

**АШИХМИН Александр Владимирович,  
доктор технических наук**  
**КОЗЬМИН Владимир Алексеевич,  
кандидат технических наук**  
**РЕМБОВСКИЙ Анатолий Маркович,  
доктор технических наук**  
**СЕРГИЕНКО Александр Ростиславович**

# **ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ РАДИОПЕЛЕНГАТОРОВ СЕМЕЙСТВА АРТИКУЛ**

Радиопеленгаторы относятся к угломерным навигационным системам, задачей которых является определение положения подвижного объекта, например: корабля или самолета в земной системе координат. В последнее время пеленгование для целей радионавигации постепенно теряет свое значение в силу распространения спутниковых позиционных систем. Но в целом ряде важных областей потребность в радиопеленгации по-прежнему остается актуальной, включая радиоконтроль и выявление местоположения источников радиоизлучения (ИРИ).

Эффективность пеленгования и местоопределения ИРИ во многом определяется техническими характеристиками оборудования. Настоящая работа посвящена исследованию влияния особенностей построения автоматических радиопеленгаторов семейства АРТИКУЛ на их технические и эксплуатационные показатели. В первой части статьи рассматривается типовая структурная схема современного радиопеленгатора, приводятся его основные технические характеристики. Во второй части перечисляется основной состав семейства радиопеленгаторов АРТИКУЛ, анализируются их технические и конструктивные особенности.

## **Структурная схема радиопеленгатора и его основные технические характеристики**

Типовая структурная схема современного радиопеленгатора выглядит, как показано на рис. 1. Радиопеленгатор

состоит из следующих основных частей: антенной системы (АС), радиоприемного тракта, устройства цифровой обработки сигналов (ЦОС) и устройства отображения результатов. В зависимости от предъявляемых требований в структурную схему могут быть добавлены дополнительные блоки, например: навигационная система для определения собственного местоположения и ориентации радиопеленгатора, модули дистанционного управления по кабельным линиям или радиоканалу, блоки тестирования работоспособности, устройства для калибровки радиоприемных трактов и т.д.

Антенная система радиопеленгатора состоит из  $N$  антенных элементов, расположенных в пространстве по определенному закону, например: по кругу или эллипсу. В качестве антенных элементов могут использоваться рамочные антенны, конические и биконические вибраторы, штыревые антенны, дискоконусные антенны, направленные антенны типа логопериодической или волнового канала и т.д.

Радиоприемный блок предназначен для селекции, усиления и преобразования частоты входного сигнала. В так называемых моноимпульсных пеленгаторах количество приемных трактов блока  $M$  равно количеству антенных элементов  $M = N$ . В этом случае обеспечивается максимальная скорость пеленгования.

С выходов радиоприемного блока аналоговые сигналы на промежуточной частоте (ПЧ) поступают на блок ЦОС, где они подвергаются аналого-цифровому преобразованию, и

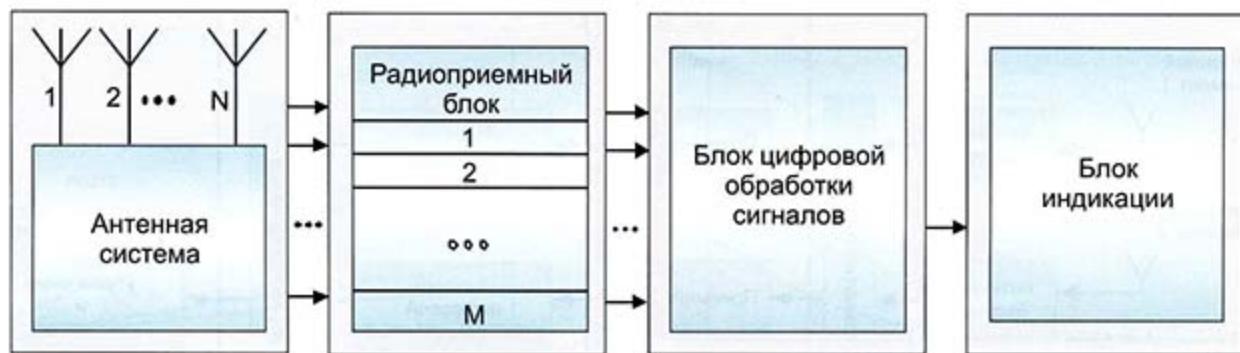


Рис. 1. Типовая структура радиопеленгатора

далее, согласно используемому методу пеленгования, определяется значение азимута на ИРИ. Кроме вычисления пеленга устройство цифровой обработки нередко осуществляет спектральный анализ сигналов, измерение их параметров, демодуляцию или декодирование сообщений.

Блок индикации предназначен для представления результатов работы пеленгатора в форме, понятной оператору. Иногда этот блок представляет собой полноценную персональную вычислительную машину. Кроме отображения результатов пеленгования и спектрального и технического анализа ПЭВМ используется для управления работой аппаратуры, хранения баз данных с результатами пеленгования, сигналами для технического анализа и т. д., служит для формирования отчетов и протоколов работы.

Использование ЦОС позволяет избежать многих недостатков, присущих аналоговым пеленгаторам. Цифровая обработка обеспечивает синхронизацию приемных каналов, исправление значений фазы и амплитуды для антенн, кабелей и т. п. В цифровой части отсутствует температурный дрейф, пеленг доступен в численной форме, что, в частности, упрощает дальнейшие расчеты и передачу данных.

В настоящее время в системах радиоконтроля наибольшее распространение имеют следующие виды пеленгаторов [3]:

- ◆ системы на основе вращающейся направленной антенны;
- ◆ двухканальные автоматические пеленгаторы (Ватсона – Ватта, Эдкока);
- ◆ квазидоплеровские системы;
- ◆ фазовые интерферометры;
- ◆ корреляционные интерферометрические измерители (КИ).

Каждый из этих пеленгаторов имеет свои достоинства и недостатки, но для многофункциональных систем радиоконтроля предпочтительнее использовать КИ, которые делают возможным пеленгование практически любых видов радиосигналов, в том числе широкополосных со сложными видами модуляции. У них имеется возможность одновременной обработки и различия нескольких сигналов в одном частотном канале, причем как когерентных (при многолучевом приеме излучения единственного источника), так и некогерентных (при приеме радиосигналов от нескольких источников с перекрывающимися спектрами). Для КИ разработаны эффективные методы уменьшения инструментальных погрешностей, вызванных местными условиями

и взаимным влиянием элементов конструкции АС и антенных элементов. Кроме того, упрощается реализация на основе унифицированных блоков: однотипных антенных элементов, радиоприемных устройств с общим гетеродином, антенных коммутаторов, блоков аналого-цифровой обработки. Пространственное разрешение и измерение направления прихода радиоволн в корреляционных интерферометрах может эффективно совмещаться с измерением напряженности поля каждого из обнаруженных источников.

В основе работы корреляционного интерферометра лежит сравнение измеренных разностей фаз между элементами антенной решетки с разностями фаз опорного (теоретического) пространственного сигнала, предварительно вычисленного аналитически для всех возможных углов прихода радиоволны. За угол прихода радиоволны принимается направление опорного пространственного сигнала, для которого корреляция с принятым сигналом максимальна.

Интерферометр с цифровым приемником, количество когерентных каналов  $N$  которого равно количеству антенных элементов  $M$ , реализует моноимпульсный метод пеленгования. Такой пеленгатор обеспечивает наибольшую скорость вычисления пеленгов, но сложен, дорог в изготовлении и настройке. Поэтому для стационарных и мобильных станций радиоконтроля наибольшее распространение имеет схема с двумя каналами приема, представленная на рис. 2. Поскольку количество антенных элементов больше, чем каналов приема, то они подключаются к входам приемника последовательно с помощью высокочастотных коммутаторов.

Основными элементами КИ являются: антенная решетка, антенный коммутатор, двухканальный когерентный приемник, блок аналого-цифровой обработки. Антенный коммутатор последовательно подключает к входам двухканального приемника пары элементов АС, выбранные согласно алгоритму пеленгования. Для обеспечения когерентного приема сигналов на смесители обоих каналов радиоприема подается одно и то же высокочастотное напряжение, формируемое синтезатором частот. Основными функциями двухканального приемника являются: преобразование частоты принимаемого радиосигнала и осуществление первичной фильтрации по побочным каналам приема, то есть функции подготовки принятого радиосигнала к преобразованию в цифровой вид. В блоке аналого-цифровой обра-

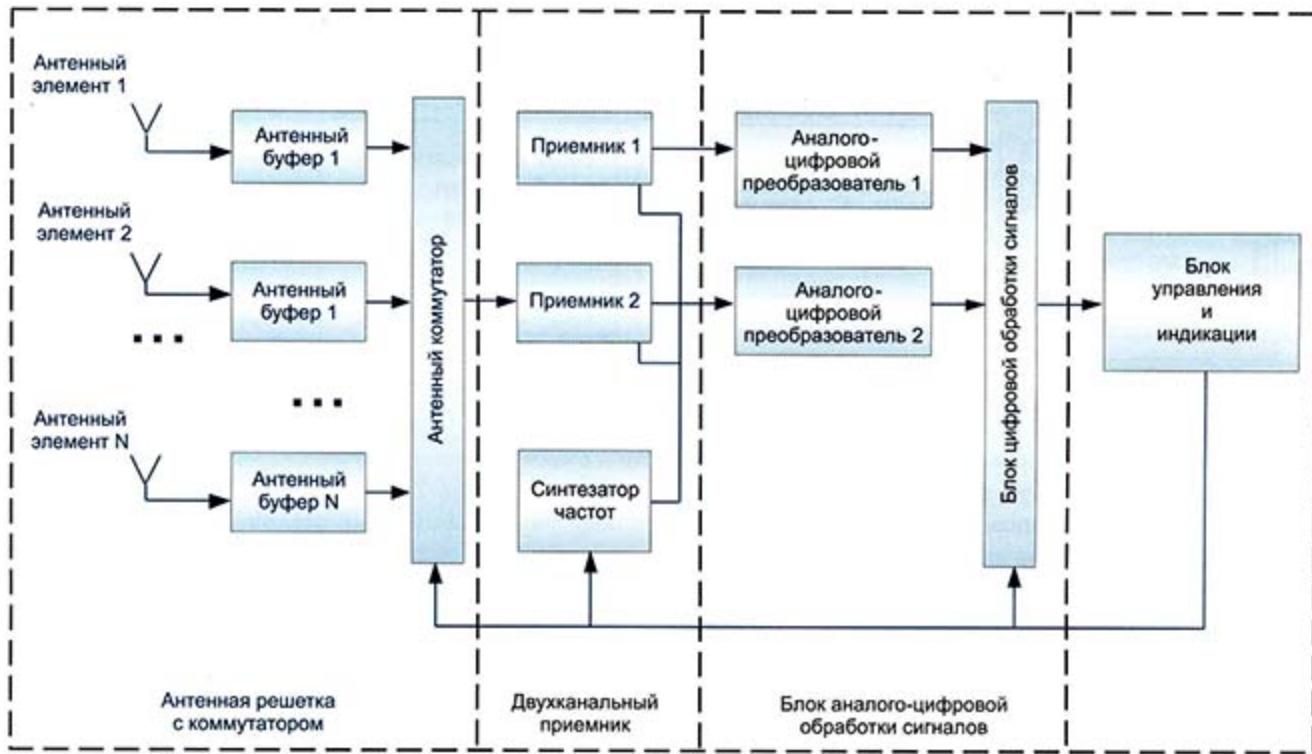


Рис. 2. Корреляционный интерферометр с двумя каналами приема

ботки производятся основные вычислительные операции по алгоритму цифровой обработки. Устройство управления и индикации, входящее в состав интерферометра, выполняет управляющие функции, а также предоставляет пользовательский интерфейс.

К наиболее важным техническим характеристикам радиопеленгаторов относятся следующие [1, 2, 4]:

- ◆ вид пеленгуемого сигнала;
- ◆ диапазон рабочих частот;
- ◆ точность пеленгования;
- ◆ чувствительность;
- ◆ помехоустойчивость;
- ◆ быстродействие;
- ◆ разрешающая способность;
- ◆ время развертывания;
- ◆ масса и габариты;
- ◆ сложность в производстве и эксплуатации.

Рассмотрим эти характеристики подробнее. Вид пеленгуемого сигнала определяет радиосигналы, для источников которых пеленгатор способен вычислять пеленг. Вид пеленгуемого сигнала напрямую связан с полосой пропускания радиоприемного тракта пеленгатора и его быстродействием. Чем шире полоса пропускания, — тем более широкополосные и кратковременные сигналы можно запеленговать. Кроме того, способность пеленговать кратковременные периодические сигналы будет зависеть от математической обработки, которую производит блок цифровой обработки пеленгатора.

Диапазон рабочих частот радиопеленгатора задает частотную область, в которой осуществляется радиопеленгование с заданными характеристиками точности и чувствительности. В настоящее время источники радиоизлучения

используют диапазон радиочастот от единиц килогерц до десятков гигагерц. Поэтому чем больше диапазон рабочих частот радиопеленгатора, тем он предпочтительнее для использования в задачах радиоконтроля.

Точность радиопеленгатора обычно характеризуется среднеквадратической угловой ошибкой пеленгования, вычисляемой как

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{N-1} (\theta_i - \hat{\theta}_i)^2}{N}} \quad (1)$$

где  $\theta_i$  — истинный азимут,  $\hat{\theta}_i$  — азимут, измеренный радиопеленгатором,  $N$  — количество измерений. При определении точности пеленгатора проводят большое число измерений  $N$ , варьируя азимуты расположения ИРИ и частоту излучения.

Чувствительность радиопеленгатора определяет его способность пеленговать далекие или маломощные радиостанции. Обычно под чувствительностью понимают такое значение напряженности электромагнитного поля, при котором пеленгование осуществляется при заданных показателях, например при заданной среднеквадратической ошибке пеленгования. Чувствительность радиопеленгатора определяется чувствительностью его приемных трактов, конструкцией АС, особенностями ЦОС.

При уменьшении напряженности поля пеленгуемого сигнала за счет действия внутренних шумов пеленгатора и внешних помех среднеквадратическая ошибка пеленгования растет. То есть точность и чувствительность пеленгования являются взаимосвязанными параметрами, и поэтому указание значения чувствительности пеленгатора, выражен-

ное в единицах напряженности поля или плотности потока мощности, должно сопровождаться приведением соответствующего ему значения среднеквадратической ошибки пеленгования.

Чувствительность пеленгаторов зависит и от ширины полосы пропускания радиоприемных трактов. Если шумы в канале приема имеют равномерный спектр, то значение чувствительности пеленгатора будет обратно пропорционально корню квадратному из полосы пропускания [4]. Но значительное сужение полосы пропускания ведет к невозможности пеленгования импульсных сигналов небольшой длительности, которые имеют широкополосный спектр.

Помехоустойчивость – это характеристика пеленгатора, показывающая возможность его работы в условиях воздействия помех. Помехоустойчивость пеленгатора в основном определяется помехоустойчивостью его радиоприемных трактов и антенных систем, пространственной селективностью. Как и у любых радиоприемных устройств, она характеризуется динамическим диапазоном, интермодуляционной избирательностью, избирательностью по побочным каналам приема.

Важными факторами, определяющими помехоустойчивость радиопеленгатора, являются также его невосприимчивость к искажениям поля, вызванным многолучевым распространением радиоволн, стойкость к поляризационным ошибкам, стабильность работы в случае наличия некогерентных помех в пеленгуемом частотном канале.

Быстродействие радиопеленгатора определяется минимальным временем, в течение которого происходит процесс настройки пеленгатора на заданную частоту и взятие пеленга. В последнее время имеют распространение системы радиосвязи с ППРЧ, у которых скорость перестройки по частоте составляет от нескольких десятков до нескольких сотен скачков в секунду. Поэтому быстродействие пеленгаторов становится решающим показателем для их использования, особенно в военной области.

Максимальная скорость взятия пеленга достигается в моноимпульсных пеленгаторах, где пеленг измеряется за время длительности одного сигнального импульса. В общем случае для увеличения быстродействия радиопеленгаторов предпочтительно использовать радиоприемные тракты с малым временем установления в синтезаторах частот, сокращать время взятия сигнала с антенных элементов пеленгатора, уменьшать количество антенных элементов, со-

кращать объем вычислений за счет ухудшения разрешающей способности.

Разрешающая способность – это характеристика радиопеленгатора, определяющая возможность раздельного пеленгования источников радиоизлучения с близкими параметрами. Различают разрешающую способность по частоте и разрешающую способность по углу.

Разрешающая способность по частоте у пеленгаторов может быть разной в разных рабочих диапазонах. Например, в гектометровом диапазоне волн используются радиопередатчики с узкополосными видами модуляции, и здесь от пеленгатора требуется более высокая разрешающая способность, чем в дециметровом диапазоне волн. Разрешающая способность по частоте современных радиопеленгаторов в основном определяется фазовыми шумами синтезаторов частот радиоприемных трактов и сложностью цифровой обработки сигналов.

Задача разрешения по углу также важна для современных радиопеленгаторов, поскольку в одном радиочастотном канале могут работать несколько источников радиоизлучения, например: входящих в радиосеть, или несколько базовых станций сотовой радиосвязи. Разрешающая способность по углу КИ напрямую связана с точностью пеленгования.

Время развертывания радиопеленгатора – существенный параметр для мобильных систем, показывающий, сколько быстро пеленгатор может быть переведен из походного состояния в рабочий режим.

Масса и габариты радиопеленгатора – важные параметры, особенно для применения в мобильных системах. Чем меньше масса и габариты радиопеленгатора, тем проще его использовать на наземных, воздушных и морских носителях.

Сложность в производстве и эксплуатации – параметры, определяющие возможность массового производства пеленгатора, удобство эксплуатации, а также его стоимость.

## Автоматизированные радиопеленгаторы семейства АРТИКУЛ

В семейство радиопеленгаторов АРТИКУЛ входят стационарные (разворачиваемые), мобильные, портативные и носимые автоматические КИ. Основной состав семейства приведен в табл. 1, основные технические параметры радиопеленгаторов сведены в табл. 2, а на фото 1–6 показан внешний вид их антенных систем.



Фото 1. Антенная система АС-ПП4 в сложенном и развернутом виде



Фото 2. Антенная система АС-МП6 находится под общим обтекателем на всю крышу автомобиля

Таблица 1. Автоматические радиопеленгаторы семейства «Артикул»

Наименование	Вид исполнения	Антennaя система	Блок аналого-цифровой обработки	Управление и отображение информации
АРТИКУЛ-С, АРТИКУЛ-С-8	стационарный или разворачиваемый	AC-ПП4, AC-ПП8	АЦО-М11	ПЭВМ
АРТИКУЛ-М	мобильный	AC-МП1, AC-МП6, AC-МП17	АЦО-М11	ПЭВМ
АРТИКУЛ-П	портативный	AC-ПП17	портативный системный кейс APK-KC17	ПЭВМ
АРТИКУЛ-Н1	носимый	AC-НП1	малогабаритный системный кейс АРГАМАК-2К	ПЭВМ или КПК



Фото 3. Антennaя система АС-МП17 на крыше легкового автомобиля

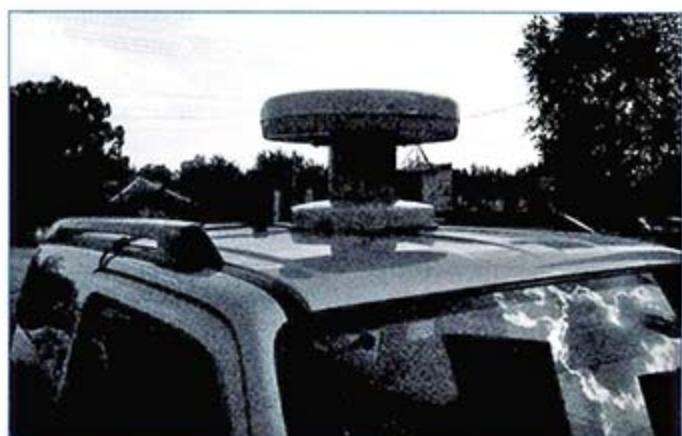


Фото 5. Носимая антennaя система АС-НП1, установленная на автомобиль с помощью магнитного основания



Фото 4. Антennaя система АС-ПП17 в развернутом состоянии и футляре для ее переноски



Фото 6. Носимый пеленгатор Артикул Н1 с антennaй системой АС-НП1 в рабочем положении

Таблица 2. Основные технические характеристики радиопеленгаторов семейства АРТИКУЛ

Рабочий диапазон частот	25 – 3000 МГц
Скорость панорамного анализа в рабочем диапазоне	не менее 3200 МГц/с
Аттенюаторы	0 – 30 дБ с шагом 2 дБ
Односигнальный динамический диапазон	не менее 110 дБ
Динамический диапазон по интермодуляции второго и третьего порядка	не менее 75 дБ
Избирательность по зеркальному каналу	не менее 70 дБ
Ослабление помехи промежуточной частоты	не менее 70 дБ
Метод пеленгования	корреляционно-интерферометрический
Рабочий сектор углов	0 – 360°
Рабочий диапазон частот: ♦ пеленгатора АРТИКУЛ-С-8 ♦ пеленгаторов АРТИКУЛ-С, АРТИКУЛ-М, АРТИКУЛ-П, АРТИКУЛ-Н1	25 – 8000 МГц 25 – 3000 МГц
Скорость многоканального пеленгования при частотном разрешении не менее 12 кГц: ♦ в базовом исполнении ♦ при наличии специализированного процессора АРК-С5	не менее 120 МГц/с не менее 300 МГц/с
Минимальная длительность пеленгуемого сигнала: ♦ однократного (в базовом исполнении) ♦ однократного (при наличии специализированного процессора АРК-С5) ♦ регулярного повторяющегося импульсного сигнала (при наличии специализированного процессора АРК-С5)	30 мс 10 мс 1 мс
Ширина спектра пеленгуемого сигнала	произвольная
Инструментальная точность (СКО) (в зависимости от частоты радиосигнала): ♦ АС-ПП4, АС-ПП17 ♦ АС-МП6, АС-МП17, ♦ АС-НП1 (25 – 100 МГц) ♦ АС-НП1 (100 – 3000 МГц)	1 – 3° 1 – 5° 5 – 8° 1 – 5°
Чувствительность по полю (в зависимости от частоты сигнала при удвоенном значении СКО) ♦ АС-ПП4, АС-МП6, АС-МП17, АС-ПП17 ♦ АС-НП1	1 – 8 мкВ/м 1 – 25 мкВ/м
Потребляемая мощность (в зависимости от типа антенной системы, вместе с системой термостабилизации)	20 – 90 Вт
Рабочий диапазон температур антенной системы	-40 – +50° С
Масса, не более: ♦ АС-ПП4 ♦ АС-МП6 ♦ АС-МП17 ♦ АС-ПП17 (вместе с мачтой) ♦ АС-НП1 (в полном базовом составе)	25 кг 15 кг 28 кг 15 кг 13 кг
Полоса одновременно обрабатываемых частот/разрешающая способность по частоте	5 МГц/12 кГц, 250 кГц/500 Гц, 100 кГц/200 Гц, 50 кГц/200 Гц, 25 кГц/100 Гц, 12 кГц/50 Гц, 6 кГц/25 Гц

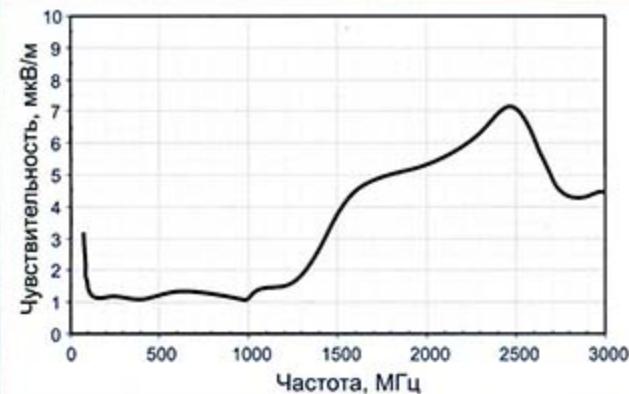


Рис. 3. Зависимость чувствительности пеленгования от частоты для АС-ПП17

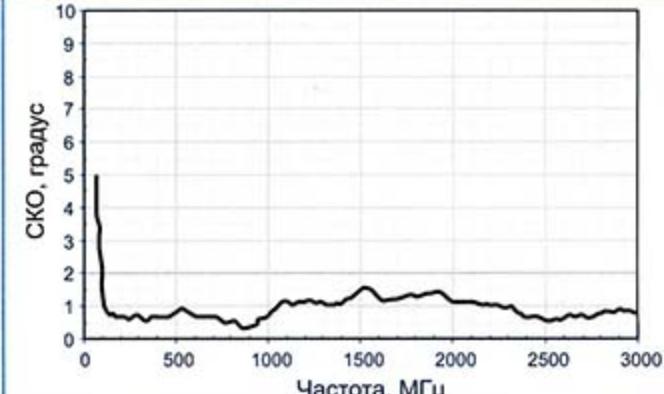


Рис. 4. Зависимость среднеквадратической ошибки пеленгования от частоты для АС-ПП17

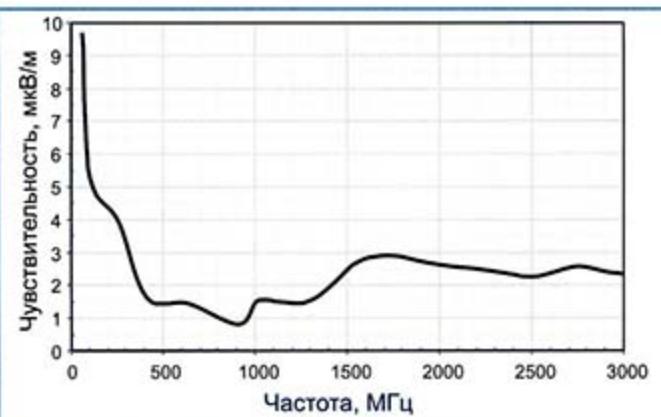


Рис. 5. Зависимость чувствительности пеленгования от частоты для АС-НП1

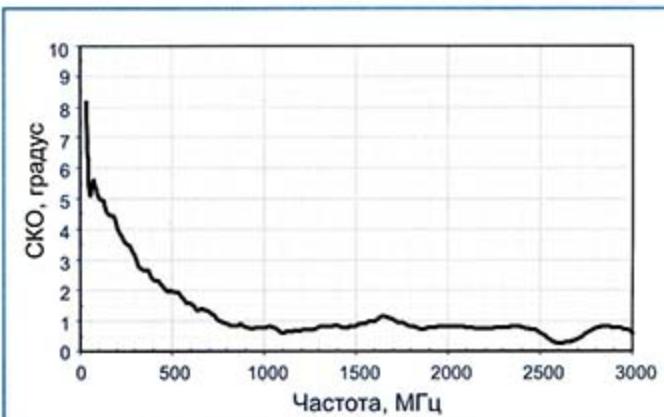


Рис. 6. Зависимость среднеквадратической ошибки пеленгования от частоты для АС-НП1

Радиопеленгаторы семейства АРТИКУЛ соответствуют структурной схеме, приведенной на рис. 2, в их конструкции используются унифицированные блоки: радиочастотные модули АРК-ПС5, модуль ЦОС ПЧ АРК-ЦО5, активные антенные элементы, высокочастотные коммутаторы и импульсные источники вторичного электропитания [1]. В радиопеленгаторах реализован корреляционно-интерферометрический метод пеленгования, что делает возможным пеленгование радиосигналов с произвольными шириной спектра и видом модуляции.

Во всех радиопеленгаторах, кроме носимого АРТИКУЛ-Н1, применена двухлитерная конструкция антенной системы. Антenna решетка первой литеры принимает сигналы в рабочем диапазоне частот 25 – 1000 МГц, антenna решетка второй литеры – в диапазоне 1000 – 3000 МГц. Подобная конструкция обеспечивает широкий диапазон рабочих частот при высокой чувствительности пеленгования.

В отличие от других пеленгаторов семейства носимый радиопеленгатор Артикул-Н1 имеет однолитерную конструкцию. Его АС оптимизирована для диапазона радиочастот от 25 до 3000 МГц, имеет сравнительно небольшой диаметр. Характеристики по точности и чувствительности в низкочастотной части рабочего диапазона у этого пеленгатора несколько хуже, чем у остальных пеленгаторов семейства, что является платой за его предельно малые массу и габариты.

На точность, чувствительность и помехоустойчивость пеленгования значительное влияние оказывают показате-

ли радиоприемного тракта. Поскольку для всех пеленгаторов семейства АРТИКУЛ радиоприемный тракт практически одинаков, то при близких размерах антенных решеток чувствительность и точность стационарного, разворачивающегося, мобильного и портативного пеленгатора оказываются практически одинаковыми. В качестве примера на рис. 3, 4 показаны зависимости чувствительности и точности пеленгования от частоты для радиопеленгатора с антенной системой АС-ПП17, а на рис. 5, 6 те же зависимости приведены для носимого радиопеленгатора АРТИКУЛ-Н.

Малые габариты, масса и энергопотребление радиоприемных устройств АРК-ПС5 сделали возможным их установку непосредственно в АС радиопеленгатора. Это обеспечивает ряд существенных преимуществ по точности, чувствительности, помехозащищенности, удобству производства и эксплуатации, которые мы далее и рассмотрим.

На рис. 7 приведены зависимости погонного ослабления от частоты некоторых марок гибких коаксиальных кабелей. Как видим, затухание сигнала растет с увеличением его частоты, при этом затухание на частоте 1000 МГц находится в пределах 0,2 – 0,8 дБ/м, а на частоте 3000 МГц увеличивается до 0,4 – 2 дБ/м.

Как известно, значение коэффициента шума кабеля практически равно величине его затухания [5]. Следовательно, при достаточной длине кабеля коэффициент шума будет весьма значительным. Если радиоприемное устройство находится вне антенной системы, то обычный путь по-

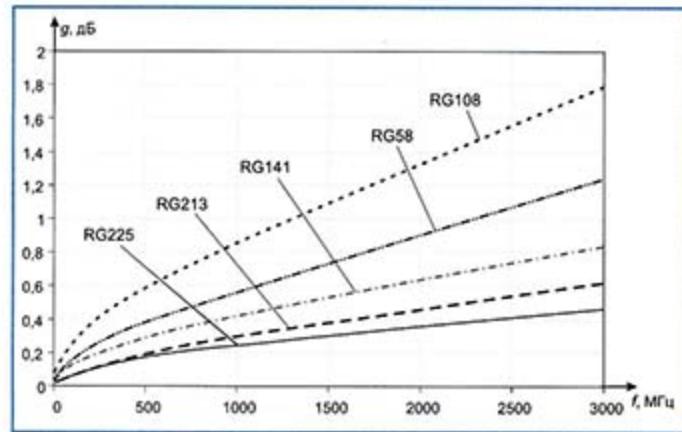


Рис. 7. Зависимость погонного ослабления коаксиальных кабелей от частоты

вышения чувствительности сводится к применению малошумящего буферного усилителя (МБУ), интегрированного в антенный элемент. В этом случае приемный тракт будет иметь вид, показанный на рис. 8.

Коэффициент шума  $F$  последовательного соединения  $M$  звеньев можно определить по формуле Фрииса:

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{F_M - 1}{\prod_{m=1}^{M-1} G_m}, \quad m = 1, 2, \dots, M, \quad (2)$$

где  $F_m$  и  $G_m$  – коэффициенты шума и усиления  $m$ -го звена, выраженные в разах. Из этой формулы следует, что увеличивая коэффициент усиления первого звена можно добиться уменьшения коэффициента шума тракта практически до уровня коэффициента шума первого звена. Таким образом, при большом усиении буферного усилителя коэффициент шума всего радиоприемного тракта будет практически равен коэффициенту шума буфера, то есть динамический диапазон увеличивается в сторону меньших значений. Однако в области больших значений динамический диапазон будет уменьшаться. Поясним сказанное численным примером.

Предположим, что МБУ имеет коэффициент шума  $NF_1 = 3$  дБ. Радиоприемным устройством является преобразователь радиосигналов АРК-ПС5, коэффициент шума которого с  $NF_3 = 12$  дБ [1]. На частоте приема кабель имеет погонное ослабление 0,5 дБ/м.

На рис. 9 изображены зависимости коэффициента шума радиоприемного тракта от коэффициента усиления МБУ,

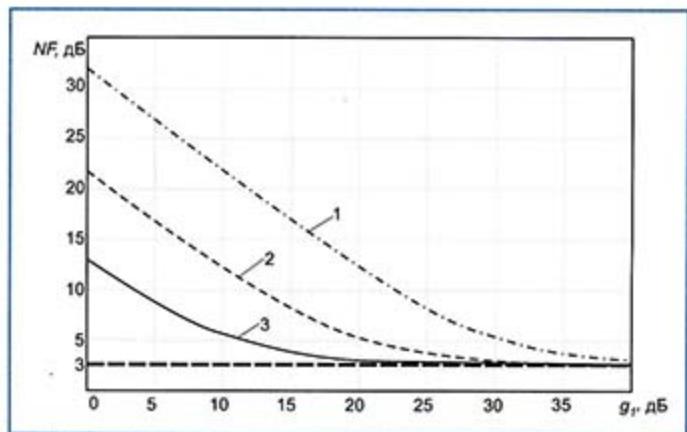


Рис. 9. Зависимость коэффициента шума приемного тракта от усиления буфера

полученные по формуле (2). Кривая 1 построена для кабеля снижения длиной 40 м ( $NF_2 = 20$  дБ,  $g_2 = -20$  дБ), кривая 2 – для кабеля снижения 20 м ( $NF_2 = 10$  дБ,  $g_2 = -10$  дБ). Кривая 3 построена для случая встроенного в АС радиоприемного устройства  $NF_2 = 1$  дБ и  $g_2 = -1$  дБ.

Как следует из рис. 9, увеличение коэффициента усиления МБУ асимптотически уменьшает общий коэффициент шума системы до предельного значения, равного коэффициенту шума МБУ. Предположим, что приемный тракт должен иметь коэффициент шума  $NF \leq 5$  дБ. Нетрудно видеть, что этому условию в первом случае удовлетворяет коэффициент усиления МБУ  $g_1 = 35$  дБ, во втором случае 25 дБ и, наконец, в третьем случае 15 дБ.

Чем длиннее кабель снижения, тем больший коэффициент усиления должен быть у МБУ. Но если коэффициент усиления выбрать слишком большим, то это приведет к значительному уменьшению динамического диапазона приемного тракта. Например, во втором случае, когда длина кабеля снижения составляет 20 м, судя по кривой 2, можно выбрать коэффициент усиления МБУ как 25, так и 35 дБ. Однако при практически одинаковом коэффициенте шума приемного тракта коэффициент усиления 35 дБ уменьшит динамический диапазон в области больших значений на 10 дБ по сравнению с усилием 25 дБ. Чтобы избежать подобного уменьшения динамического диапазона, необходимо для каждого возможного затухания кабеля снижения иметь МБУ с соответствующим коэффициентом усиления, что усложняет производство, так как расширяет номенклатуру необходимых активных антенных элементов. Если радиоприемное

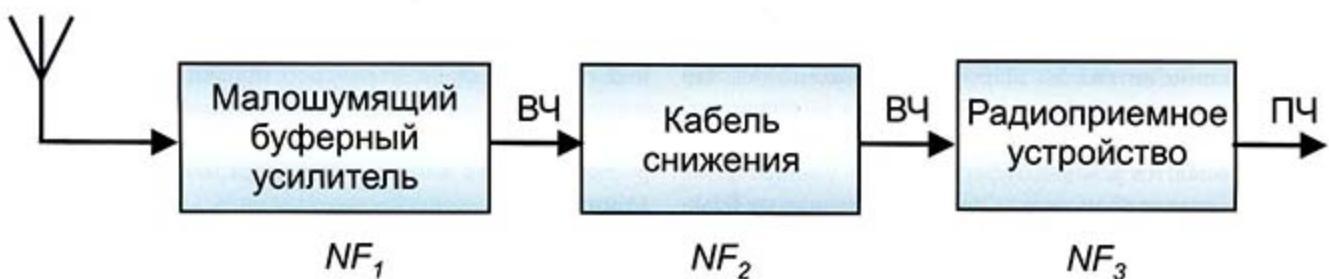


Рис. 8. Использование малошумящего буфера для повышения чувствительности тракта

искажений по длинным кабелям снижения, чем широкополосный сигнал высокой частоты. Относительно узкая полоса сигнала ПЧ позволяет также организовать управление радиоприемным трактом по тем же кабелям снижения.

Необходимо упомянуть еще один серьезный фактор, делающий предпочтительным использование встроенного приемника. Он заключается в том, что появляется возможность использования недорогих коаксиальных кабелей без ухудшения качества пеленгования, что снижает стоимость аппаратуры.

Быстродействие и разрешающая способность по частоте также во многом определяется радиоприемным трактом. В режиме многоканального пеленгования радиопеленгатор последовательно перестраивается по частоте от нижней границы до верхней границы задания. Шаг перестройки равен полосе пропускания радиоприемного тракта (полосе мгновенного обзора). На каждой частоте настройки приемника устройство цифровой обработки производит вычисление пеленгов для всех активных источников радиосигналов в полосе мгновенного обзора. При этом определенное влияние на быстродействие радиопеленгатора оказывает время настройки синтезатора частоты радиоприемного устройства. У радиопеленгаторов на базе преобразователя радиосигналов АРК-ПС5 время настройки синтезатора частоты составляет менее 2 мс, что делает возможным выполнять панорамный анализ со скоростью не менее 3200 МГц/с и вычислять панораму пеленгов со скоростью не менее 120 МГц/с.

Время развертывания, масса и габариты радиопеленгаторов относятся к важнейшим техническим характеристикам, влияющим на сложность эксплуатации. Стационарный пеленгатор АРТИКУЛ-С является разворачиваемым устройством, причем масса его АС не превышает 25 кг. Ее развертывание сводится к надеванию посадочного гнезда АС на хвостовик мачты до совмещения поперечных отверстий, закреплению антенны на мачте стопорным пальцем, развороту траверс антенны на 90° до фиксации на основании блока (фото 1). Ввиду малой массы АС для ее установки могут использоваться легкие телескопические мачты. Время разворачивания антенной системы радиопеленгатора АРТИКУЛ-С не превышает 30 мин. вместе с подъемом телескопической мачты.

Основное отличие портативного пеленгатора АРТИКУЛ-П от стационарного АРТИКУЛ-С состоит в особенностях конструкции его АС. Для уменьшения габаритов, первая литер АС имеет плоские антенные элементы и облегченную конструкцию траверс, а вторая литер выполнена съемной. Антenna система в сложенном состоянии вместе с телескопической мачтой помещается в специальный пенал для ручной транспортировки диаметром 360 мм и длиной 1300 мм. Общая масса АС вместе с мачтой, пеналом, растяжками и анкерами не превышает 15 кг. Время разворачивания вместе с подъемом мачты не превышает 15 мин.

Для работы на мобильных станциях пеленгования используется радиопеленгатор АРТИКУЛ-М. Существуют два варианта исполнения его АС: съемная АС-МП17 с возможностью оперативной установки на крыше автомобиля, как показано на фото 3, и АС-МП6 в несъемном обтекателе, яв-

устройство встроено в антеннную систему, то имеем фиксированное затухание между антенным элементом и радиоприемным устройством, и в подобном расширении номенклатуры и усложнении производства не возникает нужды.

В условиях высокой загруженности радиочастотного диапазона, когда сигналы в эфире имеют высокий уровень или занимают широкую полосу частот буферный усилитель может перейти в нелинейный режим. Чем больше коэффициент усиления МБУ, тем быстрее наступит нелинейный режим, следовательно вариант встроенного в антеннную систему приемника и здесь предпочтителен.

Антенный эффект в высокочастотных кабелях снижения существенно ухудшает точность и чувствительность пеленгования, поскольку за счет наведенного сигнала нарушаются фазовые и амплитудные соотношения в опорном и коммутируемом каналах приема. В случае встроенного в антеннную систему приемника по кабелям снижения передается сигнал на сравнительно низкой промежуточной частоте. Устранение антennого эффекта обусловлено тем, что сигнал промежуточной частоты, как правило, не равен частоте принимаемого сигнала, а также на сравнительно низкой ПЧ улучшаются условия буферирования, уменьшаются потери, что делает возможным передачу сигнала на большие расстояния до нескольких сотен метров. Предварительно отфильтрованный сигнал промежуточной полосы с ограниченной полосой частот технически проще усилить и передать без потерь, наводок, нарушения неравномерности амплитудно-частотной характеристики и нелинейных

ляющимся частью конструкции автомобиля, как изображено на фото 2. Эти две АС имеют практически одинаковые характеристики по точности и чувствительности пеленгования.

Поскольку антенная система АС-МП17 имеет массу не более 28 кг, она может быть установлена на крышу практически любого автомобиля. Для этого в комплекте пеленгатора имеется специальный багажник, который фиксируется на штатных местах крепления на крыше автомобиля. Неоспоримое достоинство съемной АС заключается в том, что после ее установки конструкция автомобиля не нарушается, радиопеленгатор может быть оперативно смонтирован или демонтирован.

Радиопеленгатор АРТИКУЛ-Н1 в базовом составе предназначен для работы в носимом варианте. Для его переноски одним оператором имеется специальный легкий станок, с наплечными лямками и поясным ремнем, управление пеленгатором производится от карманных персонального компьютера (КПК) (фото 6). Общая масса радиопеленгатора вместе со станком и системным кейсом АРГАМАК-2К не превышает 13 кг. Пеленгатор может также использоваться в мобильном варианте. В этом случае его антенная система закрепляется на крыше автомобиля при помощи магнитной подставки (для скоростей до 100 км/час), как изображено на фото 5, для управления и отображения результатов может использоваться КПК или ПЭВМ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

*В семейство автоматических радиопеленгаторов АРТИКУЛ входят стационарные, разворачиваемые, мобильные, портативные и носимые автоматические широкополосные двухканальные корреляционные интерферометры, предназна-*

*ченные для пеленгования сигналов с произвольными параметрами: шириной спектра, видом модуляции, временем действия в эфире и т.д.*

*Все радиопеленгаторы построены на базе унифицированных модулей преобразования радиосигналов АРК-ПС5 и цифровой обработки АРК-ЦО5. Малые габариты и энергопотребление модулей преобразования радиосигналов делают возможным их встраивание непосредственно в antennную систему, что повышает чувствительность, точность и помехоустойчивость пеленгования, уменьшает стоимость, дает возможность выноса antennной системы на несколько сотен метров.*

*Радиопеленгаторы семейства АРТИКУЛ имеют весьма малые массу и габариты, способны быстро разворачиваться, монтироваться или демонтироваться, работать в широком диапазоне температуры окружающей среды.*

*Использование унифицированных модулей обработки сигналов, antennных элементов, коммутаторов, систем вторичного электропитания повышает надежность, облегчает серийное производство. Модульная конструкция делает возможным ремонт пеленгаторов в полевых условиях. Технические характеристики радиопеленгаторов соответствуют требованиям МСЭ. Системное программное обеспечение позволяет использовать радиопеленгаторы как под управлением оператора, так и в составе сложных территориально распределенных автоматизированных систем радиоконтроля.*

## Литература

1. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / Под ред. А.М. Рембовского. – М: Горячая линия-Телеком. 2006. – 492 с.
2. Справочник по радиоэлектронным системам. Под ред. Б.Х. Кривицкого. т. 2, – М.: Энергия, 1979. – 368 с.
3. Справочник по радиоконтролю. МСЭ 2002. Женева, 2004. – 584 с.
4. Варташесян В.А. Радиоэлектронная разведка. – М.: Воениздат, 1975. – 255 с.
5. Дэвис Дж., Карр Дж. Карманный справочник радиоинженера. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2002. – 544 с.