

УДК 621.396

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОБИЛЬНЫХ АНТЕНН ВЧ ДИАПАЗОНА

Н.И. ЛИСТОПАД, Д.А. КОВАЛЕВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь*

*Поступила в редакцию 2 апреля 2018*

**Аннотация.** Представлены результаты исследования параметров основных мобильных антенн ВЧ диапазона: штыревая антенна, антенна типа наклонный луч, наклонный симметричный вибратор (диполь), Т-образная антенна, наклонная V-образная антенна, антенна зенитного излучения, антенна бегущей волны,  $\lambda$ -образная антенна. Проведен анализ входного активного и реактивного сопротивлений антенн, а также коэффициента стоячей волны в зависимости от частоты. Представлены соответствующие графические зависимости.

**Ключевые слова:** мобильная антенна, активное и реактивное сопротивление, коэффициент стоячей волны, согласующее устройство.

**Abstract.** The study results of parameters of main high-frequency range mobile antennas are presented: whip antenna, sloping wire antenna, inverted V symmetrical vibrator (dipole), T-shaped antenna, sloping V antenna, NVIS, traveling wave antenna,  $\lambda$ -shaped antenna. The analysis of the input active and reactive resistances of the antennas, as well as standing wave ratio is performed depending on the frequency. The corresponding graphical dependencies are presented.

**Keywords:** mobile antenna, active and reactive resistance, coefficient of standing wave, matching device.

**Doklady BGUIR. 2018, Vol. 116, No. 6, pp. 73-79**

**Optimization of the parameters of mobile antennas of HR range**

**N.I. Listopad, D.A. Kovalevich**

### Введение

Все связанные мобильные антенны можно разделить на две группы: для работы в движении и для работы на стоянке. Антенны для работы в движении могут устанавливаться непосредственно на подвижных объектах, способных изменять свое географическое местоположение, при этом антенна полностью находится в пределах этих объектов либо конструктивно объединена с их корпусом. Это могут быть антенны судовых радиостанций, самолетные антенны, антенны, устанавливаемые на корпусе бронетехники, и антенны мобильных тактических радиостанций. Антенны для работы на стоянке имеют более высокую эффективность, но обладают значительно большими линейными размерами.

Анализ литературы [1–3] показывает, что можно выделить следующие основные типы мобильных антенн, используемых для работы в ВЧ диапазоне: штыревая антенна, антенна типа наклонный луч, наклонный симметричный вибратор (диполь), Т-образная антенна, наклонная V-образная антенна, антенна зенитного излучения, антенна бегущей волны,  $\lambda$ -образная антенна. Такое количество антенн обусловлено спецификой применения каждой из них – диаграммой направленности, эффективностью и размерами.

Следует отметить, что сведения об импедансе вышеперечисленных антенн ВЧ диапазона встречаются в литературных источниках крайне редко. Поэтому электрические параметры антенн возможно определить либо при помощи натуральных измерений, либо аналитически, при помощи моделирования. Для верификации результатов моделирования

могут быть использованы доступные данные из технических описаний на радиостанции [4], общетехнической литературы по антеннам [5], а также результаты практически измерений.

### Анализ основных типов мобильных антенн ВЧ диапазона

Штыревая антенна (в иностранной литературе «whip» [6]) – наиболее распространённый тип антенны для ВЧ радиостанций. Это широкополосная ненаправленная антенна с несимметричным питанием, предназначенная для работы как на стоянке (например, АШ-10), так и в движении. В составе любой радиостанции ВЧ диапазона имеется штыревая антенна. Для портативных устройств она обычно является основной.

Штыревая антенна относится к антеннам кругового излучения [1], при этом максимальное излучение идет вдоль поверхности земли, в зенит антенна практически не излучает. Применяется штыревая антенна в тех случаях, когда корреспонденты не имеют сведений о местонахождении друг друга, при этом расстояние между ними должно быть небольшим, так как связь ведется при помощи поверхностной волны. Штыревая антенна различной длины широко применяется в радиостанциях как малой, так и средней мощности. Радиус устойчивой радиосвязи для антенн штыревого типа достигает 75 км при подводимой мощности до 1 кВт.

Штыревая антенна обычно используется во всем диапазоне частот работы радиосредства совместно с согласующим устройством из-за сложной зависимости сопротивления от частоты. Типичным примером реализации штыревой антенны является АШ-4 (штырь длиной 4 м). Исходя из размеров штыревых антенн и используемых для связи в КВ диапазоне длин волн, можно отметить, что преимущественно они работают ниже четвертьволнового резонанса (рис. 1).

Ограничение рабочего диапазона частот при использовании штыревых антенн необходимо только при большой подводимой мощности. В этом случае частотный диапазон антенны ограничен снизу допустимыми потерями в полотне антенны. Так, например, при мощности передатчика 1 кВт не рекомендуется использовать антенну АШ-4 на частотах ниже 14 МГц.

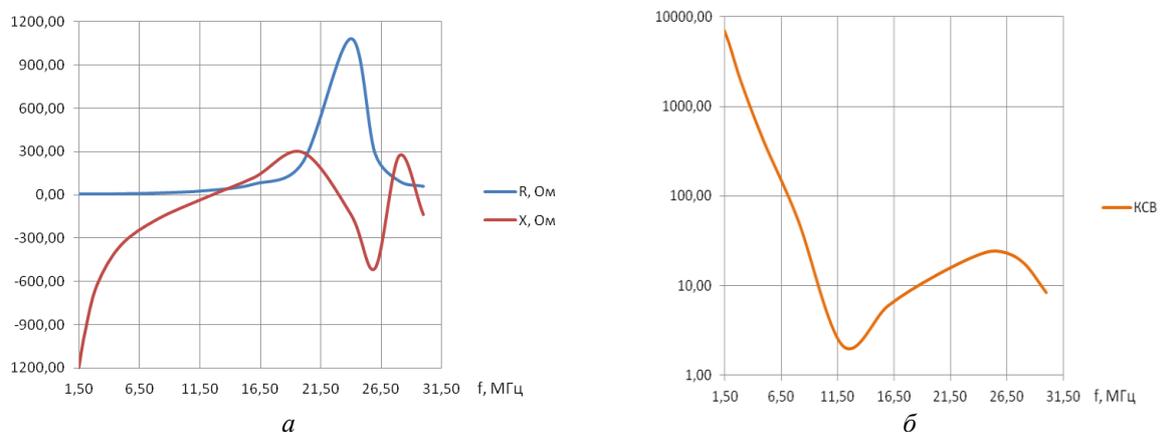


Рис. 1. Зависимость активного и реактивного сопротивления (а) и КСВ (б) антенны АШ-4 от частоты

Антенна типа наклонный луч (в иностранной литературе «sloping wire») представляет собой длинный провод (обычно 10...20 м), расположенный под углом к горизонту. Его удаленный от передатчика конец закреплен на мачте или местном предмете на некоторой высоте (обычно 6...8 м). Антенна данного типа является направленной широкополосной антенной с несимметричным питанием и обычно используется в составе мобильных радиостанций, работающих на стоянке как поверхностной, так и ионосферной волной. Направление излучения в нижней части рабочего диапазона частот – в сторону снижения провода. На верхних частотах диаграмма приобретает сложную форму: появляются лепестки, перпендикулярные вертикальной плоскости, в которой находится провод (рис. 2).

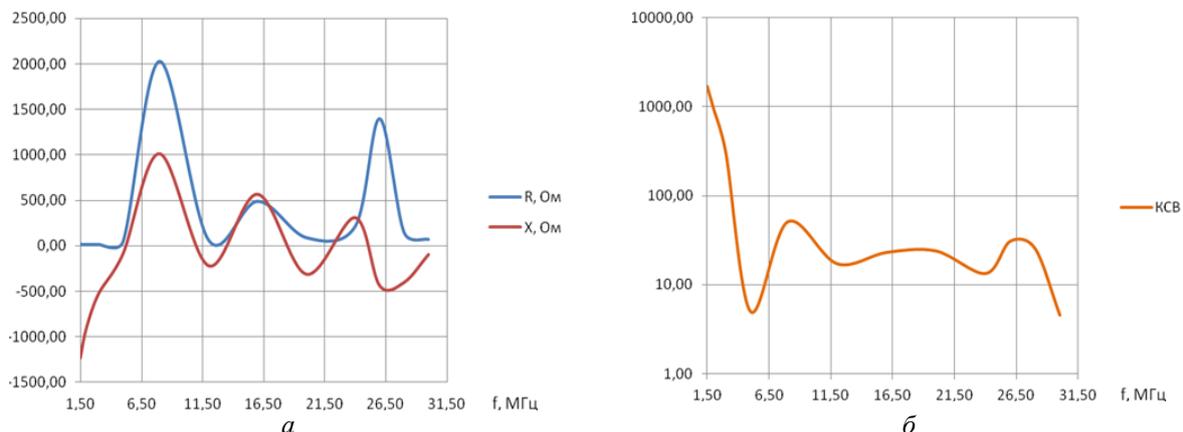


Рис. 2. Зависимость активного и реактивного сопротивления (а) и КСВ (б) антенны типа наклонный луч от частоты

В радиостанциях малой и средней мощности ВЧ диапазона широко применяются наклонные симметричные вибраторы, или диполи (в иностранной литературе «inverted V»), которые выполняются из относительно тонких проводников диаметром 2...6 мм одинаковой длины, расположенных в одной вертикальной плоскости и подвешиваемых на центральной мачте на некоторой высоте (обычно 10...15 м). Это диапазонная направленная антенна с симметричным питанием. Используется в составе подвижных средств, работающих на стоянке ионосферной (преимущественно) и поверхностной волной (в верхней части рабочего диапазона). При размещении антенны на местности ее нужно ориентировать так, чтобы перпендикуляр к полотну антенны был направлен в сторону наиболее удаленных корреспондентов, при этом дальность связи может достигать 800 км. При дальностях связи менее 300 км антенну можно не ориентировать. Зависимости активного и реактивного сопротивления и КСВ антенны Д2×40 от частоты представлены на рис. 3.

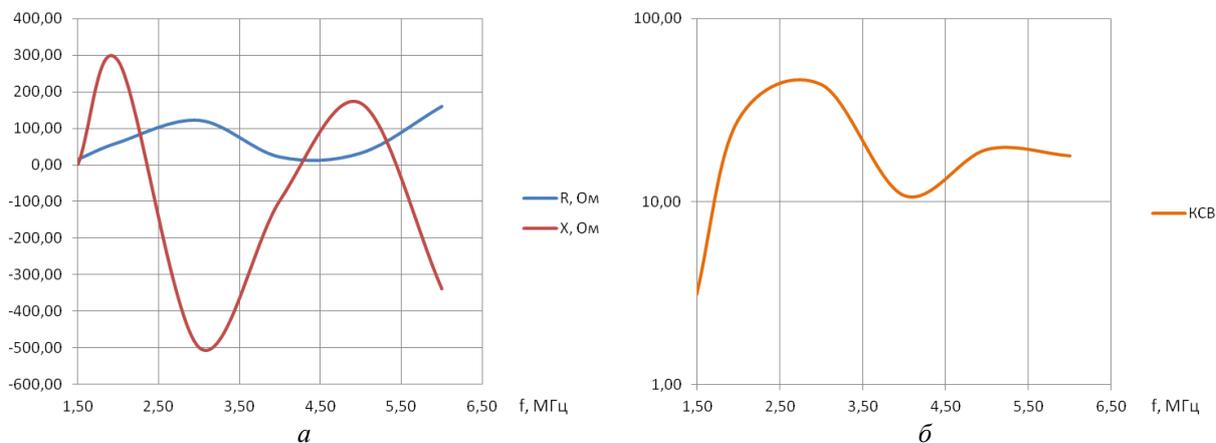


Рис. 3. Зависимость активного и реактивного сопротивления (а) и КСВ (б) антенны Д2×40 от частоты

Дипольные антенны без возможности изменения длины лучей обычно используются в диапазоне 1...2 октавы. Ограничение рабочего диапазона обусловлено тем, что диаграмма направленности при длине волны, меньшей длины луча диполя, видоизменяется: уровень излучения в зенит значительно уменьшается, что не позволяет использовать эту антенну для связи ионосферной волной.

В радиостанциях ВЧ диапазона средней мощности находят применение Т-образные антенны. Типовая характеристика антенны – ненаправленная антенна с несимметричным питанием для подвижных средств, работающих на стоянке. Данная антенна является одним из вариантов антенны с верхней емкостной нагрузкой [5] и используется для связи поверхностной волной на расстояния до 60 км. Благодаря равномерному распределению тока по полотну Т-образной антенны по сравнению со штыревой антенной повышается мощность излучения антенны и сопротивление излучения, а следовательно, повышается и КПД антенны.

Диаграмма направленности Т-образной антенны имеет слабо выраженные направленные свойства.

Ограничение по частоте при использовании Т-образной антенны обусловлено значительным отклонением диаграммы направленности от круговой в горизонтальной плоскости в том случае, если четверть длины волны соизмерима с длиной наклонных участков антенны. Зависимости активного и реактивного сопротивления и КСВ антенны Т2×11 от частоты представлены на рис. 4.

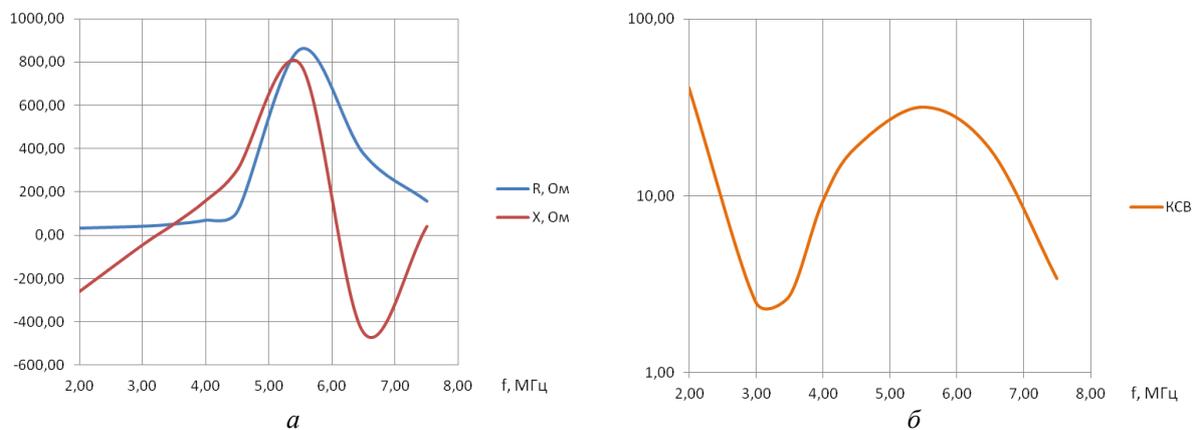


Рис. 4. Зависимость активного и реактивного сопротивления (а) и КСВ (б) антенны Т2×11 от частоты

V-образная антенна (в иностранной литературе «sloping V») находит применение в радиостанциях средней мощности и представляет собой антенну, состоящую из двух проводов одинаковой длины, натянутых между опорой и землей под некоторым углом на определенной высоте. Дальние концы проводов подключаются к нагрузочным сопротивлениям.

Это направленная антенна с симметричным питанием, которая обычно используется в составе подвижных средств, работающих на стоянке ионосферной волной. Угол между опорой и проводами обычно равен 50°, а сопротивление нагрузки – 400 Ом. Наклонная V-образная антенна имеет максимум диаграммы направленности в плоскости биссектрисы угла, образованного полотнами антенны. Зависимости активного и реактивного сопротивления и КСВ антенны V2×46 от частоты представлены на рис. 5.

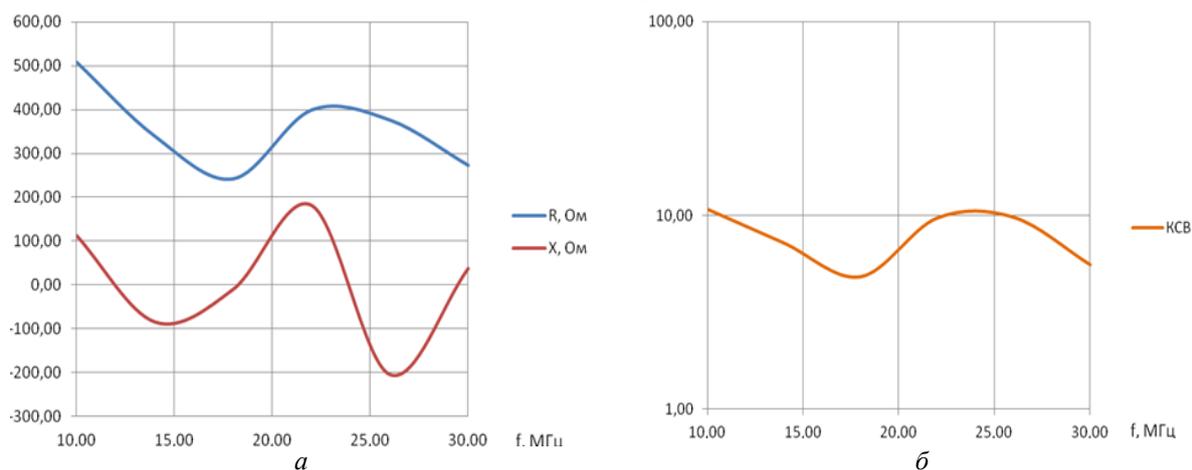


Рис. 5. Зависимость активного и реактивного сопротивления (а) и КСВ (б) антенны V2×46 от частоты

Эффективность V-образной антенны зависит от ее длины и высоты подвеса, а также от угла между проводами. Данная антенна преимущественно используется в верхней области ВЧ диапазона для работы на максимальные расстояния – 1000...2000 км при однократном отражении от ионосферы. Ограничение по частоте при использовании V-образной антенны обусловлено требованием к функционированию антенн бегущей волны – длина луча должна быть больше длины волны. В противном случае теряются направленные свойства антенны.

В подвижных радиостанциях часто применяются антенны зенитного излучения (АЗИ). АЗИ (в иностранной литературе «NVIS») предназначены для работы в движении и на коротких остановках пространственными волнами, обеспечивая связь до 300 км. Незаменимым качеством АЗИ является способность передачи сигналов корреспондентам, находящимися в «мертвой зоне». Конструктивно АЗИ бывают дипольными, П-образными и штыревыми.

Дипольная АЗИ выполнена в виде двух симметричных относительно друг друга комплектов изогнутых полотен с активными участками излучения, расположенными вдоль продольной стороны кузова. Штыревая АЗИ (ШАЗИ-2) состоит из двух составных штырей длиной 4 м, расположенных симметрично в одной плоскости под углом к поверхности кузова. Для быстроты и удобства развертывания, поднимания и опускания, а также использования в вертикальном положении, каждый штырь снабжен подъемным механизмом. П-образная АЗИ представляет собой два симметрично расположенных вибратора, изогнутых буквой П [7]. Кроме того, АЗИ может быть реализована в виде одной штыревой антенны (ШАЗИ-1), расположенной под углом к вертикали. Все эти антенны имеют несимметричное питание.

Зависимости активного и реактивного сопротивления и КСВ дипольных АЗИ и ШАЗИ от частоты представлены на рис. 6, 7.

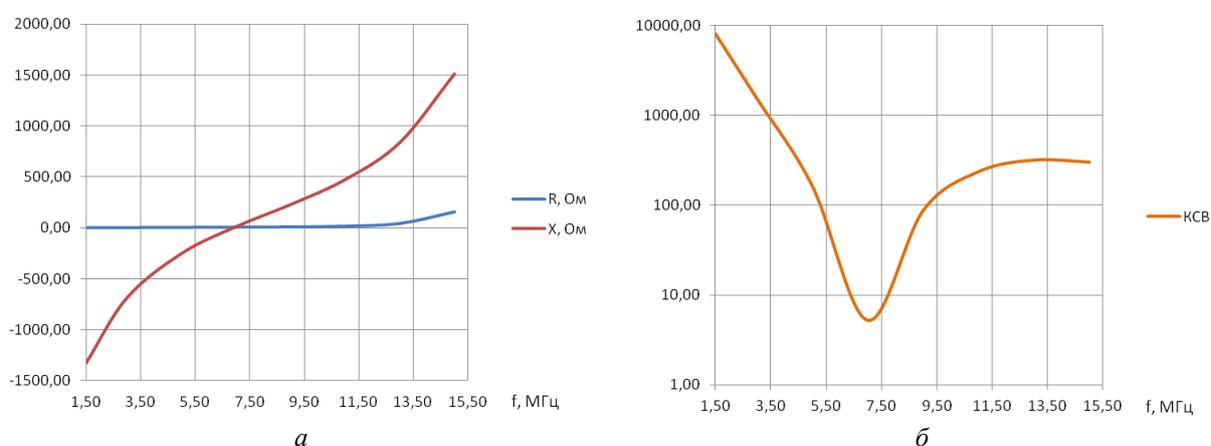


Рис. 6. Зависимость активного и реактивного сопротивления (а) и КСВ (б) дипольной АЗИ от частоты

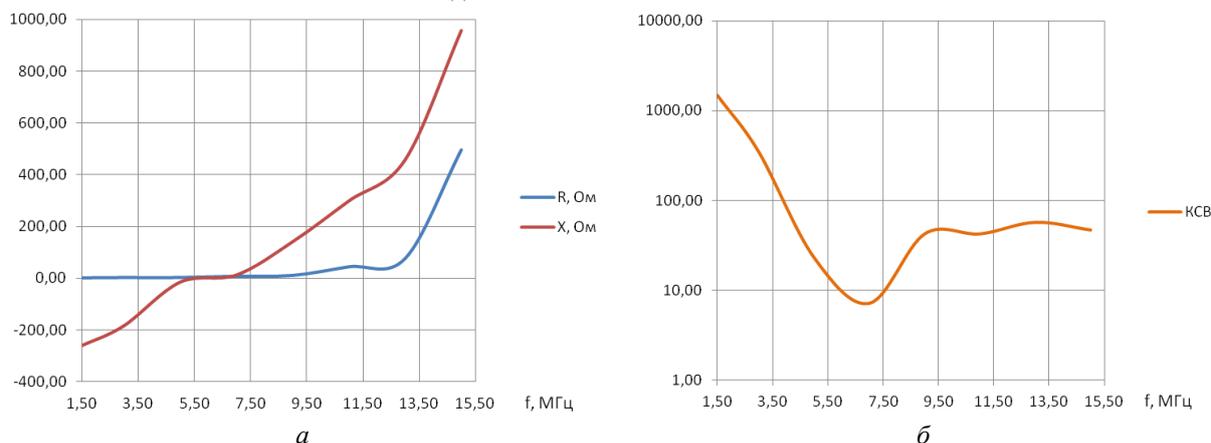


Рис. 7. Зависимость активного и реактивного сопротивления (а) и КСВ (б) дипольной ШАЗИ-2 от частоты

Ограничения по диапазону частот для всех антенн данного типа обусловлено условием отражения сигнала от ионосферы. Отсутствие «мертвой зоны» является результатом того, что основное излучение АЗИ направлено практически в зенит. При этом отражение испытывают лишь волны с частотой ниже критической  $F_c$ . На более высоких частотах энергия электромагнитной волны проходит через ионосферу насквозь. Поэтому антенны типа АЗИ не применяют на частотах выше 14...15 МГц.

Однопроводная антенна бегущей волны (АБВ) представляет собой длинный провод диаметром 3–4 мм, подвешенный горизонтально над землей на небольшой высоте (около 1 м),

нагруженный на сопротивление  $R$ , равное волновому сопротивлению линии «провод-земля» (400...600 Ом). АБВ имеет максимум диаграммы направленности вдоль полотна антенны в сторону нагрузочного сопротивления [6]. В вертикальной плоскости этот максимум несколько приподнят над горизонтом под небольшим углом. Типовая характеристика антенны – направленная антенна с несимметричным питанием для портативных радиостанций, работающих на стоянке. Основные достоинства АБВ – это ее простота, удобство маскировки, наличие однонаправленного излучения, недостатки – низкий КПД, так как примерно от 30 до 50 % мощности передатчика рассеивается на нагрузке. Частотный диапазон антенны ограничен в связи с тем, что длина полотна антенны должна превышать длину волны на нижней частоте рабочего диапазона. В противном случае антенна теряет свои направленные свойства. Зависимости активного и реактивного сопротивления и КСВ антенны ОБ-40/1 от частоты представлены на рис. 8.

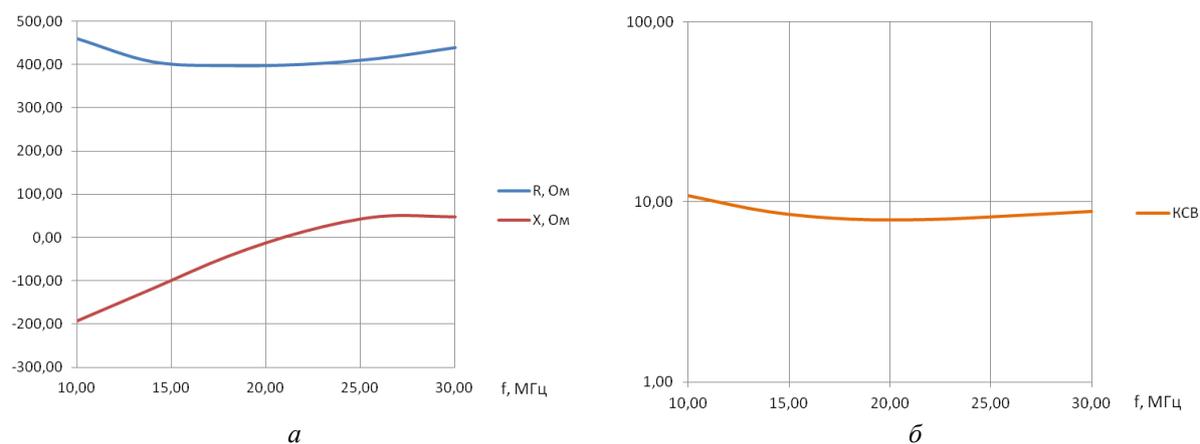


Рис. 8. Зависимость активного и реактивного сопротивления (а) и КСВ (б) антенны ОБ-40/1 от частоты

$\lambda$ -образная антенна применяется для ведения связи на частотах 20–30 МГц. На конце длинного плеча подключена нагрузка (обычно 400 Ом) и противовес. Правила ориентирования на корреспондента полностью соответствуют правилам ориентирования однопроводной антенны бегущей волны. Длина радиолинии при использовании таких антенн – до 150 км. Зависимости активного и реактивного сопротивления и КСВ антенны  $\lambda$ -15/60 от частоты представлены на рис. 9.

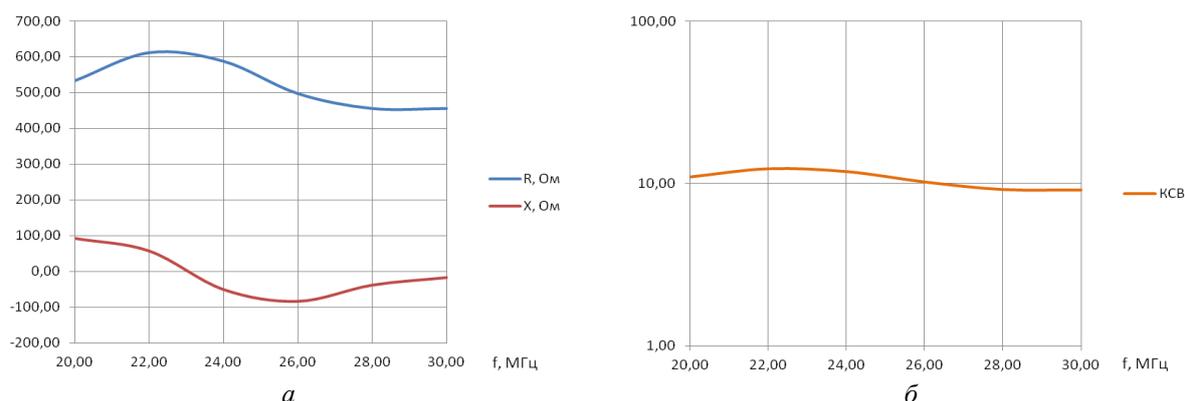


Рис. 9. Зависимость активного и реактивного сопротивления (а) и КСВ (б) антенны  $\lambda$ -15/60 от частоты

### Заключение

В результате анализа основных параметров различных мобильных антенн ВЧ диапазона можно сделать вывод, что зависимости входного сопротивления (активного и реактивного), а также КСВ от частоты имеют сложный вид. В некоторых случаях это чередование минимумов и максимумов (рис. 1–5, 8), в других – наблюдается некоторая

монотонная зависимость (рис. 6–7, 9). Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что использование вышеназванных антенн требует определенной оптимизации, в частности, использование таких антенн без согласующих устройств не представляется возможным. При этом для антенн бегущей волны (V-образной, АБВ, λ-образной) согласующее устройство может быть выполнено в виде широкополосного согласующего трансформатора. Для всех остальных типов описанных антенн потребуется согласование при помощи более сложных устройств с изменяемыми реактивными элементами, параметры которых могут быть определены и оптимизированы на основании учета зависимости сопротивления от частоты выбранного типа антенны или группы антенн.

### Список литературы

1. Головин О.В., Простов С.П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи. М., 2006. 220 с.
2. Barret Tactical Catalogue [Электронный ресурс]. URL: [www.barrettcommunications.com.au](http://www.barrettcommunications.com.au) (дата обращения: 19.03.2018).
3. Радиостанция возимая КВ диапазона Р-168-5КВ / Завод Электросигнал [Электронный ресурс]. URL: [www.elektrosignal.ru](http://www.elektrosignal.ru) (дата обращения: 20.03.2018).
4. Белоцерковский Г.Б. Основы радиотехники и антенны. Ч. 2. М., 1969. 330 с.
5. Фрадин А.З. Антенно-фидерные устройства. М., 1977. 248 с.
6. Rohner C. Antenna Basics. Rohde & Schwarz, 1999. 182 p.
7. Андриющенко В.А., Пирожков П.А. Командно-штабные машины. Тамбов, 2004. 123 с.

### References

1. Golovin O.V., Prostov S.P. Sistemy i ustrojstva korotkovolnovoj radiosvjazi. M., 2006. 220 s. (in Russ.)
2. Barret Tactical Catalogue [Electronic resource]. URL: [www.barrettcommunications.com.au](http://www.barrettcommunications.com.au) (date of access: 19.03.2018). (in Russ.)
3. Radiostancija vozimaja KV diapazona R-168-5KV / Zavod Jelektrosignal [Electronic resource]. URL: [www.elektrosignal.ru](http://www.elektrosignal.ru) (date of access: 20.03.2018). (in Russ.)
4. Belocerkovskij G.B. Osnovy radiotehniki i anteny. Ch. 2. M., 1969. 330 s. (in Russ.)
5. Fradin A.Z. Antenno-fidernye ustrojstva. M., 1977. 248 s. (in Russ.)
6. Rohner C. Antenna Basics. Rohde & Schwarz, 1999. 182 p.
7. Andrjushhenko V.A., Pirozhkov P.A. Komandno-shtabnye mashiny. Tambov, 2004. 123 s. (in Russ.)

### Сведения об авторах

Листопад Н.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Ковалевич Д.А., аспирант кафедры информационных радиотехнологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

### Information about the authors

Listopad Nikolai Izmailovich., D.Sci, professor, head of information radio technologies department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

Kovalevich D.A., PG student of Information radiotechnologies department of Belarusian state university of informatics and radioelectronics.

### Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, 6.  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники,  
тел.: +375-17-293-23-04;  
e-mail: [listopad@bsuir.by](mailto:listopad@bsuir.by)  
Листопад Николай Измаилович

### Address for correspondence

220103, Republic of Belarus,  
Minsk, Brovki st., 6,  
Belarusian state university  
of informatics and radioelectronics  
tel.: +375-17-293-23-04;  
e-mail: [listopad@bsuir.by](mailto:listopad@bsuir.by)  
Listopad Nikolai Izmailovich