ПОВОРОТНЫЕ ЛОГОПЕРИОДИЧЕСКИЕ ВИБРАТОРНЫЕ АНТЕННЫЕ УСТРОЙСТВА ДИАПАЗОНА ДКМВ С УМЕНЬШЕННЫМИ РАЗМЕРАМИ

К.В. Асташова, С.В. Коленчук, Ю.А. Костычев, И.Е. Индюков, Е.С. Попов

Омский научно-исследовательский институт приборостроения, Омск, Российская Федерация

Рассмотрены логопериодические вибраторные антенны диапазона ДКМВ с уменьшенными размерами. Приведено описание конструкции разработанной АО «ОНИИП» поворотной логопериодической антенны типа «Логос КВ-1» с частично фрактальными излучателями, освещены результаты измерений характеристик этой антенны и антенны типа HL-451 (производство Германия). Как показали результаты экспериментов, нижняя рабочая частота антенны отечественной разработки в передающем режиме при одинаковых размерах полотна в 1,67 раза ниже, чем у антенны немецкого производителя.

Ключевые слова: поворотная логопериодическая антенна, диапазон ДКМВ, фрактал Минковского, фрактал Коха, итерация, излучатель, вибратор, компьютерная модель, габаритные размеры, сравнительные испытания, результаты измерений.

ROTARY LOG-PERIODIC VIBRATOR ANTENNA DEVICES OF THE HF RANGE WITH DECREASED DIMENSIONS

K.V. Astashova, S.V. Kolenchuk, Yu.A. Kostychov, I.E. Indukov, E.S. Popov

Omsk Scientific-Research Institute of Instrument Engineering, Omsk, Russian Federation

Log-periodic vibrator antennas of the HF range with reduced dimensions are considered. A description of the design of the Logos KV-1 type rotary log-periodic antenna with partially fractal emitters developed by ONIIP JSC with partially fractal emitters is given. The results of measurements of the characteristics of this antenna and HL-451 antenna (manufactured in Germany) are highlighted. As the results of experiments showed, the lower working frequency of a domestic-developed antenna in the transmitting mode with the same web dimensions is 1,67 times lower than that of a German manufacturer.

Keywords: rotary log-periodic antenna, HF range, Minkowski fractal, Koch fractal, iteration, emitter, vibrator, computer model, overall dimensions, comparative tests, measurement results.

Логопериодические вибраторные антенны (ЛПВА) получили распространение в аппаратуре стационарных узлов связи декаметровых волн благодаря тому, что в широком диапазоне частот обеспечивают направленное излучение вдоль своей продольной оси, сохраняют форму диаграммы направленности, а также близкое к постоянному входное сопротивление. Величина коэффициента усиления ЛПВА в рабочем диапазоне частот находится в интервале от 6 до 12 дБи, а типичное значение КСВН имеет величину не более 2,5.

Свойства антенны основаны на принципе электродинамического подобия, согласно которому антенна имеет одинаковые электрические характеристики на двух частотах, если геометрические размеры излучателей изменяются пропорционально длине волны, и свойстве автоматической отсечки токов, которое предполагает, что на каждой частоте ток излучается участком антенны (активной областью), за пределами которой ток быстро затухает, причем размер излучающего участка определяется величиной длины волны, на которой этот участок является активным. При смене частоты активная область перемещается вдоль продольной оси антенны, а размеры активной области по отношению к длине волны остаются постоянными, т. е. антенна обладает в бесконечно широкой полосе постоянным входным сопротивлением и неизменной характеристикой направленности.

Основным препятствием широкого использования ЛПВА в аппаратуре узлов связи с ограниченными возможностями для их установки являются: подвижные объекты (суда), крыши домов и т. д., большие габаритные размеры, поэтому усилия разработчиков подобных антенн направлены на уменьшение размеров и создание так называемых поворотных ЛПВА (ПЛПВА). Чтобы уменьшить размеры антенн, различными способами уменьшают физическую длину вибраторов, сохраняя при этом неизменной длину электрическую. Наиболее часто уменьшение размеров вибраторов достигается за счет включения в их состав катушек индуктивности и емкостных нагрузок

В работе [1] приведены данные по ПЛПВА, устанавливаемой на больших десантных судах американского флота. Эскиз конструкции антенны приведен на рис. 1. Антенна состоит из несущей стрелы 1 с распределительной линией внутри нее, десяти вибраторов 2 и согласующего устройства 3. Вибраторы выполнены в виде прямолинейных проводов. Уменьшение размеров вибраторов достигается за счет включения в их состав катушек индуктивности 4 и емкостных нагрузок 5. Для снижения вибрации при воздействии ветра каждый вибратор на конце, подключенном к распределительной линии, снабжен демпфером, а его второй конец соединен с внешним каркасом антенны. Полотно антенны размещено горизонтально и закреплено на вращающейся части поворотного устройства, установленного на вершине мачты, что обеспечивает возможность механического поворота антенны и тем самым управления диаграммой направленности антенны в горизонтальной плоскости в секторе углов от 0° до 360° .

Рис. 1. Логопериодическая антенна AS-2874/SRC

Длина антенны 13,5 м, ширина 12 м, радиус обметания 8,7 м, масса 688 кг, КСВН антенны не более 2,5 в рабочем диапазоне 7,5–30 МГц. Коэффициент усиления (КУ) от 6 до 10 дБ и уступает КУ больших, полноразмерных антенн. Ширина диаграммы направленности в азимутальной плоскости 60° , в угломестной плоскости 130° . Антенна обеспечивает работу с передатчиком мощностью 40 кВт.

В работе [2], в которой рассмотрены методы расчета логопериодических антенн уменьшенных размеров, сделан вывод о том, что в подобных антеннах величина коэффициента усиления будет ограничена значениями 3,5–7 дБ, что значительно меньше КУ достигаемых в полноразмерных ЛПВА – 10–12 дБ. Уменьшение КУ обусловлено тем, что ем-

костная нагрузка и катушка индуктивности, которые замещают отрезок излучателя, включенные в излучатель, не обладают достаточными излучающими свойствами. Однако существуют ЛПВА, в которых отсутствуют сосредоточенные реактивные элементы, включенные в проводники.

Среди подобных антенн, известных по научно-технической и фирменной литературе, наиболее удачной следует признать ПЛПВА фирмы Rohde&Schwarz типа HL-451 [3]. Эта антенна имеет минимальные габаритные характеристики: ширина антенного полотна 16 м, длина 16 м. Схема антенны показана на рис. 1. Антенна обеспечивает коэффициент усиления от 6 до 12,5 дБи и работу передатчика мощностью 1 кВт в диапазоне частот от 5 до 30 МГц.

На рис. 2 приведен эскиз проводников излучателей антенны, которые выполнены в виде спадающих синусоидальных кривых и размещены в плоскостях, перпендикулярных продольной оси антенны. В отличие от логопериодических антенн традиционного исполнения антенна имеет третье измерение – высоту излучателя. Такое расположение обеспечивает участие в процессе излучения в направлении продольной оси антенны практически всей длины проводника излучателя. Однако этой длины в антенне типа HL-451 недостаточно. На низкочастотном конце рабочего диапазона и на частотах ниже 5 МГц, чтобы обеспечить достаточно хорошее согласование антенны, разработчики были вынуждены подключить к линии питания нагрузочное сопротивление.

Рис. 2. Схема антенны типа HL-451 [2]

Рис. 3. Излучатель спадающей синусоидальной формы антенны типа HL-451

Цель настоящей статьи – показать пути разработки и реализации в АО «ОНИИП» антенны типа «Логос КВ-1» с расширенным диапазоном частот при работе на передачу и проведение сравнительных испытаний данной антенны «Логос КВ-1» и ПЛПВА фирмы Rohde&Schwarz типа HL-451.

Одним из возможных путей достижения этой цели является использование для создания излучателей антенн проводников в форме кривой, описываемой фрактальными множествами. Процесс построения фрактальных множеств осуществляется по следующей итерационной схеме: исходная фигура простой формы уменьшается в K раз, затем из нескольких

уменьшенных копий в определенном порядке составляется новая фигура. Получаемая при такой итерационной процедуре фигура является самоподобной в том смысле, что каждая часть полученного множества – это уменьшенная копия всей фигуры целиком. С увеличением числа итераций, использованных для формирования фрактальной формы, линейные размеры фигуры и ее габариты остаются приблизительно прежними, но длина линии, составляющей фигуру, стремясь к бесконечности, увеличивается. Таким образом, электрически длинные структуры могут быть размещены на площадках, осевая длина которых оказывается короткой. Величина укорочения зависит от характера фрактальной формы. Этот коэффициент показывает относительное увеличение длины провода излучателя в зависимости от количества произведенных итераций. При этом осевой размер излучателя между его крайними точками остается постоянным и равным размеру обычного излучателя традиционного построения (итерация нулевого прядка), а физическая длина проводов увеличивается в K_y раз. В табл. 1 [6] приведены результаты расчета коэффициента укорочения K_y для фракталов Минковского (K_{ym}) и Коха (K_{yk})

Таблица 1

№ итерации	0	1	2	3	4	5	6
K_{ym}	1	2	4	8	16	32	64
K_{yk}	1	1,33	1,77	2,37	3,15	4,21	5,61

Из материалов табл. 1 следует, что резонансные частоты излучателей, проводники которых выполнены с формой, близкой к фрактальной кривой, по мере увеличения порядка итерации для их реализации имеют более низкие резонансные частоты, чем излучатели, построенные из прямолинейных проводников. Эти свойства фрактальных кривых позволяют реализовать симметричные излучатели с низкими резонансными частотами при сохранении линейных размеров.

Любая логопериодическая антенна представляет собой совокупность излучателей, размеры которых должны образовывать геометрическую прогрессию со знаменателем τ . Изменение всех размеров бесконечной структуры в τ раз приведет к получению структуры, форма которой полностью совпадает с исходной. Поэтому электрические характеристики антенны повторяются лишь на частотах, образующих геометрическую прогрессию со знаменателем τ : $f_0, f_0 \cdot \tau, f_0 \cdot \tau^2, \dots, f_0 \cdot \tau^n$. При изображении на шкале частот с логарифмическим масштабом эти частоты образуют периодическую последовательность с постоянным периодом, равным $\ln \tau$, что и определило название антенн этого типа [7; 9]. Эскиз подобной классической логопериодической вибраторной антенны приведен на рис. 3.

Рис. 4. Эскиз вибраторной логопериодической антенны

Очевидно, что в пределах одного периода изменения частоты от $f_0 \cdot \tau^n$ до $f_0 \cdot \tau^{n+1}$ электрические характеристики логопериодических антенн будут изменяться. Непременным условием, при котором практически выполнимая антенна может считаться частотно независимой, является достаточно малое изменение ее электрических характеристик в пределах одного периода изменения частоты, что, как следует из формул, приведенных в [7], выполняется в вибраторных логопериодических антеннах традиционного построения (из прямолинейных проводников). При таком конструктивном исполнении частотно-независимой структуры один период изменения частоты оказывается малым. Таким образом, в результате расчета вибраторных логарифмических антенн в классическом варианте исполнения, т.е. из прямолинейных излучателей, можно получить все размеры и резонансные частоты, обеспечивающие выполнение условий, характерных для частотно-независимых структур.

В основе расчетов лежат три параметра:

– период структуры $\tau = f_{n+1}/f_n$ – отношение резонансных частот соседних излучателей с номерами n и $n+1$ соответственно. Обычно выбирают $\tau = 0,7 \div 0,9$;

– угол при виртуальной вершине антенны (угол раскрыва) $\alpha = \arctg \frac{L_n}{2R_n}$;

– параметр $\sigma = \frac{d_n}{2L_n}$, характеризующий относительное расстояние между излучателями. От этого параметра зависит продольный размер вибраторной ЛПА.

Каждому периоду структуры τ соответствует своё относительное расстояние $\sigma_{\text{опт}}$, при котором обеспечивается максимальный коэффициент усиления:

$$\sigma_{\text{опт}} = 0,258 \cdot \tau - 0,066.$$

При условии, когда $\sigma < \sigma_{\text{опт}}$, усиление падает, а при $\sigma > \sigma_{\text{опт}}$ ухудшается диаграмма направленности в связи с появлением боковых лепестков. В зависимости от величины τ , оптимальные значения σ для ЛПВА классического построения лежат в пределах от 0,12 до 0,19, однако для ЛПА с минимальными продольными размерами принимают $\sigma = 0,05 \div 0,12$ [9].

Эти три параметра связаны между собой соотношением

$$\sigma = 0,25 \cdot \left(1 - \tau^{\frac{1}{2}}\right) \cdot \text{ctg} \left(\frac{\alpha}{2}\right).$$

В общем случае размеры антенны определяются через период структуры

$$L_n = L_1 \tau^{n-1}; R_n = R_1 \tau^{n-1}; d_n = d_1 \tau^{n-1}, \\ d_n = R_n - R_{n+1} = R_n(1 - \tau).$$

Длина самого протяженного излучателя $L_1 = K_1 \lambda_L$, а самого короткого – $L_u = K_2 \lambda_u$, где λ_L и λ_u – длины волн, соответствующие нижней L и верхней U частот рабочего диапазона.

Количество излучающих элементов в антенне определяется по формуле

$$N = 1 + \frac{\log(K_2/K_1) + \log(f_L/f_u)}{\log \tau}$$

где $K_1 = 1,01 - 0,519\tau$ – первая эмпирическая постоянная; $K_2 = 7,08\tau^3 - 21,3\tau^2 + 21,98\tau - 7,3 + \sigma(21,82 - 66\tau + 62,12\tau^2 - 18,29\tau^3)$ – вторая эмпирическая постоянная.

Продольный размер антенны от точки питания до середины самого длинного излучателя

$$L_{\text{long}} = \frac{2L_1\sigma(1 - \tau^{N-1})}{1 - \tau}.$$

Для перехода от логопериодической антенны, выполненной из излучателей, проводники которых имеют прямолинейную форму, к антенне, выполненной из излучателей с фрактальной формой проводников, нужно в первую очередь соблюдать условие равенства резонансных частот прямолинейных и фрактальных проводников (равенство их электрических длин).

Как правило, при создании фрактальных антенн количество итераций, используемых для формирования фигуры антенны, невелико. В любом случае увеличение длины провод-

ника с ростом числа итераций оказывает влияние на его эффективность как излучателя антенны. Из-за увеличения общей длины проводника и омических потерь, эффективность излучателя, выполненного из проводника с фрактальной формой ниже, чем у излучателя прямой формы, но при небольшом числе итераций эффективность такой антенны на наименьшей частоте остается достаточно высокой. Максимально допустимый поперечный размер антенны определяет необходимую степень укорочения вибраторов, которую можно характеризовать коэффициентом укорочения K_y . Этот коэффициент равен отношению расчетной длины наиболее длинного вибратора L_1 к максимально допустимой в ПЛПА, подлежащей разработке, и обычно выбирается из соотношения [4] $K_y \leq 3$.

Фрактальные проводники, как правило, имеют достаточно сложную форму, поэтому антенное полотно из этих проводников закрепляют на каркасе. Каркас образован жесткими продольной и поперечной несущими балками и механически связанными с балками гибкими элементами, которые образуют внешний контур каркаса. Антенное полотно образовано совокупностью симметричных вибраторов, каждый из которых содержит два плеча, проводники которых размещены в плоскостях, перпендикулярных к двухпроводной симметричной линии питания, установленной вдоль продольной несущей балки. Первые концы плеч подключены к симметричной двухпроводной линии так, что каждый последующий симметричный вибратор запитан противофазно предшествующему симметричному вибратору. Проводники плеч каждого симметричного вибратора закреплены за диэлектрические направляющие, образованные двумя тросами, механически связанными в одной точке между собой и вторым концом проводника плеча симметричного вибратора. Тросы размещены под острым углом друг к другу и закреплены в упомянутой точке за внешний контур каркаса, а вторые концы диэлектрических направляющих вблизи от двухпроводной симметричной линии питания закреплены механически за трос, натянутый вдоль оси симметрии антенного полотна между двумя опорами, установленными на продольной несущей балке каркаса: одна – вблизи от места пересечения с продольной балкой плоскости размещения самого длинного, а другая – усамого короткого симметричного вибратора, причем входом устройства является конец линии питания, расположенный вблизи самого короткого вибратора [5].

На рис. 5 приведены возможные варианты конструкции одного плеча симметричного излучателя, имеющего форму фрактальной структуры, с использованием фрактала Минковского.

Рис. 5. Варианты конструкции одного плеча симметричного излучателя, имеющего форму фрактальной структуры с использованием фрактала Минковского

На рис. 5а приведен эскиз симметричного вибратора, составленного из двух частей: первая размещается вблизи точки подключения к симметричной линии питания и представляет собой кривую Минковского, полученную в результате выполнения второй итерации, а вторая – кривую Минковского, полученную в результате выполнения первой итерации. На рис. 5б показан эскиз симметричного вибратора малой длины, также составленного из двух частей: первая размещается вблизи точки подключения к симметричной линии питания и

представляет собой кривую Минковского, полученную в результате выполнения первой итерации, а вторая – кривая, имеющая форму спадающей прямоугольной последовательности. Вертикальный размер излучателя по мере удаления от узла подключения (крепления) точки питания излучателя к симметричной линии питания уменьшается для выравнивания механической нагрузки на узел подключения.

Для сравнения были выбраны следующие геометрические формы излучателей [6]:

- 1) излучатель в форме прямоугольной последовательности;
- 2) излучатель синусоидальной формы;
- 3) излучатель зубчатой формы;
- 4) излучатель на основе формы фрактальной кривой Коха;
- 5) излучатель на основе формы фрактальной кривой Минковского.

В табл. 2 приведены изображения перечисленных излучателей различных форм в указанной выше последовательности.

Таблица 2

Поскольку нижняя частота диапазона ДКМВ имеет величину 3 МГц, было выполнено компьютерное моделирование излучателей различных форм, резонансная частота которых была равна 3 МГц с целью выбора излучателя с минимальными размерами и максимальным коэффициентом усиления.

Результаты моделирования излучателей [6], формы которых приведены в табл. 2, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Форма излучателя	Резонансная частота, МГц	Усиление, дБ	Размеры излучателя (длина×высота), м
Синусоидальная	3,1	1,9	20×4,6
Зубчатая	3,15	1,6	20×3,6
Прямоугольная последовательность	3,05	1,3	18×3
Кривая Коха	3,05	1,9	22,2×3,2
Кривая Минковского	3	2	16×3

В соответствии с данными табл. 3, излучатели в форме кривой Минковского при резонансной частоте 3 МГц имеют минимальные габаритные размеры и максимальное усиление, поэтому именно они были выбраны для дальнейшего использования в модели ЛПВА.

Модель ЛПВА разрабатывалась исходя из соотношений, используемых для определения размеров в классическом варианте исполнения, т. е. из прямолинейных излучателей [7]. Количество излучателей принималось равным $N = 19$, т. е. равным количеству излучателей антенны типа HL-451 фирмы Rohde&Schwarz. Конструктивно антенна представляет собой логопериодическую фрактальную вибраторную антенну. Полотно антенны образовано излучателями разной длины, которые имеют контакт с двухпроводной симметричной фидерной линией с волновым сопротивлением $Z = 100$ Ом. Для четырех излучателей наибольшей длины используется фрактальная кривая Минковского двух итераций, для остальных излучателей достаточно одной итерации, что наглядно изображено на рис. 5.

Рис. 6. Модель для расчета параметров логопериодической антенны

На рис. 6 приведен эскиз компьютерной модели для расчета параметров логопериодической антенны, составленной из симметричных вибраторов, каждое плечо которых выполнено из двух последовательно включенных отрезков, на каждом из которых проводник имеет форму фрактальной кривой, причем для вибраторов наибольшей длины на участках, непосредственно подключенных к симметричной линии питания, размещены структуры с большим, а для участков наиболее удаленных от линии питания и вибраторов малой длины меньшим количеством итераций.

На рис. 7 приведены рассчитанные диаграммы направленности компьютерной модели антенны в вертикальной плоскости при ее установке на мачте высотой 15 м.

Рис. 7. Расчетные диаграммы направленности модели антенны «Логос KB-1»

Расчетные величины коэффициента усиления антенны, установленной на мачте высотой 15 м, составляют: на частоте 3 МГц – 3 дБи; на 7 МГц – 6 дБи; на 10 МГц – 10 дБи; на 20 МГц – 12 дБи и на 30 МГц – 12 дБи.

Рис. 8. Диаграммы направленности антенны HL-451 [3]

На рис. 8 приведены диаграммы направленности антенны HL-451, заимствованные из ее документации [3]. На частоте 3 МГц данные отсутствуют, так как антенна не работает на передачу на частотах ниже 5 МГц. Коэффициент усиления составляет на частотах 7,5 МГц – 6 дБи; на 10 МГц – 11 дБи; на 20 МГц – 13 дБи и на 30 МГц – 12 дБи. Нетрудно видеть, что коэффициенты усиления, рассчитанные для модели антенны, близки к величинам, которые имеет антенна HL-451, поэтому модель была принята за основу для разработки и изготовления опытных образцов, которые после проведения испытаний получили наименование «Логос KB-1».

Рис. 9. Схема антенны «Логос KB-1»

Антенное полотно включает в себя 19 закрепленных на диэлектрических направляющих излучателей, связанных между собой двухпроводной фидерной линией с волновым сопротивлением 100 Ом. Количество излучателей антенны «Логос КВ-1» равно количеству излучателей антенны типа HL-451. Размер антенного полотна в горизонтальной плоскости 16х16 м, высота максимального элемента 3 м, что также совпадает с аналогичными характеристиками антенны HL-451. Для согласования с волновым сопротивлением кабеля, равным 50 Ом, используется симметрирующее согласующее устройство УСС-Л1. Выходы устройства УСС-Л1 имеют контакт с двухпроводной линией питания, а ко входу подключается ВЧ один конец кабеля РК-50-7-28, другой конец которого подключается к радиоприемному или передающему устройству.

На рис. 10 приведен эскиз конструкции одного из излучателей антенны «Логос КВ-1», примененный для четырех излучателей наибольшей длины антенны «Логос КВ-1». На участках, непосредственно подключенных к симметричной линии питания, размещены фрактальные структуры с большим, а для участков наиболее удаленных от линии питания и меньшим количеством итераций.

Рис. 10. Излучатель антенны «Логос КВ-1»

Суммарная длина половины наиболее длинного провода излучателя составляет 27 м, а осевая длина – 8м, что соответствует коэффициенту укорочения $K_y = 3,375$.

Измерения КСВн антенны HL451 фирмы R&S и разработанной антенны «Логос КВ-1» проводились после их размещения на мачтах высотой 15 м в диапазоне частот от 1,9 до 31 МГц. Результаты измерений приведены на рис. 11.

Рис. 11. КСВн антенны HL451 (а) и «Логос-КВ-1» (б)

Анализ рис. 11 позволяет сделать выводы о реальных КСВн сравниваемых антенн. В частности, рабочая частота, выше которых у измеряемых антенн $КСВн \leq 2,0$, для антенны HL451 имеет величину 5 МГц, а антенны «Логос КВ-1» – величину 3 МГц, что в 1,67 раза меньше. В антенне «Логос КВ-1» отсутствует нагрузочный резистор, который установлен в антенне HL-451. Это позволяет утверждать, что сопротивление излучения антенны «Логос КВ-1» на частотах ниже 5 МГц достаточно велико, что позволяет обеспечить уровень согласования, достаточный для полноценной работы подключаемого к ней передающего устройства.

В связи с тем, что прямые измерения усиления антенн декаметрового диапазона требуют применения лётно-технических средств, что приводит к значительным материальным и трудозатратам, были выполнены сравнительные трассовые испытания антенн «Логос КВ-1» и HL-451 в режимах приема и передачи по методикам, изложенным в работе [8]. Измеряемые антенны были установлены на расстоянии примерно 50 м друг от друга вдоль линии, перпендикулярной направлению на приемный пункт (при работе на передачу) и на передающий пункт (при работе на прием). Антенны ориентированы на передающий и приемный пункты максимумами диаграмм направленности. В режиме приема производились одно-временные измерения уровней сигналов, принимаемых антеннами HL-451 и «Логос КВ-1», на трассе протяженностью около 2200 км. Предварительно осуществлялся прогноз максимально применимых частот для трассы, на которой проходили испытания, причем частоты для проведения испытаний назначались с учетом этого прогноза. В качестве тестового использовался синусоидальный сигнал, уровень которого должен был превышать уровень шума в месте приема не менее чем на 10 дБ. В случае если уровень сигнала превышает уровень шума менее чем на 10 дБ, частоту измерения изменяли, но не более чем на $\pm 10\%$ от ее номинала. Измерения уровней сигналов и шумов выполнялись непрерывно в течение нескольких суток, причем в начале каждой пятиминутки в течение первой минуты выполнялось измерение уровня шумов в полосе 200 Гц. В качестве примера ниже приведен фрагмент протокола трассовых измерений в течение одних суток.

Таблица 4

Частота, кГц	Время, МСК	Уровень шума, дБмкВ	Логос КВ-1		HL 451	
			Уровень сигнала, дБмкВ	Отношение сигнал/шум, дБ	Уровень сигнала, дБмкВ	Отношение сигнал/шум, дБ
05.08.2015						
3500	02:00- 02:50	-7,1	10,1	17,2	-	0
7200		-4,6	28,1	32,7	25,3	30,2
10150		-13,5	4,9	18,4	10,1	23,6
14000		-20,2	-15,4	4,8	-12,8	7,4
18100		-20,7	-	0	-	0
21000		-24,2	-	0	-	0
24950		-25,9	-	0	-	0
28000		-26,1	-	0	-	0
3500	08:00- 08:50	-5,5	-	0	-	0
7200		-12,1	-10,2	1,9	-9,5	2,6
10150		-18,3	10,2	28,5	9,8	28,1
14000		-19,6	9,8	29,4	20,4	40
18100		-20,3	35,9	56,2	41	61,3
21000		-24,2	8,9	33,1	19,9	44,1
24950		-25,2	-	0	-	0
28000		-26,2	-	0	-	0
3500	13:00- 13:50	-	-	-	-	-
7200		-13,2	-8,8	4,4	-6,6	6,6
10150		-18,8	13,5	32,3	18,2	37
14000		-20,3	11,9	32,2	16,2	36,5
18100		-20,4	32,2	52,6	35,6	56
21000		-25,6	-17,6	8	-15,3	10,3
24950		-25,8	-	0	-	0
28000		-26,3	-	0	-	0
3500	21:00- 21:50	-9,5	1,7	11,2	-	0
7200		-1,5	27,6	29,1	28,8	30,3
10150		-10,2	32,4	33,6	20,2	30,4

Частота, кГц	Время, МСК	Уровень шума, дБмкВ	Логос КВ-1		HL 451	
			Уровень сигнала, дБмкВ	Отношение сигнал/шум, дБ	Уровень сигнала, дБмкВ	Отношение сигнал/шум, дБ
14000		-16,7	23	39,7	14,7	31,4
18100		-19,5	25,2	44,7	5,4	24,9
21000		-24,2	–	0	–	0
24950		-25,3	–	0	–	0
28000		-26,2	–	0	–	0

На рис. 12 приведены частотно-временные области, соответствующие принимаемым уровням сигналов с отношением сигнал/шум не менее 10 дБ с выхода антенн «Логос КВ-1» и HL-451.

Рис 12. Графики частотно-временных областей

Антенны, как испытываемая «Логос КВ-1», так и НЛ-451, обеспечивают круглосуточную работу. Ежедневно на протяжении каждого сеанса связи было зафиксировано превышение уровня сигнала над уровнем шумов на величину, большую чем 10 дБ, на частотах, где прохождение сигнала для данной радиотрассы было возможно. Стоит отметить, что антенна «Логос КВ-1» отличается от антенны НЛ-451 большими частотно-временными областями, соответствующими отношению сигнал/шум не менее 10 дБ. Увеличение частотно-временной области, в которой антенна «Логос КВ-1» обеспечивает работу по сравнению с антенной НЛ-451, объясняется увеличенным рабочим диапазоном на передачу. Антенна «Логос КВ-1» работает на передачу в диапазоне от 3 до 30 МГц, в то время как антенна НЛ-451 работает на передачу лишь от 5 до 30 МГц.

Выводы

1. Применение в вибраторах логопериодической антенны «Логос КВ-1» проводников, форма которых хотя бы частично описывается фрактальными кривыми, позволило при размере полотна антенны 16х16 м снизить рабочие частоты в передающем режиме до 3 МГц по уровню КСВН ≤ 2.0 , что в 1,67 раза меньше, чем у антенны НЛ-451, которая при таком же размере антенного полотна имеет нижнюю рабочую частоту 5 МГц.

2. Величина коэффициента усиления логопериодических антенн «Логос КВ-1» с вибраторами в форме фрактальных кривых имеет величину 6–12 дБи и близка к коэффициенту усиления антенны НЛ-451, который имеет величину 6–13 дБи. Однако требуются дальнейшие работы для уточнения их количественных характеристик, т.к. наблюдаются случаи, когда при приеме на близких частотах существенно различаются уровни сигналов различных радиостанций, при этом различие в уровнях шумов между антеннами в анализируемом диапазоне частот существенно меньше.

3. Конструкция двухпроводной линии питания антенны типа «Логос КВ-1» с короткозамкнутой перемычкой на конце обеспечивает более высокую степень молниезащиты, чем антенна НЛ-451. К тому же устройство симметрирующе-согласующее, примененное в антенне «Логос КВ-1», также имеет заземленную среднюю точку.

Таким образом, по результатам измерений и испытаний можно сделать вывод о том, что разработанная в АО «ОНИИП» поворотная логопериодическая антенна «Логос КВ-1» не уступает антенне НЛ-451 в диапазоне частот 5–30 МГц и превосходит ее в диапазоне частот ниже 5 МГц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левин Б.М. Вибраторные антенны судовой радиосвязи. 1998. 440 с.
2. Яковлев А.Ф., Пятненко А.Е. Ориентировочный расчет логопериодических вибраторных антенн уменьшенных размеров // Антенны. 2004. Вып. 6 (85). С. 17–19.
3. Logarithmic-periodic compact antenna HL451 0733.8507. General Description. Drawings: фирменный материал Rohde&Schwarz.
4. Вершков М.В. Судовые антенны. 5-е изд., перераб. и доп. СПб., 2008. 414 с.
5. Поворотное логопериодическое приемопередающее антенно-фидерное устройство: патент РФ 2619849, H01Q 11/10 / Костычев Ю.А. [и др.]. Оpubл. 19.05.2017, Бюл. №14.
6. Метод миниатюризации логопериодических антенн / К.В. Астахова [и др.] // Радиолокация, навигация, связь: сборник докладов XXIII Междунар. науч.-техн. конф. Воронеж, 2017. Т. 3. С. 1061–1068.
7. Milligan T.A. Modern antenna design. 2nd ed. J.Wiley&Sons. Inc., Hoboken, New Jersey, 2005.
8. Методы измерения характеристик антенно-фидерных устройств / О.В. Попов [и др.]; под ред. Б.В. Сосунова. Л.: ВАС, 1990. 182 с.
9. Коротковолновые антенны / Г.З. Айзенберг [и др.]. М.: Радио и связь, 1985. 535 с.