

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕТЕЙ РАДИОСВЯЗИ ТАКТИЧЕСКОГО ЗВЕНА УПРАВЛЕНИЯ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ АНТЕНН

Бородулин Р. Ю.<sup>1</sup>, Лукьянов Н. О.<sup>2</sup>, Лянгузов Д. А.<sup>3</sup>, Моргачев М. П.<sup>4</sup>

DOI:10.21681/3034-4050-2025-6-71-77

**Ключевые слова:** средства радиосвязи тактического звена управления, коллинеарная антенна, широкополосная направленная антенна, коэффициент усиления.

## Аннотация

**Цель работы:** состоит в анализе сетей радиосвязи тактического звена управления (ТЗУ), построенных на радиостанциях комплекса «Азарт» и, как следствие, в разработке ненаправленной и направленной антенн с повышенным коэффициентом усиления для работы в составе ретрансляторов ТЗУ. Антенны должны превосходить по электрическим характеристикам штатные, обеспечивать большие дальности связи и лучшие показатели помехоустойчивости.

**Методы исследования:** численные методы электродинамики для анализа и синтеза излучателей электрически малых размеров.

**Результаты** заключаются в разработке двух типов излучателей: имеющего круговую характеристику направленности в азимутальной плоскости с повышенным коэффициентом усиления и направленного широкополосного излучателя с расширенной полосой рабочих частот, по сравнению со штатными антеннами, применяемыми в составе радиостанций комплекса «Азарт». Обоснован выбор данных типов антенн, исходя из особенностей работы ретрансляторов в составе сетей прямых связей, радиодоступа и сети распределенной. Предлагаемые антенны доведены до действующих прототипов, имеют подтвержденное увеличение эффективности их работы.

**Практическая ценность** заключается в возможности уменьшения числа ретрансляторов, построенных на радиостанциях комплекса «Азарт», за счет применения разработанных антенн с возможностью пространственной отстройки от преднамеренных помех.

## Постановка задачи на разработку излучателей в составе радиостанций комплекса «Азарт»

Современные средства радиосвязи тактического звена управления (ТЗУ), стоящие на снабжении ВС РФ и применяемые в зоне специальной военной операции (СВО), реализуют принципы построения, базирующиеся на совмещении передовых технологий в области радио и сетевых систем. Такой подход к построению средств радиосвязи предполагает их реализацию на платформе программно-определяемого радио. Следовательно, современные средства радиосвязи, кроме высоких характеристик радиотрактов, должны удовлетворять требованиям по построению автоматизированных сетей радиосвязи.

Другим аспектом, определяющим требования к современным средствам радиосвязи

ТЗУ, является учет деструктивных воздействий противника. Необходимо учесть особенности построения современных систем воздействия, основанных не только на динамическом расширении спектра воздействий в зависимости от режимов функционирования радиосредств, но и возможности постановки различных видов помех, приходящих с различных направлений. Поэтому к средствам радиосвязи ТЗУ дополнительно должны предъявляться требования по помехозащитности.

Опыт проведения СВО показал, что немаловажным требованием к средствам радиосвязи ТЗУ является их способность функционировать скрытно от радиоразведки противника. Таким образом, определяются требования к радиосредствам ТЗУ по сетевым

1 Бородулин Роман Юрьевич, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры радиосвязи Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: borodulroman@yandex.ru

2 Лукьянов Николай Олегович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры радиосвязи Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: lukyanovno@yandex.ru

3 Лянгузов Данила Андреевич, кандидат технических наук, заместитель начальника отдела (организации научной работы и подготовки научно-педагогических кадров) Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: danilalgz@yandex.ru

4 Моргачев Михаил Петрович, соискатель Военной академии связи, г. Санкт-Петербург, Россия. E-mail: danilalgz@yandex.ru

и радиотехнологиям, скрытности и помехозащищенности. Основываясь на вышеизложенном, в данной статье проведем анализ состояния средств радиосвязи ТЗУ на соответствие сформулированным требованиям и определим перспективы их дальнейшего развития.

Радиостанции комплекса «Азарт» учитывают воздействие современных систем деструктивных воздействий, в частности, скорость ППРЧ составляет до 20 000 скачков в секунду, что физически исключает постановку наиболее эффективных помех «в след», затрудняет применение имитационных помех. Кроме того, реализация режима ППРЧ в комплексе 6-го поколения предполагает возможность работы в более широкой полосе частот по сравнению с 5-м поколением радиосредств, что снижает эффективность воздействия преднамеренных помех. Однако, негативным следствием высоких показателей помехозащиты за счет увеличения широкополосности, является ухудшение общих характеристик радиотрактов, что определяет некоторое снижение дальности радиосвязи и свойств избирательности.

Для увеличения дальности радиосвязи в радиостанциях комплекса «Азарт» реализован режим многопролетной ретрансляции. Для создания обширной сети передачи голосовых и текстовых данных на значительных расстояниях применяют режим IP-ретрансляции. В отличие от средств радиосвязи 5-го поколения данные режимы автоматизированы.

Радиостанции комплекса «Азарт» обеспечивают взаимодействие с транкинговыми сетями профессиональной связи стандарта TETRA (TErrestrial TRunked RAdio) при наличии базовой и коммутационной инфраструктуры.

Сеть радиосвязи ТЗУ, организованная на основе радиосредств 6-го поколения, включает в себя три относительно самостоятельные по принципам организации, но единые по технической основе, составляющие:

- сеть прямых связей (СПС);
- сеть радиодоступа (СРД);
- сеть распределенную (СР).

Данные радиосредства способны работать в сетевом режиме на основе построения связанных сетей, образуя зону покрытия при помощи имеющихся ретрансляторов. Одиночные радиостанции без использования дополнительного оборудования позволяют обеспечивать радиосвязь на дальности в зоне прямой видимости. Применение ретрансляторов позволяет повысить дальность связи, в зависимости от высот

подъема антенн, с возможностью выхода в сети открытого доступа (Internet, городская АТС, IP) и организации диспетчерской службы. Абоненты радиосети могут объединяться в большое число отдельных групп, что обеспечивает оперативность переключения.

Однако как показал опыт СВО применение большого числа ретрансляторов является демаскирующим признаком, а также требует постоянного обслуживания, замены элементов питания и т.д. Это, в свою очередь, подвергает военнослужащих, обслуживающих радиосети, определенному риску.

Кроме того, без повышения эффективности применяемых антенных устройств, невозможно повысить помехоустойчивость и разведзащищенность организуемых радиосетей.

Так, штатные антенны для радиостанций комплекса «Азарт», такие как АШ-27/520-Н, АШ-100/520-ПН и АШ-136/520-П обеспечивают возможность ведения радиосвязи на требуемые расстояния, но только в достаточно узких полосах рабочих частот с небольшим коэффициентом усиления (порядка 2 дБ). Для уменьшения количества ретрансляторов и сохранения требуемых дальности и качества радиосвязи целесообразно разрабатывать и применять более широкополосные антенны с большим коэффициентом усиления. Для обеспечения дальности свыше 10 км необходимо применять мачты или высотные сооружения с высотой не менее 20 м, что не всегда возможно.

Если требуется обеспечить большую зону покрытия для корреспондентов находящихся по произвольному азимуту целесообразно применять антенны с круговой направленностью и большим коэффициентом усиления. Примером таких антенн может служить антенны коллинеарные [1].

### **Расчет электрических характеристик коллинеарной антенны**

Для расчета поверхностных токов и дальнейшего анализа направленных свойств использованы численные методы электродинамики [2–4]. Проведен расчет размеров и электрических параметров различных вариантов антенн данного типа. По результатам расчетов разработана новая ненаправленная коллинеарная антенна, которая как и обычный несимметричный вибратор обладает круговой диаграммой направленности (ДН) в горизонтальной плоскости, но в отличие от обычных

штыревых антенн имеет более высокий коэффициент усиления (порядка 7 дБ) за счет оригинальной системы поворота фаз, встроенной в полотно антенны.

Внешний вид антенны представлен на рисунке 1.

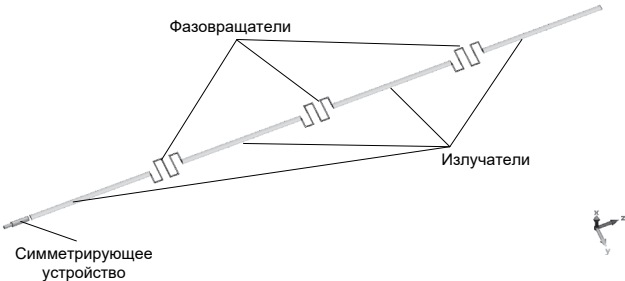


Рис. 1. Схема антенны

Изготовить данную антенну возможно даже из подручных материалов. Для этого необходима измерительная рулетка шириной 20 мм, латунная гильза 12 калибра, проволока диаметром 2 мм, коаксиальный кабель волновым сопротивлением 50 Ом. Каждый излучатель изготавливаются из 4 пластин, сложенных так, чтобы образовать выпуклость наружу (рис. 2).



Рис. 2. Сложение пластин излучателя

Для изготовления симметрирующего устройства хорошо подходит латунная гильза. Схема подключения коаксиального кабеля представлена на рисунке 3. Для подключения антенны к радиостанции используется коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом, припаянный центральной жилой к проводу проходящему внутри симметрирующего устройства и скрепленного с излучателем (точка А). Оплетка кабеля припаивается к основанию симметрирующего устройства (патрона) (точка Б). Для повышения надежности соединения внутренняя часть симметрирующего устройства заполняется строительной пеной или другим диэлектриком, например фторопластом.

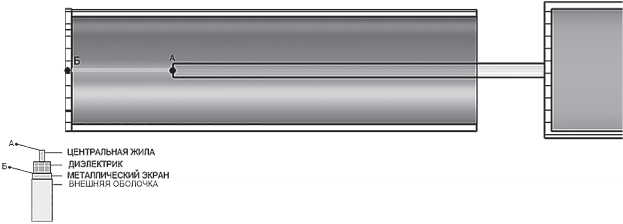


Рис. 3. Схема подключения кабеля питания

Основные электрические характеристики антенны представлены в таблице 1:

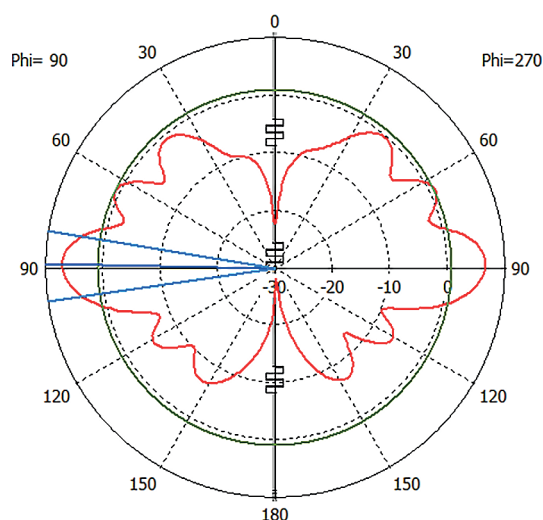
Таблица 1.  
Электрические характеристик антенны

Диапазон рабочих частот	435-445 МГц
Диаграмма направленности	Ненаправленная
Коэффициент усиления	6,9 дБ
Поляризация	Линейная, вертикальная (если расположить относительно земной поверхности как показано на рис. 3)
Коэффициент стоячей волны	Не более 2
Волновое сопротивление коаксиального кабеля	50 Ом
Дальность связи при соблюдении условия прямой видимости	10 км

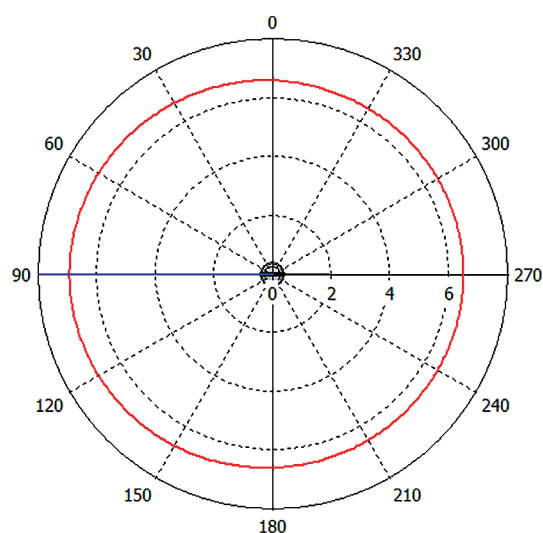
Общий вид диаграммы направленности представлен на рисунке 4.

Разработанная антенна обладает ненаправленными свойствами, поэтому при работе не требует ориентирования на корреспондента, должна располагаться на вершине мачты вертикально.

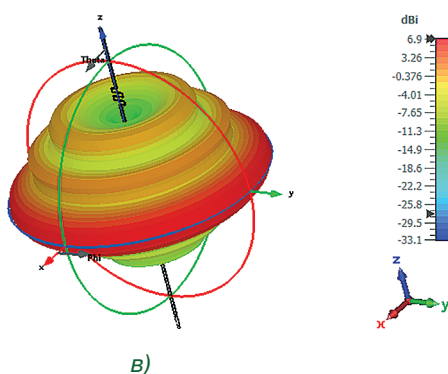
На рисунке 5 представлен график частотного распределения коэффициента стоячей волны (КСВ). Видно, что наилучшего согласования при данных геометрических параметрах антенны удалось добиться в частотном диапазоне 432–445 МГц. На рисунке 6 представлен экспериментальный образец антенны.



а)



б)



в)

Рис. 4. Диаграмма направленности антенны на частоте 435 МГц:

а) диаграмма направленности в вертикальной плоскости; б) диаграмма направленности в горизонтальной плоскости; в) трехмерная диаграмма направленности

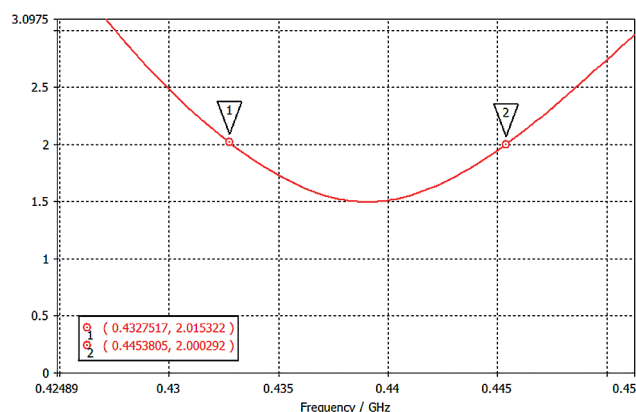


Рис. 5. График КСВ в фидере с волновым сопротивлением 50 Ом



Рис. 6. Общий вид экспериментального образца антенны

Преимущества:

- доступность материалов и простота изготовления,
- согласование с КСВ не выше 2;
- высокий коэффициент усиления порядка 7 дБ;

Недостатки:

- узкая полоса частот рабочих частот при использовании указанного симметрирующего устройства.

Таким образом, разработанная коллинеарная антенна обладает большим на 5 дБ КУ, по сравнению со штатными вертикальными антеннами. Для работы в других полосах частот необходимо кратно менять ее линейные размеры, либо применять более широкополосное симметрирующее устройство.

### Расчет электрических характеристик направленного широкополосного симметричного вибратора с рефлектором

С недавнего времени в комплект поставки включена направленная антенна АВК 3,5. Антенна предназначена для установки на мачту в составе радиостанции-ретранслятора и при условии прямой видимости позволяет обеспечивать связь на расстояния до 15 км.



Это достигается за счет направленных свойств антенны. Однако ее диаграмма направленности ограничена небольшим рабочим диапазоном частот приблизительно от 400 до 520 МГц. На более низких частотах эта антенна имеет большой задний лепесток, что неизбежно приводит к потере части электромагнитной энергии и, как следствие, уменьшению качества и дальности связи, снижению разведзащищенности радиолинии.

Для нивелирования указанных недостатков, целесообразно применять более широкополосную антенну. Примером такой антенны может служить широкополосный симметричный вибратор с рефлектором.

Направленная широкополосная антенна, имеет один главный лепесток диаграммы направленности, обладает высоким уровнем согласования с фидерной линией с волновым сопротивлением 50 Ом. Требует строгой ориентации на корреспондента. Антенна состоит из рефлектора, встроенного в излучающую поверхность, симметрирующего устройства и двух излучающих пластин (диполя) [5].

Внешний вид антенны представлен на рисунке 7.

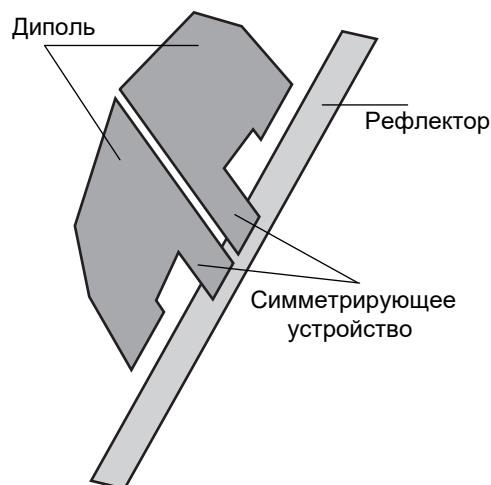


Рис. 7. Схема антенны

Для того, чтоб изготовить антенну из подручных материалов, требуется медный или латунный лист; в некоторых случаях, можно использовать стальной лист толщиной 1 мм размерами 50 на 60 мм, коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 50 Ом. Антенна, изготовленная таким образом устойчива к ударным и вибрационным нагрузкам. Основные электрические характеристики антенны

представлены в таблице 2. Общий вид диаграммы направленности представлен на рисунке 8.

Таблица 2.  
Электрические характеристик антенны

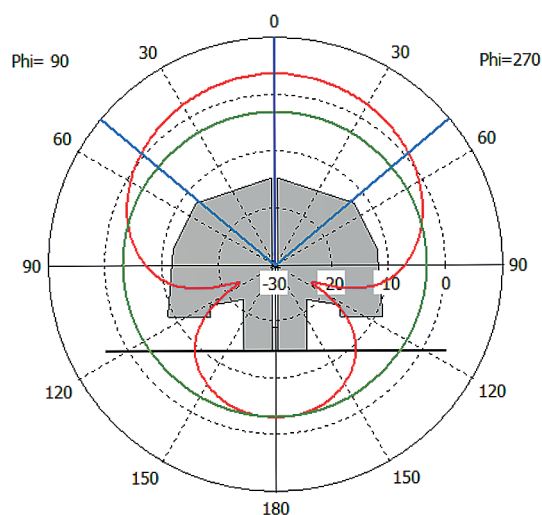
Диапазон рабочих частот	299–509 МГц
Диаграмма направленности	Направленная
Коэффициент усиления	Не менее 9 дБ
Поляризация	Линейная, вертикальная (если расположить относительно земной поверхности как показано на рис. 2)
Коэффициент стоячей волны	Не более 2 (в 90 % диапазона не более 1,5)
Волновое сопротивление коаксиального кабеля	50 Ом
Дальность связи при соблюдении условия прямой видимости	15 км

Антенна обладает выраженными направленными свойствами. При работе требует ориентации на корреспондента острием полотна диполя (см. рис. 3а). Разработанный излучатель может использоваться в качестве антенны для ретранслятора, размещенной на мачте, к которой крепится металлическим рефлектором.

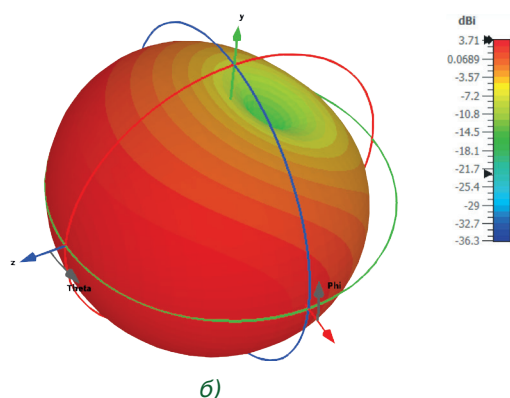
Антенна обладает хорошим согласованием в полосе частот 299 до 509 МГц С КСВ не более 2, что позволяет обеспечить работу радиостанции Р-187 П-1 в помехозащищенном режиме в более широкой полосе частот, по сравнению со штатной (рис. 9).

Антенна обладает высоким согласованием (ширина полосы частот 212 МГц), что позволяет обеспечить работу антенно-фидерного тракта без потерь.

На рис. 10 представлен экспериментальный образец антенны.



а)



б)

Рис. 8. Диаграмма направленности антенны:

- а) двумерная диаграмма направленности;  
б) трехмерное изображение диаграммы направленности

Преимущества:

- доступность материалов;
- согласование в широкой полосе частот с КСВ не выше 2;
- высокий коэффициент усиления не менее 9 дБ.

### Выводы

Таким образом, представленные в статье антенны позволяют более эффективно организовывать радиосети с использованием ретрансляционных пунктов, что, в свою очередь, позволяет повысить энергетические характеристики радиолинии и радиосети, уменьшить

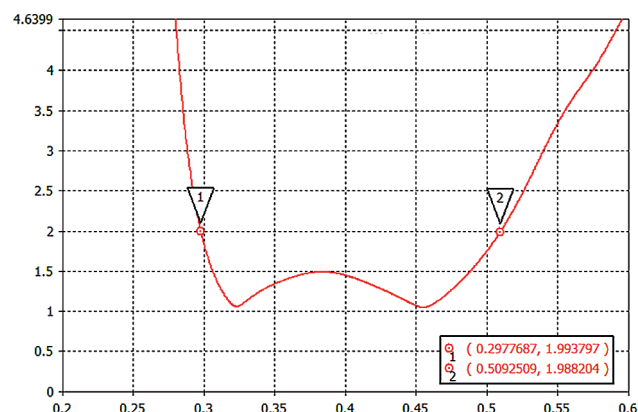


Рис. 9. График частотного распределения КСВ



Рис. 10. Общий вид экспериментального образца антенны

число ретрансляторов с одновременным увеличением расстояний между ними на 5 и более км, при этом не снижая качество передаваемых и принимаемых сигналов.

Учитывая сохранение направленных свойств в рекомендованных в статье диапазонах частот, разработанные антенны позволяют снизить влияние преднамеренных помех при работе в различных радиосетях и радионаправлениях, повысить эффективность сетей радиосвязи тактического звена управления, построенных на радиостанциях комплекса «Азарт», за счет применения антенн с улучшенными электрическими характеристиками.

Предложенные технические решения просты в изготовлении, в случае поломки могут быть легко восстановлены. Их высота конструкции не превышает штатные антенны, что позволяет размещать их более скрытно.

### Литература

1. Пшеничников А. В. Модели и методы помехозащиты радиолиний: монография. – СПб.: ВАС, 2017. – 136 с.
2. Беккиев А. Ю., Борисов В. И. Базовые принципы создания помехозащищенных систем радиосвязи // Теория и техника радиосвязи. – 2014. № 1. С. 5–18.
3. Бородулин Р. Ю. Конструкционный синтез электрически малых антенн: монография. – СПб.: ВАС, 2020. – 179 с.
4. Бородулин Р. Ю., Перфилов О. Ю. Методика энергетической оценки широкополосных антенн // Антенны. – 2017, № 4(236), с. 32–36.
5. Василенко Д. А., Мартынюк С. В. Оптимизация методом пчелиного роя профилированного щелевого излучателя широкополосной сканирующей Е-плоскостной решетки // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – 2015. – Т. 58, № 1(631). – С. 17–25.

## INCREASING THE EFFICIENCY OF TACTICAL COMMUNICATION NETWORKS THROUGH THE USE OF BROADBAND ANTENNAS

*Borodulin R. U.<sup>5</sup>, Lukyanov N. O.<sup>6</sup>, Lyanguzov D. A.<sup>7</sup>, Morgachev M. P.<sup>8</sup>*

**Keywords:** tactical command-and-control radio communications, collinear antenna, broadband directional antenna, gain.

### Abstract

**The purpose of the work** is to analyze tactical command and control (TCC) radio networks based on Azart radio stations and, consequently, to develop omnidirectional and directional antennas with increased gain for use in TCC repeaters. These antennas must outperform standard antennas in electrical characteristics, providing longer communication ranges and better noise immunity.

**Research methods:** numerical electrodynamics methods for the analysis and synthesis of electrically compact radiators.

**The results of the study** include the development of two types of radiators: one with a circular azimuthal pattern and increased gain, and a directional broadband radiator with an extended operating frequency band compared to standard antennas used in Azart radio stations. The choice of these antenna types is justified based on the operational characteristics of repeaters in direct communication networks, radio access networks, and distributed networks. The proposed antennas have been developed into working prototypes and have demonstrated a proven increase in their operational efficiency.

**The scientific novelty** consists in resulting structure planar antenna element.

**The practical value** lies in the possibility of reducing the number of repeaters built on the radio stations of the Azart complex, due to the use of developed antennas with the possibility of spatial tuning out from intentional interference.

### References

1. Pshenichnikov A. V. Models and methods of interference protection of radio lines: monograph. – St. Petersburg: VAS, 2017. – 136 p.
2. Bekkiev A. Yu., Borisov V. I. Basic principles of creating interference-resistant radio communication systems // Theory and technology of radio communication. – 2014. No. 1. Pp. 5–18.
3. Borodulin R. Yu. Structural synthesis of electrically small antennas: monograph. – St. Petersburg: VAS, 2020. – 179 p.
4. Borodulin R. Yu., Perfilov O. Yu. Methodology for the energy assessment of broadband antennas // Antennas. – 2017, No. 4(236), pp. 32–36.
5. Vasilenko D. A., Martynyuk S. V. Optimization of a profiled slot radiator of a broadband scanning E-plane array using the bee swarm method // News of higher educational institutions. Radio electronics. – 2015. – Vol. 58, No. 1(631). – P. 17–25.

5 Roman U. Borodulin, Dr.Sc. (in Tech), Associate Professor, Associate Professor of the Radiocommunications of the Military Academy of Communications, Saint-Petersburg, Russia. E-mail: borodulroman@yandex.ru

6 Nikolay O. Lukyanov, Ph.D. (in Tech.), Senior Lecturer of the Department of Radio Communication of the Military Academy of Communications, Saint-Petersburg, Russia. E-mail: lukyanovno@yandex.ru

7 Danila A. Lyanguzov, Ph.D. (in Tech.), Deputy Head of the Department (organization of scientific work and training of scientific and pedagogical personnel) of the Military Academy of Communications, Saint-Petersburg, Russia. E-mail: danilalgz@yandex.ru

8 Mikhail P. Morgachev, Ph.D. of Sciences degree seeking applicant of Military Academy of Communications, Saint Petersburg, Russia. E-mail: danilalgz@yandex.ru