol Multiphysics. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2024;12(1). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1501> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.44.1.031

## Modeling of a patch antenna in Comsol Multiphysics finite element analysis program

D.S. Cherkesov, T.I. Kasatkina✉

*Voronezh State Technical University,  
Voronezh, the Russian Federation*

**Abstract.** The article evaluates in detail the capabilities of patch antennas application based on the analysis of their advantages and disadvantages. The new patch antenna design was subjected to modeling, including description of its structure and creation of a three-dimensional model. The field distribution in the patch antenna geometry was obtained, which gives a complete picture of the influence of its structural elements on the electromagnetic properties. The directional diagram of the patch antenna is obtained, which reveals the angular features of its radiation. Plots of the gain of a single patch antenna, the gain of an  $8 \times 8$  uniform array, and the gain of an  $8 \times 8$  microstrip patch antenna plotted in dB-scale are constructed. It is shown that the design of the rectangular microstrip patch antenna with V-shaped notches provides better polarization at the edges compared to the center in the proposed patch antenna

model, which can be a critical factor in real-world applications, especially in areas where communication quality is subject to external influences. The frequency at which this antenna resonates is 1,403 GHz, this allows for a wider bandwidth and improved impedance matching. These results emphasize the promising potential of the investigated patch antenna design in modern communication technologies and wireless data transmission systems.

**Keywords:** patch antenna, wireless communication, radiation pattern, gain factor, electromagnetic characteristics, antenna modeling, resonant frequency, size optimization, impedance matching.

**For citation:** Cherkesov D.S., Kasatkina T.I. Modeling of a patch antenna in Comsol Multiphysics finite element analysis program. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2024;12(1). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1501> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.44.1.031 (In Russ.).

## Введение

Беспроводные коммуникационные системы являются одним из самых динамично развивающихся сегментов по всему миру. Главным компонентом устройств беспроводной связи является антенна, которая осуществляет прием и передачу сигнала в открытом пространстве. С учетом требований современного электрического мира исследователи активно работают над улучшением характеристик антенн в различных диапазонах частот. В последние десятилетия наблюдается рост спроса на спутниковую связь, обусловленный расширением высокоразрешающей картографии, спутниковой альтиметрии, радиоастрономических исследований, космических служб, мобильной связи и радионавигации.

С развитием технологий возрастает потребность в доступных и компактных антеннах для радиоволн и микроволн. Инженеры по радиочастотам сталкиваются с вызовами создания многодиапазонных, широкополосных, энергоэффективных и компактных антенн. Микрополосковая антенна (МПА) предлагает выдающуюся производительность, она состоит из проводящего патча произвольной геометрии на верхней части диэлектрической подложки и заземляющей плоскости на нижней. Они обладают низким весом, компактным размером, низким профилем и низкой стоимостью, а главное, могут быть интегрированы в печатные платы [1].

Тем не менее, у этих антенн есть и некоторые недостатки, такие как узкая полоса пропускания, низкая эффективность и коэффициент усиления. В последнее время были достигнуты значительные успехи в преодолении этих проблем путем модификации конфигураций патчей различных размеров [2, 3]. Внедрение паразитных патчей, размещенных либо в копланарной, либо в стопочной структуре, а также использование щелей на металлическом патче различной буквенной формы, позволяет расширить полосу пропускания [4, 5]. Кроме того, в связи с расширением применения микрополосковых патч-антенн в области интернета вещей, важно обеспечить надежную и эффективную связь в условиях высокой плотности устройств. Исследования в этой области включают в себя оптимизацию размещения антенн, разработку многодиапазонных решений и улучшение методов коммуникации между устройствами.

Таким образом, цель нашей работы заключается в разработке микрополосковой антенны с использованием щелей на металлическом патче различной буквенной формы.

## Анализ возможностей практического применения патч-антенн

Микрополосковые патч-антенны представляют собой эффективные и компактные устройства для передачи и приема радиоволн. Их уникальные характеристики и компактные размеры делают их весьма привлекательными для широкого спектра приложений.

Микрополосковые патч-антенны нашли широкое применение в различных сферах связи, таких как Wi-Fi, Bluetooth и других стандартах беспроводной связи. Их компактные размеры позволяют интегрировать их в мобильные устройства, беспилотные автомобили и другие средства связи [6].

В области спутниковых связей, микрополосковые патч-антенны эффективно применяются в космических аппаратах для передачи и приема сигналов. Их низкий вес и высокая производительность делают их предпочтительным выбором для встроенных антенных систем на борту космических аппаратов.

В сфере радиосвязи, микрополосковые патч-антенны применяются для создания компактных и высокоэффективных антенных систем. Они могут использоваться в мобильных телефонах, рации, радиостанциях, обеспечивая стабильную связь при минимальном электромагнитном воздействии на окружающую среду.

В области радаров и радиолокации, микрополосковые патч-антенны могут быть использованы для создания компактных и точных радиолокационных систем. Их высокая направленность и точность делают их подходящими для приложений, требующих высокой разрешающей способности.

В медицинской технике микрополосковые патч-антенны применяются для беспроводной передачи данных внутри тела пациента, например, для мониторинга состояния здоровья или управления имплантируемыми медицинскими устройствами.

В транспортных средствах, как в авиации, так и в автомобилестроении, микрополосковые патч-антенны могут использоваться для беспроводной связи, навигации и систем дистанционного управления [7].

Анализ возможностей практического применения микрополосковых патч-антенн подчеркивает их универсальность и способность адаптироваться к различным сферам технологий, открывая новые перспективы для современных беспроводных технологий и систем связи общего и специального назначения [8-10].

#### **Математическое моделирование патч-антенны. Определение параметров антенны**

Для начала работы нужно определиться с формой и размерами нашей антенны. Наша антенна будет иметь V-образные вырезы. Все параметры размеров приведены в Таблице 1, подробная геометрия показана на Рисунке 1 (все размеры указаны в мм).

Таблица 1 – Параметры для создания антенны

Table 1 – Parameters for creating an antenna

Толщина подложки	0,001524 м
Ширина линии 50 $\Omega$	0,0032 м
Ширина антенны	0,05 м
Длина антенны	0,05 м
Ширина заглушки	0,003 м
Длина заглушки	0,0155 м
Ширина подложки	0,1 м
Длина подложки	0,1 м
Глубина V-образных вырезов	0,0125 м
Ширина V-образных вырезов	0,025 м

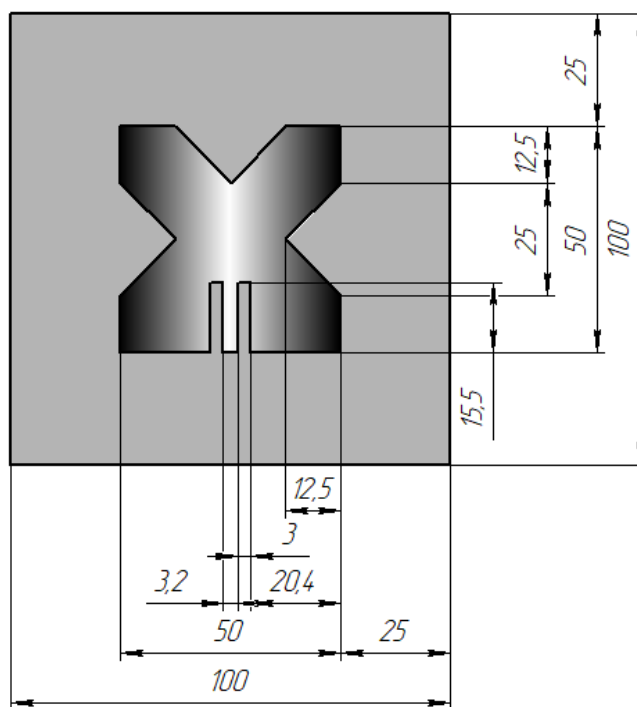


Рисунок 1 – Микрополосковая патч-антенна  
Figure 1 – Parameters for creating an antenna

Используя такие подинструменты, как копирование и разбиение, мы получаем требуемую геометрию предлагаемой антенны. В то же время с помощью инструмента рендеринга проволочного каркаса мы наблюдали лучший вид внутренних частей подложки. Используя инструмент рендеринга проволочного каркаса, мы получили лучший вид внутренних частей. Для геометрии на подложке были заданы некоторые области и граничные условия электромагнитной волны с помощью подинструмента дальнего домена в инструменте физики для получения диаграммы направленности излучения в плоскостях E и H. Перед внесением материала в геометрию были предварительно определены все нужные физические параметры для получения результатов. Значения относительной диэлектрической проницаемости и относительной проницаемости метаматериала, добавленного в геометрию, составляют 3,38 Ф/м и 1 Н/м соответственно и были рассчитаны с применением метода Никольсона-Росса-Вейра [11, 12]. Таким образом, мы получили необходимые результаты для микрополосковой патч-антенны, используя программное обеспечение Comsol Multiphysics 6.1. Теперь предстоит воссоздать данную антенну в 3D программе конечно-элементного анализа Comsol Multiphysics.

### Результаты моделирования

На Рисунке 2 представлена уже смоделированная антенна с разбиением на конечные элементы в программе Comsol Multiphysics 6.1.

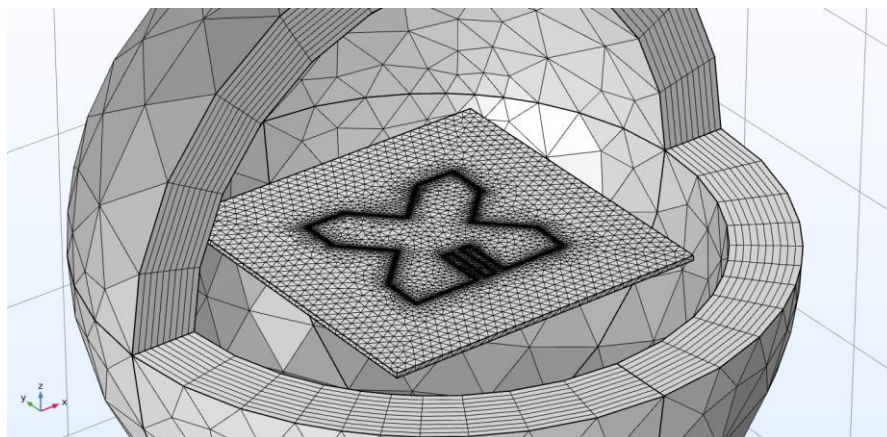


Рисунок 2 – 3D-изображение микрополосковой антенны с разбиением на конечные элементы при моделировании

Figure 2 – 3D image of microstrip antenna with finite element partitioning in modeling

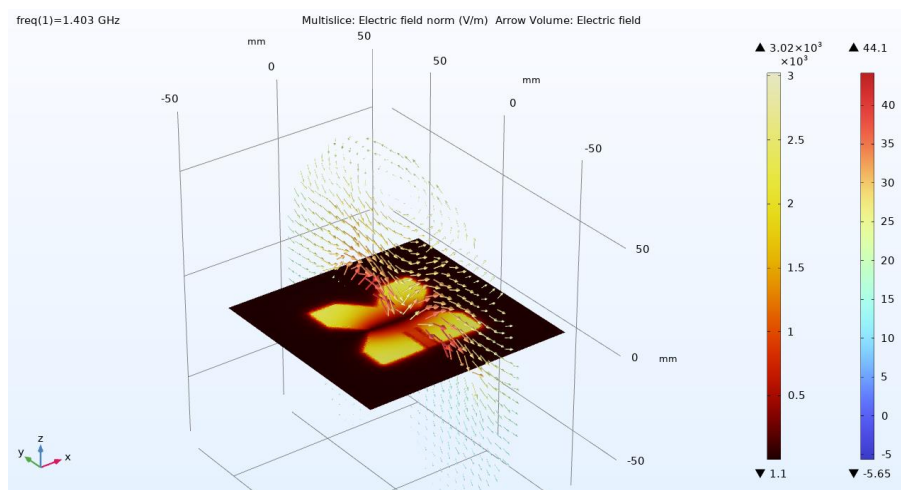


Рисунок 3 – Распределение электрического поля в геометрии антенны

Figure 3 – Electric field distribution in the antenna geometry

На Рисунке 3 представлена норма электрического поля внутри подложки антенны с использованием стрелочного графика. Направление стрелок указывает на преобладающую поляризацию в направлении максимального излучения. Импеданс антенны выше, когда  $50 \Omega$  подается сигнал с края, и ниже, когда подается из центра. Следовательно, оптимальная точка питания находится между краем и центром.

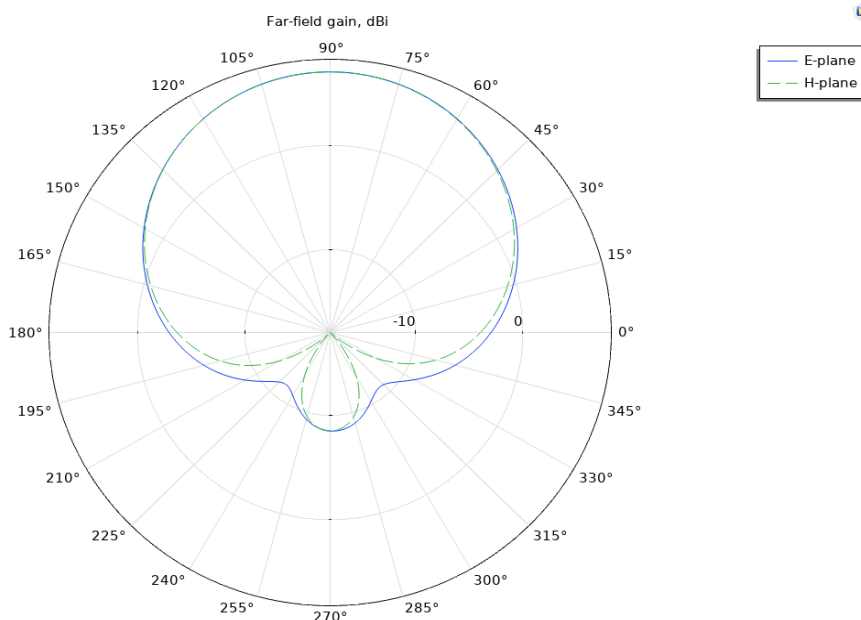


Рисунок 4 – Диаграмма направленности излучения в E- и H-плоскостях  
Figure 4 – Radiation pattern in E- and H-planes

Значение коэффициента отражения ( $S_{11}$ ) приблизительно составляет -3,6 дБ. График частотной характеристики выполнен с разрешением 100 кГц и представлен на Рисунке 5. Из него видно, что микрополосковая патч-антенна имеет только одну резонансную полосу на частоте 1,403 ГГц. Наблюдая за графиком, можно предсказать, что рабочий диапазон микрополосковой патч-антенны находится в пределах от 1,36 ГГц до 1,44 ГГц. Эти результаты свидетельствуют об улучшении коэффициента отражения и более широкой полосе пропускания в соответствующей точке резонанса. График S-параметров подтверждает, что импеданс антенны согласован с  $50 \Omega$  в области около 1,403 ГГц.

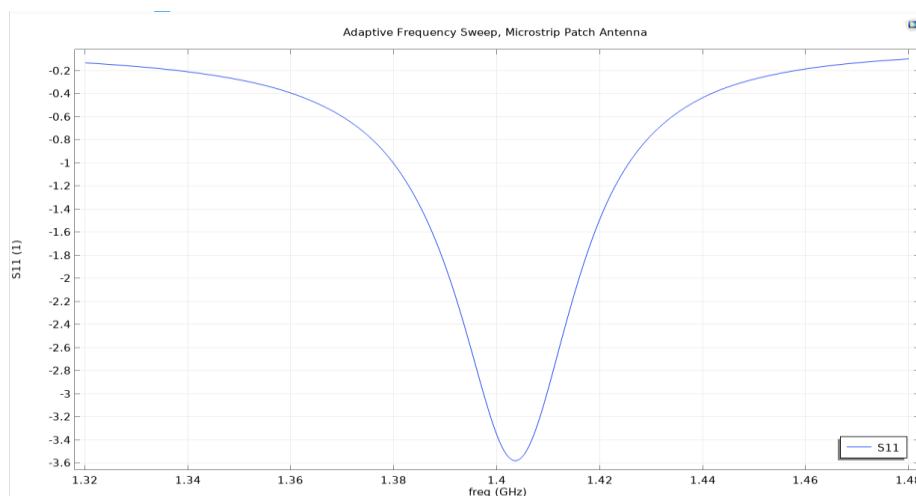


Рисунок 5 – Резонансная частота  
Figure 5 – Resonant frequency

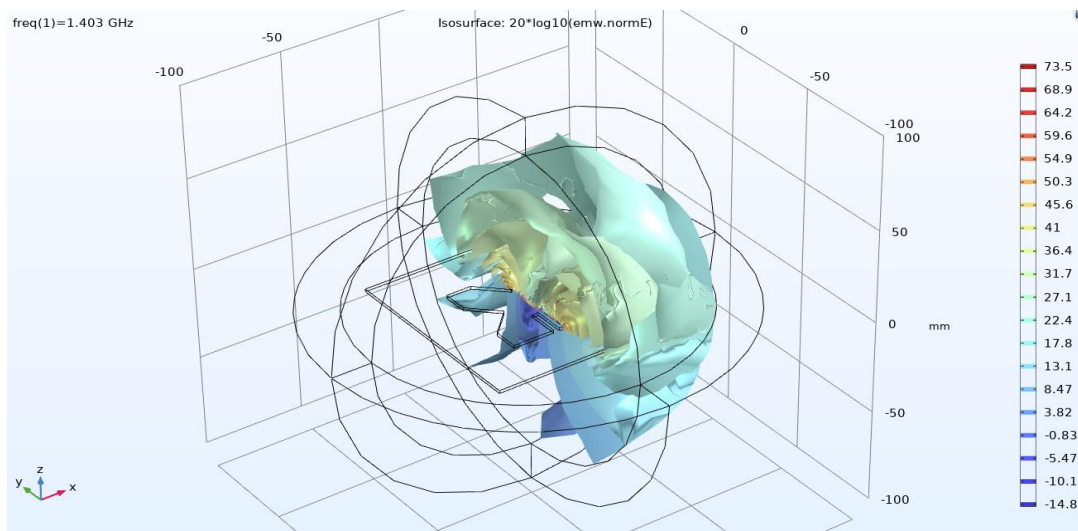


Рисунок 6 – График изоповерхности  
Figure 6 – Iso-surface plot

График изоповерхности, визуализирующий затухание амплитуды поля в микрополосковых патч-антеннах, представляет собой инструмент для наглядного отображения изменений амплитуды электромагнитного поля в зависимости от различных параметров или условий. Рисунок 6 демонстрирует, как амплитуда поля изменяется в предложенной геометрии антенны при резонансной частоте 1,403 ГГц. Полученные результаты показывают, что изменение числа линий электрического поля в единичном объеме в предложенной геометрии варьируется в диапазоне от -14,8 до 73,5.

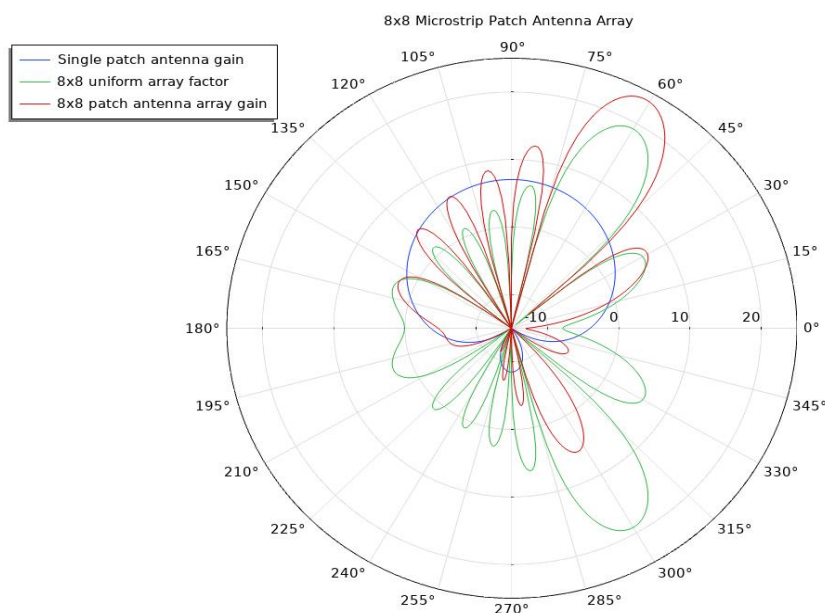


Рисунок 7 – Коэффициент усиления одиночной патч-антенны, коэффициент равномерной решетки 8×8, коэффициент усиления микрополосковой патч-антенны 8×8, построенные в дБ-шкале

Figure 7 – Gain of single patch antenna, gain of 8×8 uniform array, and gain of 8×8 microstrip patch antenna plotted in dB scale

На Рисунке 7 представлены три графика, показывающие эволюцию диаграммы направленности излучения от одиночной антенны к синтезированной антенной решетке с помощью коэффициента равномерности решетки. Излучение при использовании коэффициента равномерной решетки для 8x8 микрополосковых патч-антенн достигает максимума при угле в 60 градусов.

### Заключение

Исследуемая антенна имеет гораздо более компактную геометрию по сравнению с остальными моделями антенн [2, 3]. Использование конструкции прямоугольной микрополосковой патч-антенны с V-образными вырезами обеспечивает более эффективную поляризацию на краях, чем в центре, в данной модели патч-антенны. Резонансная частота данной антенны составляет 1,403 ГГц, что позволяет расширить полосу пропускания и улучшить согласование импеданса. Диаграмма направленности излучения как отдельной патч-антенны в плоскостях E и H, так и для 8x8 микрополосковой патч-антенны демонстрирует улучшение направленности и усиления антенны. Таким образом, эффективность микрополосковой патч-антенны находится на уровне или даже выше, чем у большинства подобных антенн.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Indrasen S. Microstrip Patch Antenna and its Applications: a Survey. *International Journal of Computer Applications in Technology*. 2011;(2):1595–1599.
2. Хамед Махьюб И.А., Кисель Н.Н. Исследование характеристик микрополосковой антенны с управляемым метаматериалом. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2019;(3):190–198.
3. Ваганова А.А., Кисель Н.Н., Панычев А.И. Направленные и поляризационные свойства микрополосковой реконфигурируемой антенны, перестраиваемой по частоте и поляризации. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2021;(2):74–83.
4. Sangeeta K., Arvind K., Ettiappan A., Kiran K. T., Manoj S. Design of microstrip patch antenna using Fennec Fox optimization with SSRR metamaterial for terahertz applications. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2023;23(6):1205–1213.
5. Dejene H. Study on received signal strength of femtocell with circular and rectangular microstrip patch antenna designed at 2.55 GHz. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2022;(2):348–354.
6. Yukhanov Yu.V., Alshimaysawe I.A. A 5g dual-band rectangular microstrip antenna with two etches and upper hexagonal end cut CPW fed. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2022;(6):206–212.
7. Литинская Е.А., Поленга С.В., Саломатов Ю.П. Антенная решетка на основе резонаторов Фабри-Перо с механоэлектрическим сканированием. *Известия вузов России. Радиоэлектроника*. 2021;24(5):36–49.
8. Стешковой А.А., Туровский А.В. Малогабаритная патч-антенна СВЧ диапазона. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2017;5(1):1–7.
9. Маковий В.А., Андреева О.А., Касаткина Т.И. Модель микрополосковой антенны для систем специальной связи. *Теория и техника радиосвязи*. 2018;(1):107–111.
10. Касаткина Т.И. Оптимизация микрополосковой антенной решетки для систем связи УИС. *Вестник Воронежского института ФСИИ России*. 2017;(1):15–22.
11. Jagtap R., Ugale A., Alegaonkar P. Ferro-nano-carbon split ring resonators: a bianisotropic metamaterial in X-band: Constitutive parameters analysis. *Materials Chemistry and Physics*. 2018;(205):366–375.



- Luukkonen O., Maslovski S., Tretyakov S. A Stepwise Nicolson–Ross–Weir-Based Material Parameter Extraction Method. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2011;(10):1295–1298.

## REFERENCES

- Indrasen S. Microstrip Patch Antenna and its Applications: a Survey. *International Journal of Computer Applications in Technology*. 2011;(2):1595–1599. (In Russ.).
- Khamed Makhyub E. A., Kisel N.N. Issledovaniye kharakteristik mikropoloskovoy anteny s upravlyayemym metamaterialom. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskiye nauki = News of the Southern Federal University. Technical sciences*. 2019;(3):190–198. (In Russ.).
- Vaganova A.A., Kisel N.N., Panychev A.I. Napravlennyye i polarizatsionnyye svoystva mikropoloskovoy rekonfiguriruyemoy anteny. perestraivayemoy po chastote i polarizatsii. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskiye nauki = News of the Southern Federal University. Technical sciences*. 2021;(2):74–83. c
- Sangeeta K., Arvind K., Ettiappan A., Kiran K. T., Manoj S. Design of microstrip patch antenna using Fennec Fox optimization with SSRR metamaterial for terahertz applications. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy. mekhaniki i optiki = Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2023;23(6):1205–1213.
- Dejene H. Study on received signal strength of femtocell with circular and rectangular microstrip patch antenna designed at 2.55 GHz. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy. mekhaniki i optiki = Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2022;(2):348–354.
- Yukhanov Yu.V., Alshimaysawe I.A. A 5g dual-band rectangular microstrip antenna with two etches and upper hexagonal end cut CPW fed. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskiye nauki = News of the Southern Federal University. Technical sciences*. 2022;(6):206–212. (In Russ.).
- Litinskaya E.A., Polenga S.V., Salomatov Yu.P. Antennaya reshetka na osnove rezonatorov Fabri-Pero s mekhanoelektricheskim skanirovaniyem. *Izvestiya vuzov Rossii. Radioelektronika = News of Russian universities. Radio electronics*. 2021;24(5):36–49. (In Russ.).
- Steshkovoy A.A., Turovskiy A.V. Malogabaritnaya patch-antenna SVCh diapazona. *Modelirovaniye. optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii. Nauchnyy zhurnal = Modeling, optimization and information technology. Scientific journal*. 2017;5(1):1–7. (In Russ.).
- Makoviy V.A., Andreyeva O.A., Kasatkina T.I. Model mikropoloskovoy anteny dlya sistem spetsialnoy svyazi. *Teoriya i tekhnika radiosvyazi = Theory and technology of radio communication*. 2018;(1):107–111. (In Russ.).
- Kasatkina T.I. Optimizatsiya mikropoloskovoy antennoy reshetki dlya sistem svyazi UIS. *Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii = Bulletin of the Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia*. 2017;(1):15–22. (In Russ.).
- Jagtap R., Ugale A., Alegaonkar P. Ferro-nano-carbon split ring resonators: a bianisotropic metamaterial in X-band: Constitutive parameters analysis. = *Materials Chemistry and Physics*. 2018;(205):366–375.
- Luukkonen O., Maslovski S., Tretyakov S. A Stepwise Nicolson–Ross–Weir-Based Material Parameter Extraction Method. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2011;(10):1295–1298.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Черкесов Данил Сергеевич**, студент  
Воронежский государственный технический  
университет, Воронеж, Российская Федерация.  
*e-mail:* [30091988tk@gmail.com](mailto:30091988tk@gmail.com)  
ORCID: [0009-0003-7226-8428](https://orcid.org/0009-0003-7226-8428)

**Danil S. Cherkesov**, Undergraduate Student,  
Voronezh State Technical University, Voronezh,  
the Russian Federation.

**Касаткина Татьяна Игоревна**, доцент  
кафедры физики, кандидат физико-  
математических наук, доцент, Воронежский  
государственный технический университет,  
Воронеж, Российская Федерация  
*e-mail:* [kasatkinatatian@gmail.com](mailto:kasatkinatatian@gmail.com)  
ORCID: [0000-0002-9873-3266](https://orcid.org/0000-0002-9873-3266)

**Tatiana I. Kasatkina** Associate Professor at the  
Department of Physics, Candidate of Physical and  
Mathematical Sciences, Associate Professor,  
Voronezh State Technical University, Voronezh,  
the Russian Federation.

*Статья поступила в редакцию 12.03.2024; одобрена после рецензирования 25.03.2024;  
принята к публикации 29.03.2024.*

*The article was submitted 12.03.2024; approved after reviewing 25.03.2024;  
accepted for publication 29.03.2024.*