

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.20>

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕАЛИЗАЦИИ АНТЕННЫ В ВИДЕ КОНИЧЕСКОГО МОНОПОЛЯ

Научная статья

Панько В.С.<sup>1,\*</sup>, Ерохин А.А.<sup>2</sup>, Сенченко А.А.<sup>3</sup>, Андреев А.Г.<sup>4</sup><sup>1</sup>ORCID : 0000-0001-5499-1880;<sup>2</sup>ORCID : 0000-0002-7707-8792;<sup>1, 2, 3, 4</sup> Сибирский федеральный университет, Красноярск, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (vas2006[at]bk.ru)

**Аннотация**

Рассматривается антенна в виде конического монополя диапазона средних волн *Monopole*, образованная сеткой проводников. С помощью электродинамического моделирования установлены конструктивные характеристики, важные для разработки и изготовления экспериментального образца антенны. Показано, что выбор материала проводников, а также их радиус антенны не оказывает существенного влияния на характеристики антенны, в силу чего данные параметры могут быть выбраны из соображений удобства технической реализуемости. Также рассмотрены три способа исключения вертикальных проводников из антенны, необходимые для проведения экспериментальных исследований, отмечено, что в экспериментах следует использовать способ отключения в верхней и нижней точках сборки одновременно.

**Ключевые слова:** конический монополь, входное сопротивление, монополе.

## RESEARCH ON THE DESIGN FEATURES OF AN ANTENNA IN THE FORM OF A CONICAL MONOPOLE

Research article

Panko V.S.<sup>1,\*</sup>, Erokhin A.A.<sup>2</sup>, Senchenko A.A.<sup>3</sup>, Andreev A.G.<sup>4</sup><sup>1</sup>ORCID : 0000-0001-5499-1880;<sup>2</sup>ORCID : 0000-0002-7707-8792;<sup>1, 2, 3, 4</sup> Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

\* Corresponding author (vas2006[at]bk.ru)

**Abstract**

An antenna in the form of a conical monopole of the medium-wave range *Monopole*, formed by a net of conductors, is examined. By means of electrodynamic simulation, the design characteristics important for the development and fabrication of an experimental sample antenna are established. It is shown that the choice of conductor material, as well as the radius of the antenna, does not significantly affect its characteristics, due to which these parameters can be chosen from considerations of ease of technical feasibility. Three ways of excluding vertical conductors from the antenna necessary for experimental studies are also reviewed, it is noted that the experiments should use the method of disconnection at the upper and lower points of the assembly simultaneously.

**Keywords:** conical monopole, terminal impedance, monopole.**Введение**

Антенны, имеющие форму конического монополя, позволяют обеспечить хорошее согласование с фидерной линией в широкой полосе рабочих частот и благодаря этому находят применение в различных радиотехнических приложениях: широкополосная связь, радионавигация, радиомониторинг. Исследованию антенн такого типа посвящено большое количество работ [1], [3], [5], [8], в которых они называются *Monopole* в силу характерной формы. Также существуют серийно выпускаемые промышленные образцы [9], [10], применяемые в системах радиосвязи в диапазонах коротких и средних волн, однако точных данных об их размерах, конструктивных особенностях и используемых при изготовлении материалах не приводится.

Для разработки и практической реализации образца антенны *Monopole* диапазона средних волн необходимо определить ряд конструктивных параметров, которые могут оказать существенное влияние на общую конструкцию антенны и затраты на ее изготовление. К ним относятся: выбор материала проводников антенны и их сечение; способы присоединения проводников к центральной несущей мачте; присутствие проводника, проложенного вдоль центральной мачты и его сечение, и другие.

**Методы и принципы исследования**

Упрощенная модель антенны *Monopole* показана на рисунке 1. Проводники, далее называемые «вертикалами», образуют поверхность конуса и соединяются между собой в верхней *H* и нижней *D* точках. Таким образом, формируется верхнее «плечо» антенны — излучающий монополь. Вторым плечом антенны является радиальная сетка проводников, называемых противовесами, расположенная на подстилающей поверхности. Питание антенны осуществляется включением симметричного источника между нижней точкой соединения вертикалов и точкой соединения противовесов.

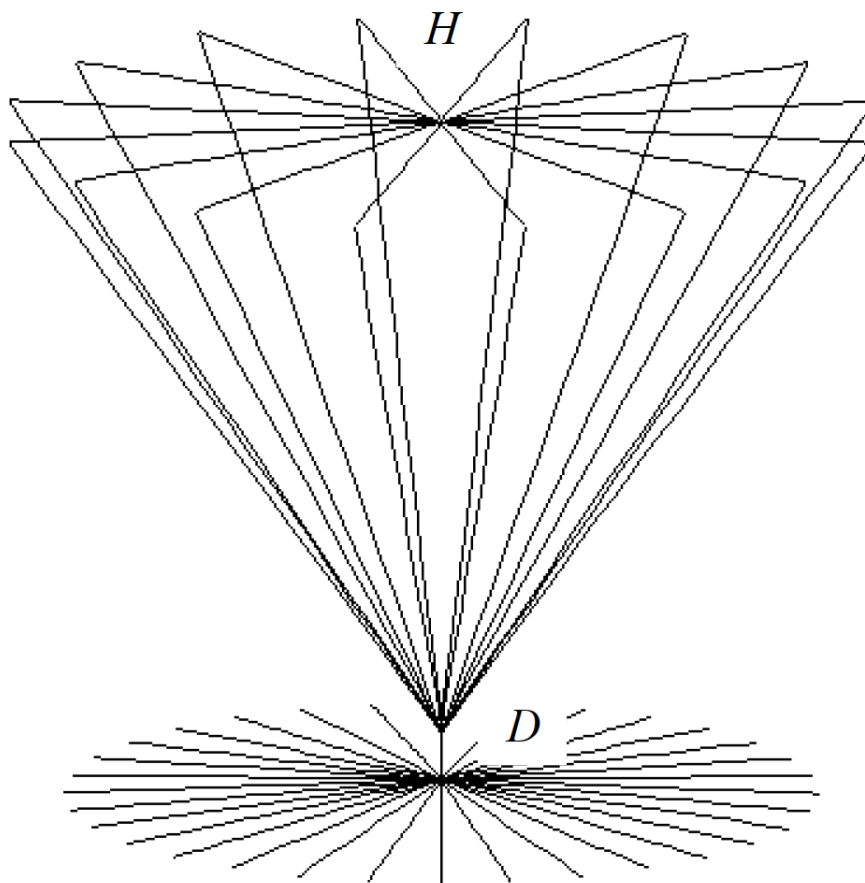


Рисунок 1 - Модель антенны *Monopole*  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.20.1>

Далее в настоящей работе с помощью электродинамического моделирования проведено исследование характеристик модели антенны *Monopole*, работающей в диапазоне частот 1,61-2,21 МГц. Моделирование проведено с помощью системы *NEC-2D* [11], в среде *GNEC* [12] для «средних» параметров подстилающей поверхности:  $\epsilon = 13$ ,  $\sigma = 0.005$  См/м.

### Основные результаты

Сначала определим, каким образом влияет материал вертикалов на электрические характеристики антенны *Monopole*. Далее различные модели антенн будем обозначать в виде  $M_{VN}$ , где  $VN$  – количество вертикалов. Рассмотрим антенну  $M_{16}$  со следующими параметрами: количество вертикалов  $VN = 16$ , высота монополя  $h = 22$  м, радиус противовесов  $pr = 12$  м, радиус монополя  $vr = 14$  м. Количество противовесов  $PN = 32$ . Радиус проводников и противовесов одинаков и равен 1 мм.

При моделировании проведен расчет входного сопротивления и добротности модели антенны для вертикалов, изготовленных из идеального проводника *PEC* (бесконечная проводимость,  $\sigma = \infty$ ), меди ( $\sigma = 58 \cdot 10^6$  См/м), алюминия ( $\sigma = 38 \cdot 10^6$  См/м), стали ( $\sigma = 7,7 \cdot 10^6$  См/м) и нержавеющей стали ( $\sigma = 2 \cdot 10^6$  См/м). Рассчитанное в *NEC-2D* входное сопротивление моделей антенн приведено на рисунках 2, 3 в абсолютных значениях и на рисунках 4, 5 в виде отклонения от случая с материалом *PEC*.

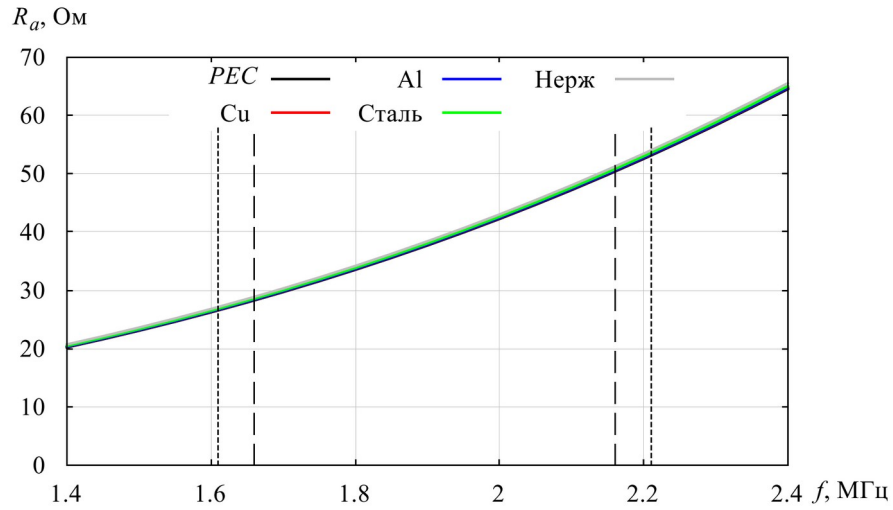


Рисунок 2 - Входное сопротивление модели антенны (активная часть) для различного материала вертикалов  
 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.20.2>

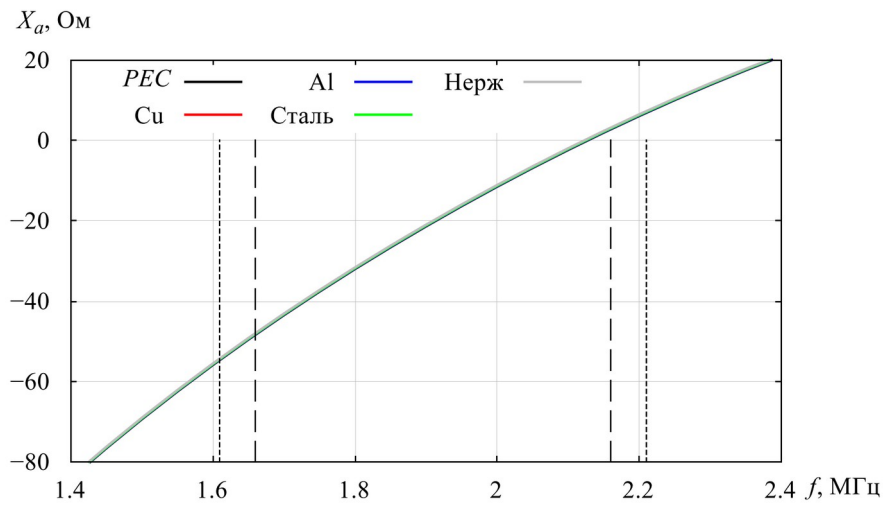


Рисунок 3 - Входное сопротивление модели антенны (реактивная часть) для различного материала вертикалов  
 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.20.3>

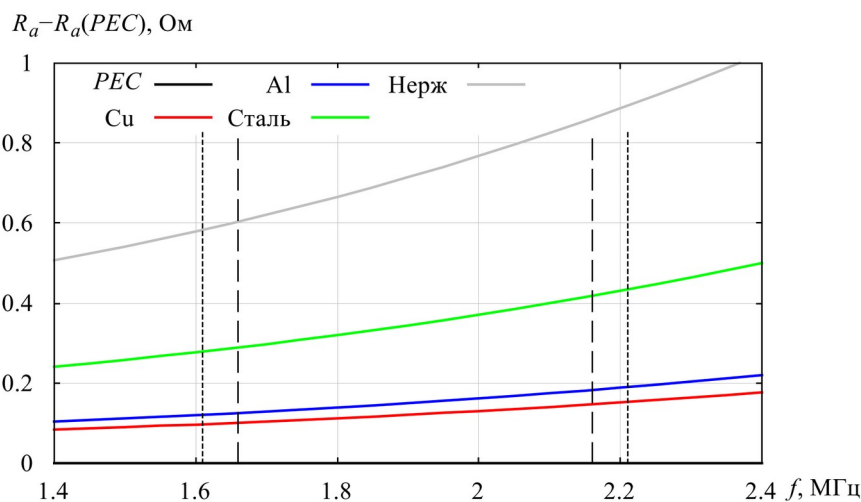


Рисунок 4 - Входное сопротивление модели антенны (активная часть) для различного материала вертикалов, отклонение от PEC  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.20.4>

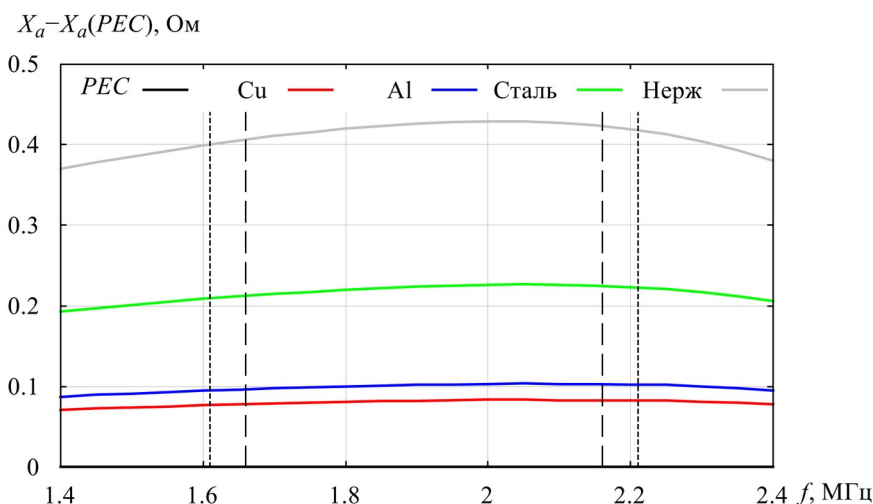


Рисунок 5 - Входное сопротивление модели антенны (реактивная часть) для различного материала вертикалов, отклонение от PEC  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.20.5>

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что материал проводов вертикалов практически не влияет на электрические характеристики антенны. Выбор материала следует производить, исходя из механических и конструктивных свойств (например, трос из нержавеющей стали).

Далее рассмотрим, как влияет на электрические характеристики антенны радиус проводов, из которых будут изготовлены вертикалы. Общая протяженность вертикалов в антенне типа  *monopole*  весьма велика: для опытного образца антенны с приведенными выше параметрами она составляет 632 м. Таким образом, радиус и погонная масса провода вертикалов будут весьма сильно влиять на общую массу антенны.

Результаты расчета входного сопротивления модели антенны при изменении радиуса в пределах 1...10 мм приведены на рисунках 6, 7 в виде отклонения от случая 1 мм. Как видно из рисунков, изменение сопротивления весьма незначительно и составляет доли Ом для активной составляющей и единицы Ом для реактивной. Повидимому, этим изменением можно пренебречь и принять в качестве допустимого радиус, равный 1...2 мм. Окончательно радиус проводов следует выбрать, исходя из соображений механической прочности.

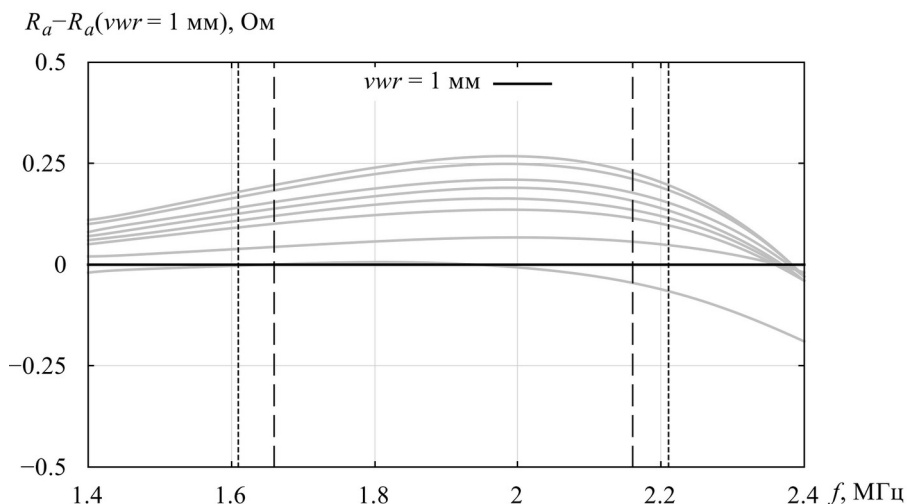


Рисунок 6 - Входное сопротивление модели антенны (активная часть) в зависимости от радиуса вертикалов  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.20.6>

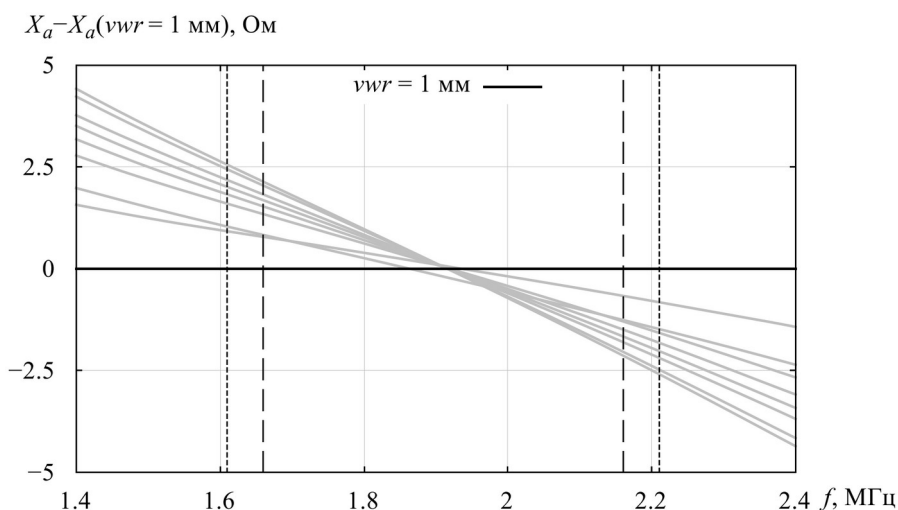


Рисунок 7 - Входное сопротивление модели антенны (реактивная часть) в зависимости от радиуса вертикалов  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.20.7>

При построении опытного образца антенны *Monosone* необходимо экспериментальным образом определить минимальное количество вертикалов  $VN$ , достаточное для обеспечения требуемых характеристик. В дальнейших экспериментальных исследованиях планируется разработка и изготовление образца антенны с  $VN = 16$ . Затем, при проведении экспериментов, путем исключения части вертикалов из конструкции будет определено влияние их количества на характеристики антенны.

Исключение вертикалов можно проводить тремя способами, по мере уменьшения трудоемкости:

1. Полное физическое удаление отключаемых вертикалов из конструкции антенны;
2. Отключение одновременно в верхней  $H$  и нижней  $D$  точках соединения;
3. Отключение только в верхней точке соединения  $D$ .

Очевидно, что наиболее достоверные результаты будут получены по способу 1, однако этот способ является и самым трудоемким. Необходимо провести моделирование, направленное на поиск различий в характеристиках антенны при сравнении трех указанных способов.

Далее рассмотрим характеристики антенны для следующих случаев:

1. Количество вертикалов  $VN = 16, 8, 4$ ;
2. Способы исключения: удаление; отключение в верхней точке  $D$ ; отключение в верхней и нижней точках  $H + D$ .

Соответствующие модели антенн обозначаются в виде  $M_{VN-AA}$ , где  $AA$  – способ исключения. Итого будет получено 7 конструкций:  $M_{16}$ ,  $M_8$ ,  $M_4$ ,  $M_8-D$ ,  $M_8-D-H$ ,  $M_4-D$ ,  $M_4-D-H$ , которые сравниваются по критерию совпадения входного сопротивления и добротности. Все прочие параметры оставлены без изменения.

Моделирование показывает, что метод отключения только в нижней точке  $D$ , самый удобный с точки зрения реализации, к сожалению, является неприемлемым: характеристика входного сопротивления приобретает выраженный резонанс (рисунки 8, 9). Этот эффект объясняется тем, что свободные вертикалы, оставшиеся подключенными в

верхней точке сборки  $H$ , действуют как емкостная нагрузка значительной величины, которая добавляется к комплексному входному сопротивлению антенны и образует резонансный контур.

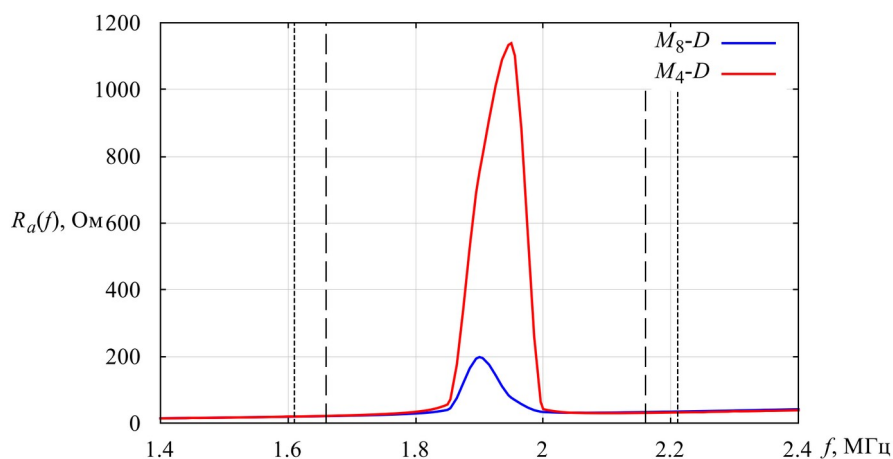


Рисунок 8 - Входное сопротивление моделей  $M_8-D$  и  $M_4-D$  (активная часть), отключение вертикалов в верхней точке  $D$   
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.20.8>

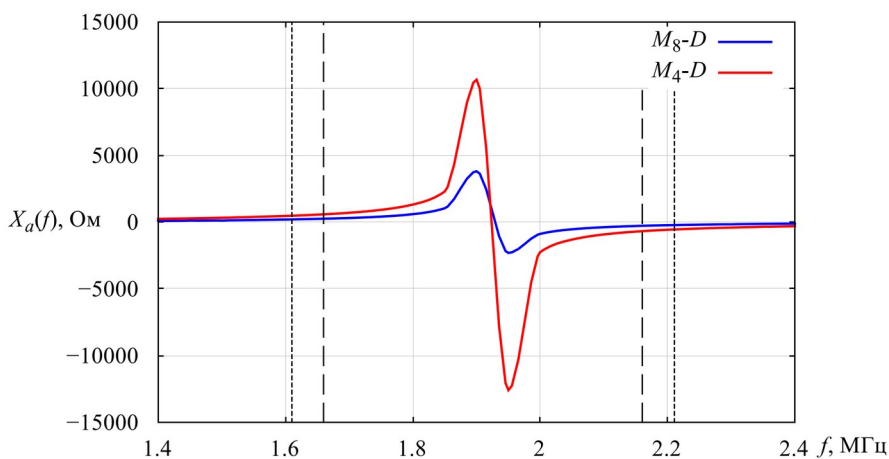


Рисунок 9 - Входное сопротивление моделей  $M_8-D$  и  $M_4-D$  (реактивная часть), отключение вертикалов в верхней точке  $D$   
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.20.9>

Далее рассмотрим антенны  $M_4-D-H$  и  $M_8-D-H$ , образованные путем отключения вертикалов одновременно в верхней и нижней точках. Графики входного сопротивления показаны на рисунках 10, 11, соответствующие значения добротности равны приведены в таблице 1.

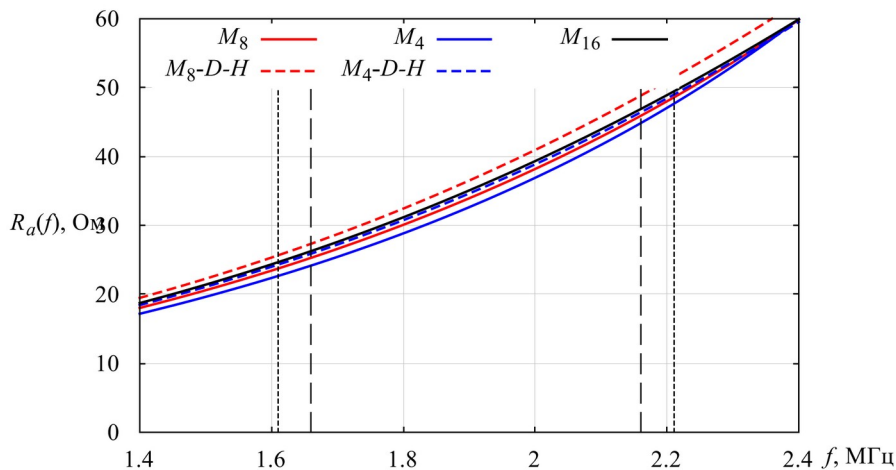


Рисунок 10 - Входное сопротивление моделей антенн (активная часть), отключение вертикалов в верхней и нижней точках

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.20.10>

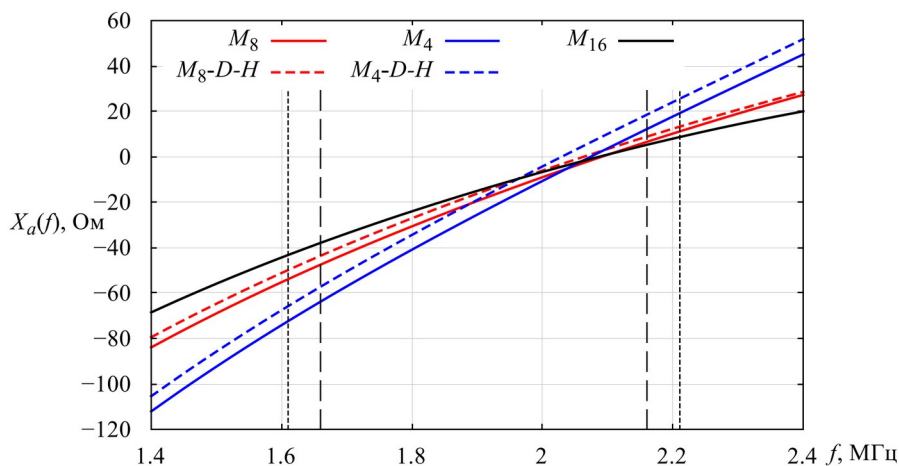


Рисунок 11 - Входное сопротивление моделей антенн (реактивная часть), отключение вертикалов в верхней и нижней точках

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.20.11>

Таблица 1 - Добротность моделей антенн

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.20.12>

Наименование модели	Добротность $Q$
$M_{16}$	0,827
$M_8$	1,068
$M_{8-D-H}$	0,956
$M_4$	1,54
$M_{4-D-H}$	1,432

Как видно из представленных результатов, сопротивления моделей антенн с полностью удаленными вертикалами, и вертикалами, отключенными в двух точках, весьма близко совпадают, при этом добротность отличается не более чем на 12%. Поэтому с достаточной точностью можно считать, что отключение вертикалов одновременно в верхней и нижней точках является приемлемым методом для проведения экспериментов с разным количеством вертикалов.

#### Заключение

В результате проведенных исследований рассмотрены различные модели антенны Мопосоне. Показано, что при проведении экспериментальных исследований образца антенны с целью выбора необходимого числа вертикалов

допустимо отключать неиспользуемые вертикалы в верхней и нижней точках сборки, без физического удаления вертикалов из конструкции. Также установлено, что материал проводников вертикалов антенны и их радиус не оказывают значимого влияния на входное сопротивление антенны и ее добротность, что дает возможность произвести выбор, руководствуясь соображениями механической прочности, доступности и технической реализуемости.

#### Финансирование

Работа выполнена при поддержке КГАУ "Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности", проект 2022030108251.

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

#### Funding

The reported study was funded by Krasnoyarsk Regional Science Foundation, project no. 2022030108251.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

#### Список литературы на английском языке / References in English

1. Aten D.W. Genetically optimized, low profile, wideband, shorted monocone antenna / D.W. Aten, R.L. Haupt // 2009 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. - 2009. - P. 1-4. - DOI: 10.1109/APS.2009.5171992.
2. Ha J. Wideband, loaded, low profile, small diameter monocone antenna / J. Ha, M. A. Elmansouri, D. S. Filipović // 2015 IEEE Int. Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting. - 2015. - P. 2317-2318. - DOI: 10.1109/APS.2015.7305547.
3. Keller S.D. Wire-Frame Monocone Antenna for Direction-Finding Applications on Unmanned Aerial Vehicle Platform / S.D. Keller // IEEE Antennas and Propagation Magazine. - 2011. - Vol. 53. - № 1. - P. 56-65. - DOI: 10.1109/MAP.2011.5773568.
4. Taniguchi T. An omnidirectional and low-VSWR antenna for ultra-wideband wireless systems / T. Taniguchi, T. Kobayashi. // Proceedings RAWCON 2002. 2002 IEEE Radio and Wireless Conference (Cat. No.02EX573). - 2002. - P. 145-148. - DOI: 10.1109/RAWCON.2002.1030138.
5. Zhao Y. Wideband and Low-Profile Monocone Quasi-Yagi Antenna for Endfire Radiation / Y. Zhao, Z. Shen, W. Wu // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. - 2017. - Vol. 16. - P. 325-328. - DOI: 10.1109/LAWP.2016.2574870.
6. Bieth F. Calibration With a Monocone on a Ground Plane / F. Bieth, P. Delmote // IEEE Transactions on Plasma Science. - 2017. - Vol. 45. - № 10. - P. 2744-2747. - DOI: 10.1109/TPS.2017.2703877.
7. McDonald J.L. On the Bandwidth of Monocone Antennas / J.L. McDonald, D.S. Filipovic // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. - 2008. - Vol. 56. - № 4. - P. 1196-1201. - DOI: 10.1109/TAP.2008.919226.
8. Wang X.-J. Research on Optimization of the Monocone Antenna Feed Structure / X.-J. Wang et al. // 2019 IEEE 2nd International Conference on Electronics Technology (ICET). - 2019. - P. 66-69. - DOI: 10.1109/ELTECH.2019.8839366.
9. Conical Monopole Antenna \ HANJIN Electronics Ind. Co. Ltd. - URL: <http://www.hanjinet.co.kr/antenna/?ckattempt=1> (accessed 14.06.2022)
10. KRATOS 2753 Series Granger Conical Monocone Antennas. - URL: <https://www.kratosdefense.com/-/media/k/pdf/s/a/2753-conical-monopole-hf-antenna.pdf> (accessed 14.06.2022)
11. Burke G.J. Numerical Electromagnetics Code (NEC)-method of moments / G.J. Burke, A.J. Poggio. - Lawrence Livermore Lab, 1981.
12. GNEC V1.6. Upgrade Manual / Nittany Scientific, Inc. - 2003.