

АШИХМИН Александр Владимирович,
кандидат технических наук
КОЗЬМИН Владимир Алексеевич,
кандидат технических наук, доцент
КОРОВИН Александр Григорьевич
РЕМБОВСКИЙ Анатолий Маркович,
доктор технических наук

РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ РАДИОМОНИТОРИНГА И ПЕПЕНГОВАНИЯ



Структура системы радиомониторинга

Прогресс космических средств навигации, средств радиосвязи, цифровой техники и других областей высоких технологий привел к появлению автоматических территориально распределенных систем радиомониторинга. Основные требования, предъявляемые к таким системам, сводятся к следующему:

- + обязательное наличие универсальных функций радиомониторинга;
- + ошибка определения местоположения источника радиоизлучения (ИРИ) в пределах зоны охвата системы должна быть минимальной;
- + в пределах рабочего диапазона частот система должна определять местоположение ИРИ любого типа (с произвольной шириной спектра занимаемых частот и видом модуляции);
- + система должна обеспечивать измерение напряженности поля или плотности потока мощности;
- + система должна состоять из минимально возможного количества постов наблюдения;
- + посты наблюдения системы должны быть связаны в единую сеть для обеспечения автоматического определения местоположения ИРИ;

+ затраты на изготовление, развертывание и эксплуатацию такой системы должны быть по возможности минимальными.

Как правило, рабочий диапазон частот системы должен охватывать диапазон до 3 ГГц, а в отдельных случаях до 18 или до 40 ГГц [1].

Необходимое количество станций радиомониторинга определяется площадью, рельефом и финансовыми возможностями служб, которым они принадлежат. В идеальном случае любая точка контролируемой территории должна находиться в зоне действия, по крайней мере, двух радиопеленгаторов, обеспечивающих определение координат ИРИ. Однако в этом случае количество станций и стоимость системы растет. Поэтому более предпочтительным является подход, когда в системе радиомониторинга имеются стационарные станции, зона действия которых охватывает наиболее густонаселенные районы, мобильные станции, смонтированные на наземных, воздушных или водных транспортных средствах, портативные станции, которые в необходимых случаях могут быть быстро развернуты в нужных районах, в том числе труднодоступных точках, и носимые средства для «доследивания» ИРИ в труднодоступных местах, на крыши, в зданиях и т.п.

Целью настоящей работы является описание состава, структуры и особенностей аппаратуры распределенной системы радиомониторинга АРК-ПОМ.

Общая структурная схема распределенной системы радиомониторинга и пеленгования АРК-ПОМ представлена на рис. 1. Основное назначение системы – радиомониторинг в рабочем диапазоне частот, пеленгование ИРИ, определение их местоположения, радиоконтроль заданных каналов или диапазонов. Система АРК-ПОМ обеспечивает:

- + оперативный поиск, обнаружение и определение местоположения источников радиоизлучения;
- + накопление информации и ведение базы данных по источникам;
- + технический анализ и измерение параметров модуляции радиоизлучений;
- + контроль параметров радиосигналов и регистрацию информационных сообщений;
- + одноканальное и многоканальное пеленгование;
- + одновременное (синхронное) пеленгование;
- + оценку напряженности электромагнитного поля;
- + прочие функции, включая протоколирование загрузки исследуемого диапазона.

Программное обеспечение системы АРК-ПОМ поддерживает произвольное количество стационарных, разворачиваемых и мобильных станций пеленгования. Мо-

бильные станции могут работать как в движении, так и на стоянке.

В системе АРК-ПОМ периферийные посты пеленгования содержат средства связи с центральным постом системы. Обмен данными между стационарными постами системы осуществляется по высокоскоростным радиоканалам, проводным или оптоволоконным линиям.

Для обмена данными с мобильными станциями упомянутые выше высокоскоростные системы практически неприменимы ввиду отсутствия прямой видимости и невозможности использования направленных антенн. Здесь находят применение низкоскоростные системы радиосвязи: автономные узкополосные радиосистемы передачи данных со скоростью передачи данных от 9600 до 40 000 бит/с или радиомодемы сотовых систем радиосвязи стандартов CDMA или GSM.

Система АРК-ПОМ может включать несколько стационарных, мобильных и портативных станций радиомониторинга и пеленгования, а также дополняться носимыми ручными пеленгаторами.

В состав стационарной станции АРЧА может входить:

- + пост 1. Радиопеленгатор АРТИКУЛ-С со стационарной антенной системой для установки на мачту;
- + пост 2. Панорамное радиоприемное устройство: одноканальное АРГАМАК или многоканальное АРК-РД8М

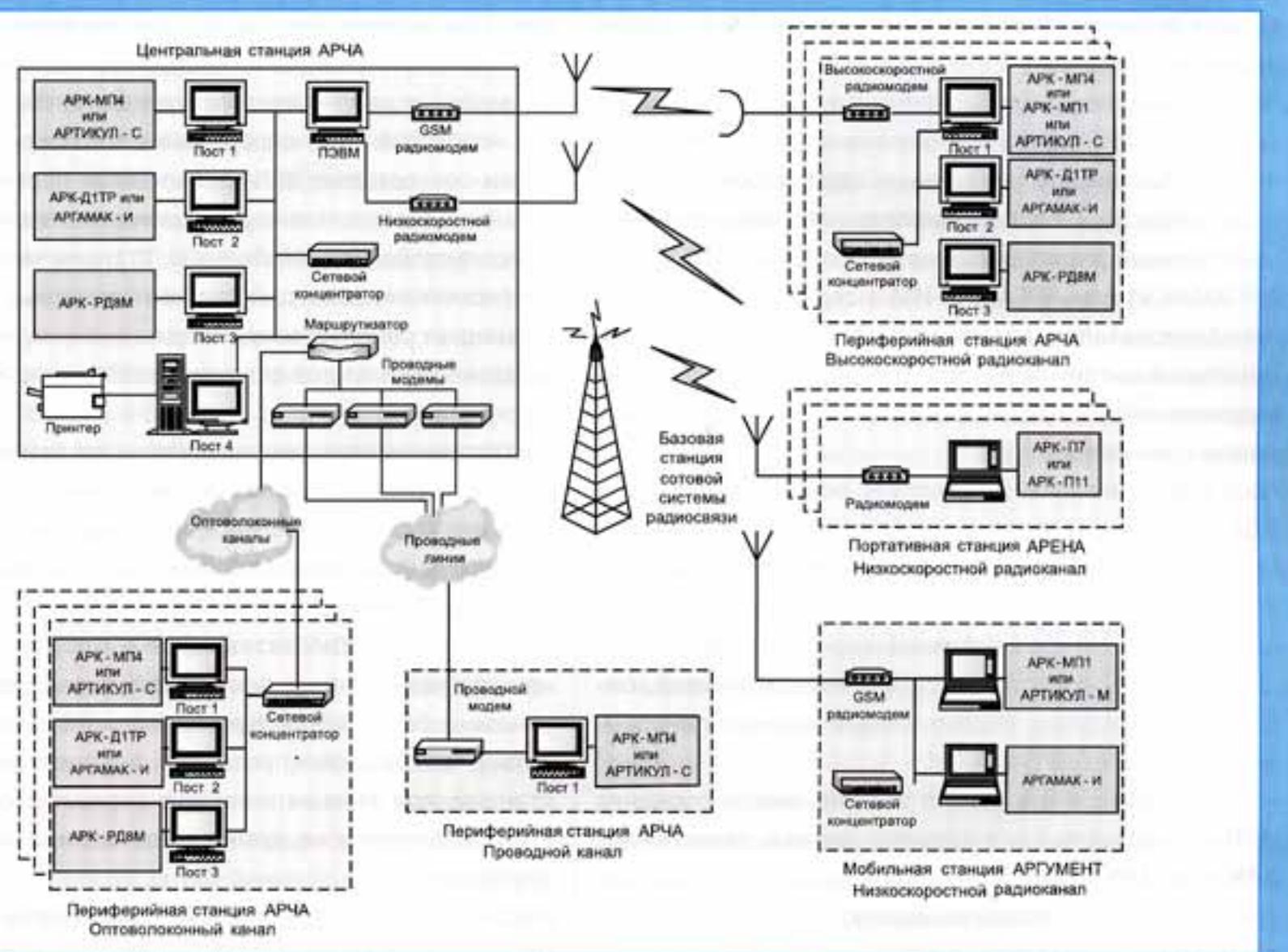


Рис. 1. Общая структурная схема распределенной системы радиомониторинга и пеленгования АРК-ПОМ

- или (при необходимости измерения параметров штатных радиосредств) панорамное измерительное радиоприемное устройство АРК-Д1ТР [7], АРГАМАК-И или АРГАМАК-ИМ с набором измерительных антенн [8];
- + пост 3. Многоканальный комплекс радиоконтроля АРК-РД8;
- + пост 4. Навигационная аппаратура АРК-КН1 или АРК-КН2;
- + носимая аппаратура измерения и контроля параметров штатных радиосредств – носимый измерительный комплекс АРК-НКЗИ на основе приемника панорамного измерительного АРГАМАК-И;
- + носимая аппаратура для уточнения местоположения ИРИ на местности или в зданиях – ручные пеленгаторы АРК-РП3, АРК-РП4;
- + средства связи и передачи данных;
- + общесистемное оборудование.

В минимальной конфигурации каждая из станций АРЧА содержит только пост 1, объединенный с постом 4.

В состав мобильной станции радиомониторинга и пеленгования АРГУМЕНТ входит:

- + пост 1. Базовый комплекс АРТИКУЛ-М с двумя антенными системами: антенной системой АС-МП1 или АС-МП6 под радиопрозрачным обтекателем и разворачиваемой антенной системой АС-МП4 или АС-ПП17 для установки на мачте. В походном положении разворачиваемая антенная система транспортируется в заднем отсеке автомашины;
- + пост 2. Панорамное радиоприемное устройство: одноканальное АРГАМАК или многоканальное АРК-РД8М, при необходимости измерения параметров штатных радиосредств – сертифицированные измерительные панорамные радиоприемные устройства АРК-Д1ТР, АРГАМАК-И или АРГАМАК-ИМ с сертифицированным преобразователем радиосигналов АРК-КНВ4 и измерительной антенной на дизлектрической мачте, устанавливаемой на кузове автомашины или на площадке рядом с автомашиной;
- + пост 3. Многоканальный комплекс радиоконтроля АРК-РД8;
- + пост 4. Навигационная аппаратура АРК-КН1 или АРК-КН2;
- + носимая аппаратура измерения и контроля параметров штатных радиосредств – носимый измерительный комплекс АРК-НКЗИ на основе измерительного панорамного приемника АРГАМАК-И;
- + носимая аппаратура для уточнения местоположения ИРИ на местности или в зданиях – ручные пеленгаторы АРК-РП3, АРК-РП4;
- + средства связи и передачи данных;
- + общесистемное оборудование.

В минимальной конфигурации мобильная станция содержит пост 1, объединенный с постом 4.

В состав портативной станции АРЕНА входит:

- + портативный панорамный радиопеленгатор АРТИКУЛ-П, состоящий из разворачиваемой антенной системы, двухканального цифрового радиоприемного устройства и блока аналого-цифровой обработки;
- + система передачи данных;
- + система электропитания;
- + персональная вычислительная машина (ПЭВМ);
- + устройство навигации АРК-КН1 или АРК-КН2.

Навигационная аппаратура станций АРК-КН1 предназначена для определения собственных географических координат станции, а АРК-КН2 – географических координат и ориентации антенной системы по отношению к географическому северу. Все станции системы могут работать как по автономным заданиям, так и во взаимодействии друг с другом.

Наличие стационарных постов, установленных на главенствующих высотах, позволяет получать точные пеленги и определять местоположения источников ИРИ с точностью от нескольких десятков до нескольких сотен метров, в зависимости от расстояния.

Входящие в АРК-ПОМ мобильные станции увеличивают возможности системы. С их помощью можно быстро уточнить местоположение ИРИ, локализовать источники помех. При наличии измерительного приемника и калибранных антенн мобильный комплекс обеспечивает замеры значения напряженности поля сигналов на местности, что необходимо для определения зон покрытия, для проверки соответствия ИРИ заявленным параметрам и выполнения санитарных норм, оценки электромагнитной совместимости РЭС. Мобильная станция может работать автономно вне зоны действия стационарных станций, что расширяет рабочую зону системы в целом. Ручные пеленгаторы используются для поиска ИРИ внутри зданий и сооружений.

Портативные станции рассчитаны на ручную транспортировку одним или двумя операторами. Подобные средства могут использоваться на стационарных или временных постах, оборудованных или не оборудованных электропитанием, а также на открытой местности. Они могут быть быстро развернуты в местах, недоступных или труднодоступных для средств транспорта, в горах и условиях бездорожья. Кроме того, они могут использоваться в городских условиях в качестве временных станций, при этом их антенные системы могут быть быстро развернуты на крышах зданий или на других сооружениях.

Рассмотрим конструктивные особенности и характеристики радиопеленгаторов, входящих в состав системы.

Радиопеленгатор АРТИКУЛ-С

Радиопеленгатор состоит из антенно-радиоприемного блока (АРПБ), блока аналого-цифровой обработки (БАЦО), блока питания и ПЭВМ. В радиопеленгаторе используется корреляционно-интерферометрический метод пеленгования. Рабочий диапазон частот от 25 до 3000 МГц.

Функциональная схема радиопеленгатора приведена на рис. 2.

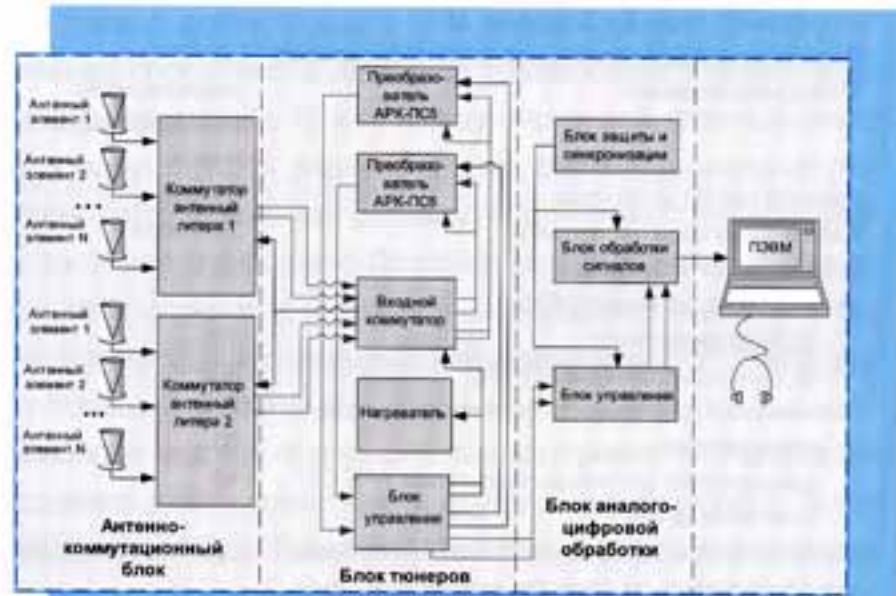


Рис. 2. Функциональная схема радиопеленгатора АРТИКУЛ-С

Антенно-радиоприемный блок, устанавливаемый на мачте, содержит антенно-коммутационный блок и блок преобразователей радиосигналов. В состав антенно-коммутационного блока входят две круговые антенные решетки первой и второй литеры. Антennaя решетка первой литеры работает в диапазоне частот 25 – 1000 МГц, антennaя решетка второй литеры – в диапазоне частот 1000 – 3000 МГц.

Антенные элементы первой литеры закреплены на откидных траверсах, а антennaя решетка второй литеры размещена под пластиковым обтекателем в верхней части АРПБ. Шарнирное крепление антенных элементов и поворотные траверсы существенно ускоряют разворачивание антennaной системы, которое сводится к надеванию посадочного гнезда АРПБ на хвостовик мачты до совмещения поперечных отверстий, закреплению антенных элементов на мачте стопорным пальцем, развороту траверс антенных элементов на 90° до фиксации на основании блока. При этом антенные элементы всегда сохраняют вертикальное положение.

Блок преобразователей на базе модулей серии АРГАМАК размещается внутри корпуса АРПБ. Размещение аналого-цифровой части цифрового радиоприемного устройства (ЦРПУ) внутри АРПБ повышает чувствительность пеленгатора в верхней части диапазона рабочих частот, за счет сведения к минимуму длины высокочастотных кабелей устраняет антенный эффект. Поскольку сигнал ПЧ с выхода ЦРПУ имеет сравнительно низкую частоту, возможно использования кабеля снижения длиной до нескольких сотен метров.



Фото 1. АРПБ в сложенном состоянии

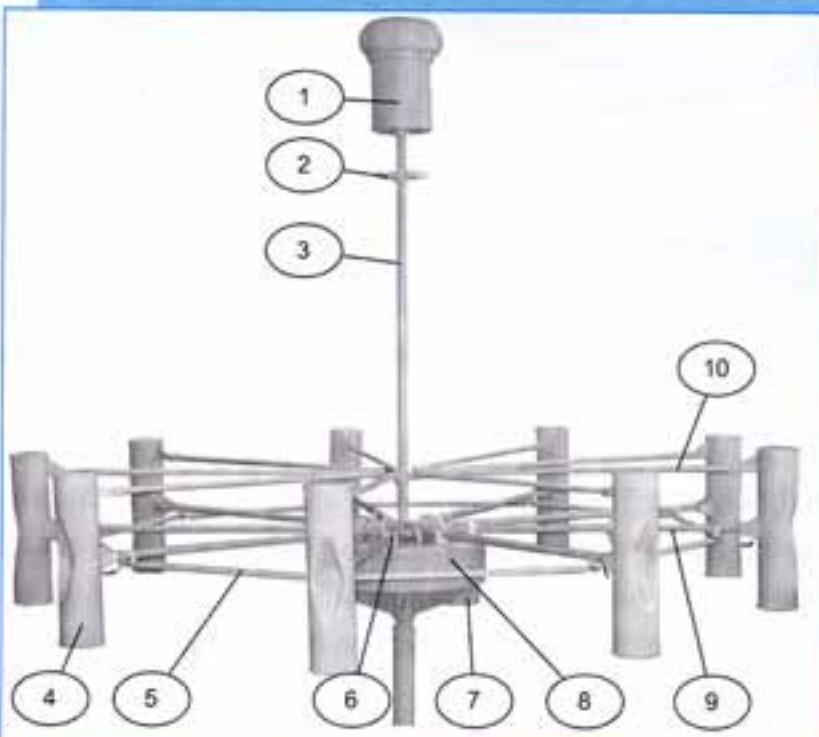


Рис. 3. АРПБ в развернутом состоянии

На рис. 3 цифрами обозначено: 1 – антенная система диапазона 1000 – 3000 МГц (верхний ярус); 2 – устройство для фиксации траверс антенных элементов в сложенном состоянии; 3 – несущая ось; 4 – элемент антенно-системы диапазона 25 – 1000 МГц (нижний ярус); 5 – штанга распорная; 6 – устройство для фиксации траверс антенных элементов в развернутом состоянии; 7 – входной канал охлаждения блока преобразователей; 8 – основание АРПБ (корпус блока преобразователей); 9 – нижняя траверса; 10 – верхняя траверса.

Работоспособность АРПБ сохраняется в широком диапазоне температур окружающей среды. При отрицательной

температура в корпусе АРПБ автоматически включается встроенный нагреватель, а при положительной температуре – система принудительной вентиляции.

Отфильтрованные, усиленные и преобразованные тюнерами сигналы двух каналов на промежуточной частоте 41,6 МГц поступают в БАЦО. Основными элементами блока являются двухканальный модуль цифровой обработки сигналов, собранный на базе модуля АРК-ЦО5 и двухканального специализированного вычислителя АРК-С5. С управляющей ПЭВМ связь осуществляется по интерфейсу USB 2.0.

Блок аналого-цифровой обработки пеленгатора изображен на фото 2.



Фото 2. Блок аналого-цифровой обработки пеленгатора

Основные технические характеристики пеленгатора АРТИКУЛ-С приведены в табл. 1.

На рис. 4 представлены зависимости среднеквадратической ошибки (СКО) пеленгования от частоты для нижней и верхней линии, полученные в ходе заводских испытаний для серийного экземпляра пеленгатора. Общая среднеквадратическая ошибка в диапазоне частот 25 – 3000 МГц составила 1,1°.

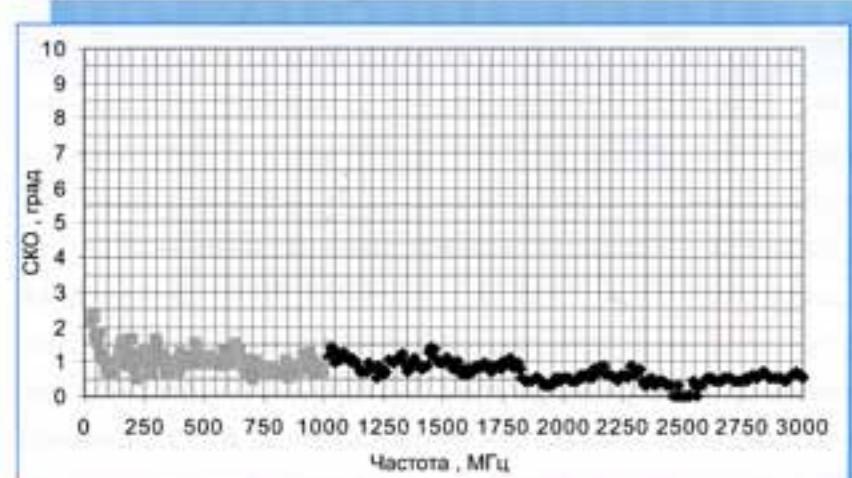


Рис. 4. Зависимость СКО пеленгования от частоты для пеленгатора АРТИКУЛ-С

Таблица 1. Основные технические характеристики АРТИКУЛ-С

Характеристика	Значение
Панорамный анализ и быстрый поиск сигналов	
Рабочий диапазон частот, МГц	25 – 3000
Скорость панорамного анализа в рабочем диапазоне, МГц/с	
- базового комплекта	3200
- со спецвычислителем АРК-С5	5000
Динамический диапазон по интегральной 3 и 2 порядка, дБ	75
Пеленгование одноканальное и многоканальное	
Метод пеленгования	
- корреляционно-интерферометрический	
- 0 – 360	
- 25 – 3000	
Рабочий сектор углов, град	
Рабочий диапазон частот, МГц	
Скорость многоканального пеленгования, не менее, МГц/с	
- базового комплекта	150
- со спецвычислителем АРК-С5	300
Минимальная длительность пеленгуемого сигнала, мс	
- однократного	30
- однократного (со спецвычислителем АРК-С5)	10
- повторяющегося	1
Ширина спектра сигнала пеленгуемого источника	
Чувствительность по полю для антенной системы, зависит от поддиапазона рабочих частот, мкВ/м	2 – 25
Инструментальная точность (СКО) для антенной системы, зависит от поддиапазона рабочих частот,	
- 1 – 3°, типовое значение 1°	
Автоматизированный радиоконтроль	
Виды регистрируемой информации	
- пеленг, демодулированный сигнал, спектrogramма, время, цифровой сигнал на промежуточной частоте	
Напряжение питания переменное частотой 50 (60) Гц	90 – 240 В
Потребляемая мощность, не более, ВА	110
Масса АРПБ, не более, кг	17
Масса БАЦО, не более, кг	3

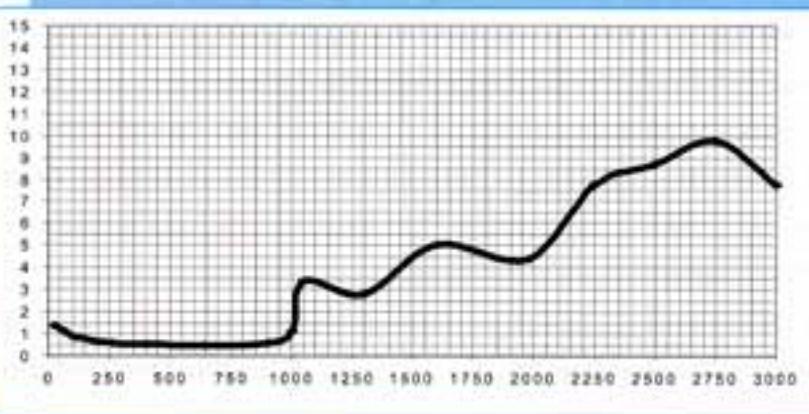


Рис. 5. Зависимость чувствительности пеленгования по полю пеленгатора АРТИКУЛ-С

На рис. 5 показана зависимость чувствительности пеленгования от частоты, полученная в ходе заводских испытаний экземпляра серийного пеленгатора АРТИКУЛ-С. Как видим, чувствительность пеленгатора в рабочем диапа-

зоне частот 25 – 3000 МГц принимает значения от 0,5 до 9,8 мкВ/м.

Мобильный радиопеленгатор АРТИКУЛ-М

Для работы на мобильных станциях радиомониторинга и пеленгования АРГУМЕНТ используется радиопеленгатор АРТИКУЛ-М. Как и АРТИКУЛ-С, он обеспечивает пеленгование радиосигналов в диапазоне 25 – 3000 МГц. Антennaя система состоит из двух антенных решеток. Существуют два варианта ее исполнения: съемная АС-МП1 с возможностью оперативной установки, как показано на *фото 3*, и АС-МП6 в несъемном обтекателе, являющимся частью конструкции станции АРГУМЕНТ [1, 3, 6, 8], изображенного на *фото 4*.



Фото 3. Антенная система АС-МП1 радиопеленгатора АРТИКУЛ-М, установленная на крыше автомобиля



Фото 4. Мобильная станция АРГУМЕНТ с радиопеленгатором АРТИКУЛ-М с антенной системой АС-МП6

Антennaя решетка АС-МП6 также состоит из двух литер активных антенных элементов, предназначенных для работы на частотах до 1000 и выше МГц.

Структурная схема мобильного пеленгатора совпадает со структурной схемой стационарного пеленгатора, приведенной на рис. 2. Ядром пеленгатора также является двухканальное цифровое радиоприемное устройство на базе ЦРПУ АРГАМАК.

Малые габариты двухканального радиоприемного устройства пеленгатора позволяют разместить его под потолочной обшивкой салона операторов рядом с антенным коммутатором и антенными элементами, как показано на *фото 5*. Это обеспечивает максимальную чувствительность пеленгатора, особенно в области частот от 900 МГц и выше. В мобильном пеленгаторе АРТИКУЛ-М используется унифицированный с изделием АРТИКУЛ-С блок аналого-цифровой обработки. Блок размещен слева от кресла оператора под столом первого рабочего места, как показано на *фото 6*.



Фото 5. Размещение двухканального преобразователя и антенного коммутатора под потолочной обшивкой станции АРГУМЕНТ



Фото 6. Размещение БАЦО под столом рабочего места оператора поста 1

Основные технические характеристики радиопеленгатора АРТИКУЛ-М совпадают с характеристиками АРТИКУЛ-С, приведенными в табл. 1. Исключением является среднеквадратическая ошибка пеленгования, которая у мобильного пеленгатора имеет несколько большее значение, что обусловлено ограниченными размерами и размещением антенной системы, расположенной непосредст-

венно на корпусе автомобиля. Общая среднеквадратическая ошибка пеленгования после юстировки обычно не превышает 2,5°.

На фото 7 показано рабочее место оператора мобильного пеленгатора. Две ПЭВМ связаны между собой по локальной сети. Одна ПЭВМ используется для работы программы СМО-ППК, управляющей оборудованием АРТИКУЛ-М, вторая ПЭВМ для картографического приложения СМО-КН. Возможна параллельная работа двух этих приложений на одной ПЭВМ, однако быстродействие пеленгатора и удобство работы оператора при этом снижаются.



Фото 7. Рабочее место оператора поста обнаружения, технического анализа и пеленгования мобильной станции

В зависимости от оборудования, входящего в состав системы, имеются разновидности распределенных систем: АРК-ПОМ1 – состоит из стационарных и мобильных станций, АРК-ПОМ2 – состоит из мобильных и портативных станций и АРК-ПОМ3 – состоит из портативных станций.

Портативный радиопеленгатор АРТИКУЛ-П

Структурная схема портативного пеленгатора совпадает со структурной схемой стационарного пеленгатора, приведенной на рис. 2.

Основное отличие портативного пеленгатора АРТИКУЛ-П от стационарного АРТИКУЛ-С состоит в особенностях конструкции его антенной системы. Первая литера антенной системы АС-ПП17-1 имеет плоские антенные элементы и облегченную конструкцию траверс, а вторая литера АС-ПП17-2 выполнена съемной. Антenna система в сложенном состоянии вместе с телескопической мачтой помещается в специальный пенал для транспортировки диаметром 360 мм и длиной 1300 мм. Общий вес антенной системы вместе с мачтой, пеналом, растяжками и анкерами не превышает 25 кг. Внешний вид антенной системы АС-ПП17 пеленгатора в сложенном и развернутом состоянии показан на фото 8, 9.

В радиопеленгаторе АРТИКУЛ-П также использованы унифицированные цифровые радиоприемные устройства АРГАМАК, размещенные в основании антенной системы, и унифицированный блок аналого-цифровой обработки. Его технические характеристики практически совпадают с характеристиками стационарного АРТИКУЛ-С.



Фото 8. Антenna система пеленгатора АРТИКУЛ-П в сложенном состоянии



Фото 9. Антenna система пеленгатора АРТИКУЛ-П в развернутом состоянии

Программное обеспечение системы

На всех станциях и постах системы АРК-ПОМ используется один и тот же базовый комплект программного обеспечения (ПО). ПО состоит из программных пакетов специального математического обеспечения СМО-ППК, СМО-КН, СМО-СТА, СМО-АСПД.

Пакет СМО-ППК (специальное математическое обеспечение panoramicno-pelenгационного комплекса) содержит программу СМО-ППК и программы-контроллеры (драйверы) аппаратуры. Пакет обеспечивает управление системой, выполнение всех типовых функций радиомониторинга, включая одноканальное и многоканальное пеленгование.

Пакет СМО-КН (карографии и навигации) предназначен для работы с электронной картой местности, он осуществляет прокладку пеленгов и автоматическое определение местоположения ИРИ по данным пеленгования, поступающим из программы СМО-ППК или введенных вручную. Программа постобработки и анализа СМО-АСПД предназначена для анализа спектральных и пеленгационных данных, программа технического анализа радиосигналов СМО-СТА – для технического анализа сигналов.

Любая станция может работать автономно или в системе под управлением центральной станции. В автономном режиме на станции необходимо присутствие оператора. При работе в системе возможны следующие варианты:

- + центральной станцией является стационарная станция, мобильная станция работает в системе как периферийная;
- + центральной станцией является мобильная станция.

Отличие между этими вариантами состоит в том, что в первом случае центральная станция связана со стационарными периферийными станциями каналами связи с высокой пропускной способностью, с мобильной станции данные передаются по низкоскоростному каналу. Во втором случае по тому же низкоскоростному каналу данные передаются от всей системы. Несмотря на то что во втором варианте предпринят ряд мер по сжатию и сокращению передаваемых данных, некоторые режимы имеют меньшее быстродействие, а некоторые режимы физически нереализуемы, например передача звуковых файлов или временных выборок. Но основные режимы, тем не менее, функционируют без изменений.

При работе под управлением центральной станции на периферийных станциях запускаются программы-контроллеры, которые дистанционно управляются от центрального поста. Периферийные посты могут обмениваться данными только с центральным постом, то есть реализуется топология «звезда».

Специальное математическое обеспечение СМО-ППК, работающее на ПЭВМ центрального поста, имеет необходимые функции управления периферийными постами радиоаппаратуры. Для программы СМО-ППК периферийные станции выступают как удаленные контроллеры, каждый из которых имеет номер. Например, если в системе имеются три периферийные станции, то контроллеры будут пронумерованы от 0 до 2.

Оператор центральной станции задает режим работы системы, например «Спектр», «Поиск», «Фоновый обзор», «Обзор», «Пеленг», «Многоканальное пеленгование», «Электронная карта» и др. Назначение и возможности этих режимов рассматривались в [8], поэтому здесь мы остановимся только на особенностях их работы в многопозиционной системе.

В режиме «Спектр» на экране ПЭВМ центральной станции отображается панорама спектра от выбранного контроллера. Выбор другого контроллера производится путем нажатия кнопки с соответствующим номером.

На рис. 6 показано окно программы СМО-ППК, соответствующее случаю, когда спектр отображается от контроллера 2.

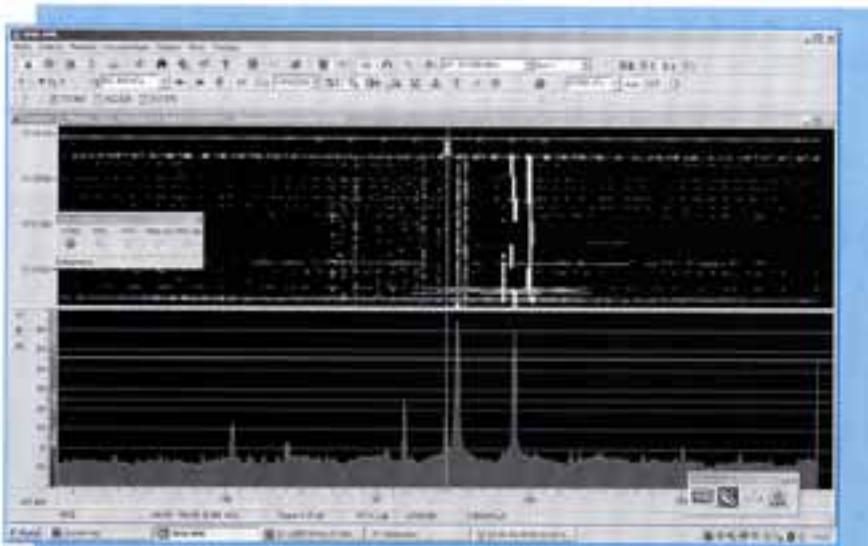


Рис. 6. Режим «Спектр». Выбран контроллер 2. Мобильная станция является центральной

В режиме «Поиск» станции обнаруживаются по панораме спектра, получаемой от выбранного контроллера, в соответствии с выбранным алгоритмом поиска. Параллельно с режимом «Поиск» может быть включен режим «Фонового обзора». В этом режиме производится автоматический однократный или многократный обзор найденной частоты всеми контроллерами системы. При этом каждым из них возвращаются ответы, заданные оператором, например, значения пеленгов, диаграммы спектров, временные выборки сигналов для технического анализа, файлы демодулированных сигналов. Ответы сохраняются в базе данных. Режим «Обзор» аналогичен режиму «Фоновый обзор». Отличие состоит в том, что здесь обзор ведется по заданному оператором списку частот.

В режиме «Многоканальное пеленгование» производится одновременное пеленгование всеми станциями системы источников радиоизлучения в выбранном диапазоне или диапазонах частот.

В режиме «Пеленг» осуществляется пеленгование сигнала на выбранной частоте всеми контроллерами системы, отображается спектр от выбранного контроллера.

В режимах «Фоновый обзор», «Обзор», «Пеленг», «Многоканальное пеленгование» значения пеленгов, полос и

амплитуд запеленгованных сигналов передаются в программу СМО-КН на электронную карту. На рис. 7 показано окно программы СМО-КН. Белым кружком показано местоположение источника радиоизлучения, кружком с «галкой» – мобильный пеленгатор. Трасса движения мобильного пеленгатора отображается на карте сплошной белой линией. Координаты источников радиоизлучения вычисляются для всех выбранных оператором частот методом максимального правдоподобия или кластерным методом.

В режиме «Электронная карта» предусмотрено отображение трассы движения движущихся источников радиоизлучения по результатам их пеленгования. Имеется режим автоматического поточного определения координат источников радиоизлучения по значениям пеленгов, передаваемым на карту. Значения частот, пеленгов, полос, амплитуд сигналов, координат источников сохраняются в базах данных.

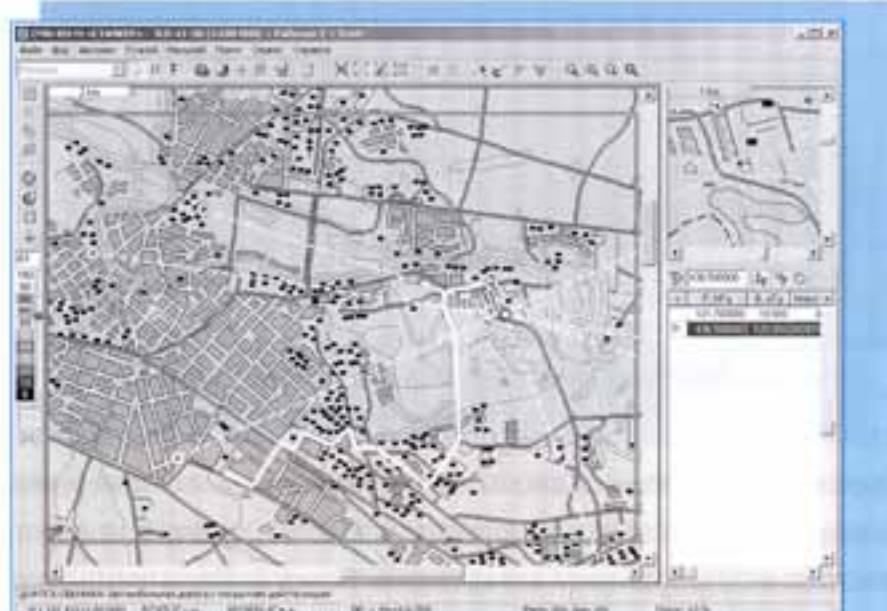


Рис. 7. Окно программы СМО-КН в режиме одновременного пеленгования ИРИ всеми станциями системы

На практике пеленгование источников радиоизлучения в условиях городской застройки одиночной мобильной станцией представляет сложную задачу из-за многолучевого распространения радиоволн в условиях возможного отсутствия прямой видимости. Стационарные пеленгаторы, антенны которых подняты на большую высоту, способны пеленговать слабые сигналы, которые мобильный пеленгатор с антенной системой, расположенный на высоте 2 – 3 м над землей, практически не принимает. Поэтому совместная работа мобильного пеленгатора со стационарными станциями значительно ускоряет время поиска источников радиоизлучения. Фактически задачей мобильной станции является только уточнение местоположения источника, т.е. выдвижение в район его расположения по координатам, полученным от стационарной системы, и определение расположения источника в непо-

средственной близости от него, зачастую в условиях прямой видимости.

Реализация системы АРК-ПОМ1

Дальнейшее изучение особенностей работы распределенной системы радиомониторинга проведем на конкретном примере системы АРК-ПОМ1, в настоящее время успешно действующей в одном из крупных городов России. Система АРК-ПОМ1 состоит из центральной станции и трех периферийных стационарных станций, в состав каждой из которых входит разворачиваемый радиопеленгатор для стационарного размещения АРТИКУЛ-С. Кроме того, в системе имеется мобильная станция АРГУМЕНТ, оснащенная пеленгатором АРТИКУЛ-М и панорамным измерительным приемником АРГАМАК-ИМ с набором измерительных антенн [10]. Структурная схема системы представлена на рис. 8.

Рис. 8 соответствует случаю, когда радиопеленгатор находится в том же здании, где расположен центральный пункт управления. Это делает возможным использование для обмена между ними внутренней локальной компьютерной сети 100 Мб/с. Скорость спектрального анализа аппаратуры, связанной по локальной сети 100 Мб/с, составляет около 3000 МГц/с. Использование внутренней высокоскоростной сети частично снижает трафик внешней оптоволоконной сети, по которой управляются две другие удаленные станции, что может оказаться полезным, если используются арендованные оптоволоконные линии связи, оплата которых зависит от скорости передачи.

Предусмотрен вариант перемещения центрального пункта управления в другое здание, например в центральный офис службы радиоконтроля. В этом случае структурная схема системы приобретает вид, показанный на рис. 9. В данном случае приемлемой скоростью передачи по внешней оптоволоконной сети является скорость около 10 Мб/с, но при такой скорости в сети скорость спектрального анализа на периферийных станциях снижается до 1200 – 1500 МГц/с. Для того чтобы пеленговать источники радиоизлучения в пределах всего города с максимальной точностью, целесообразно выбрать расположение станций в вершинах равностороннего треугольника, которые находятся на границах города. Однако это не всегда возможно. На рис. 10 показано расположение периферийных станций. Как видим, они образуют неправильный треугольник со сторонами 5,48, 2,92, 6,22 км. Такая форма обусловлена наличием высотных зданий, доступных для установки радиопеленгаторов.

На фото 12 – 15 показано размещение антенных систем и элементы оборудования периферийных станций. Конструкция разворачиваемых пеленгаторов АРТИКУЛ-С такова, что без потери чувствительности пеленгатора возможно использование кабеля снижения длиной до несколь-

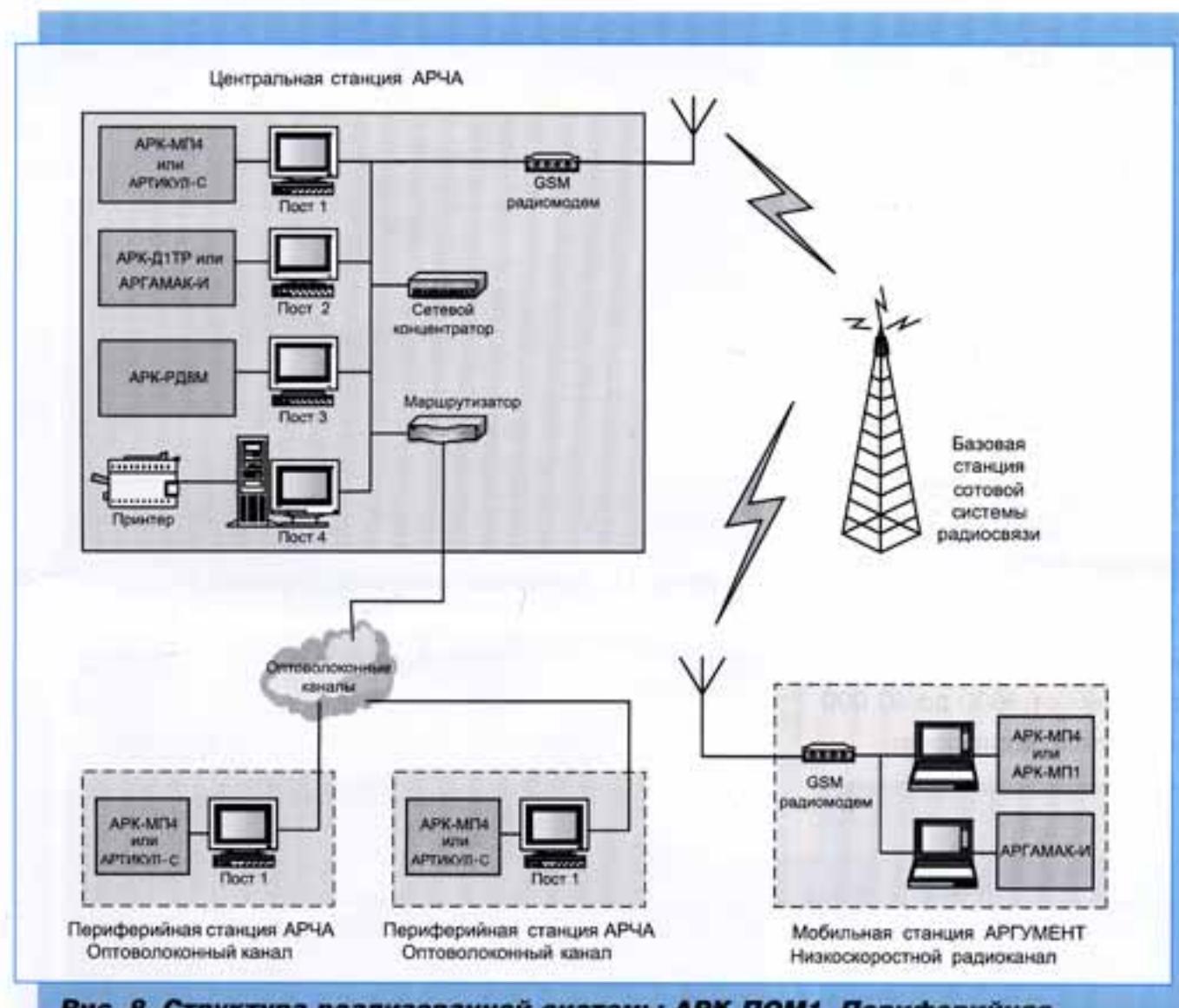


Рис. 8. Структура реализованной системы АРК-ПОМ1. Периферийная станция совмещена с центральной станцией

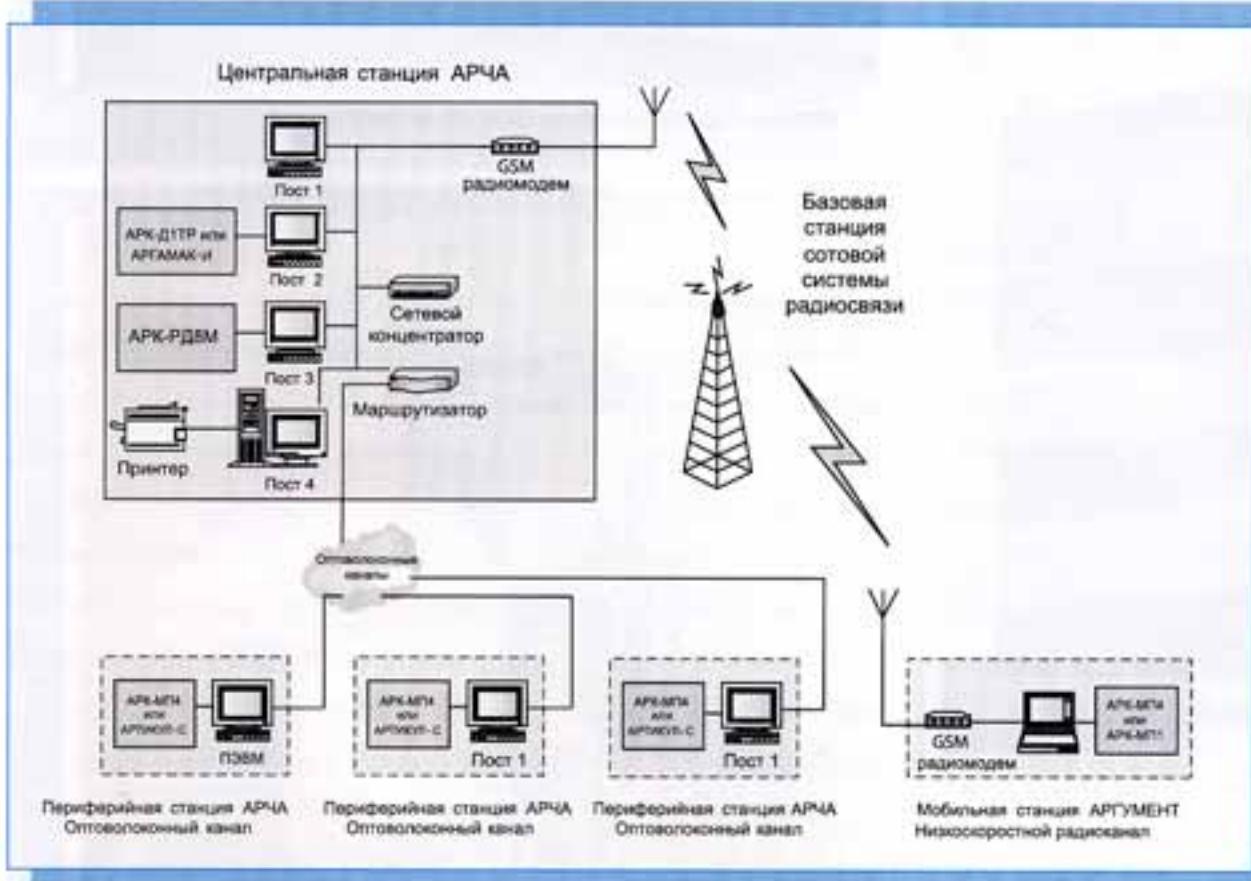


Рис. 9. Структура реализованной системы АРК-ПОМ1. Центральная станция расположена в отдельном здании

в том числе и на первом, этаже здания.

Периферийные станции системы управляются дистанционно, расположены в небольших технических помещениях и работают без обслуживающего персонала. На фото 13 показан вариант размещения оборудования в техническом помещении для необслуживаемой периферийной станции. Слева вдоль стены установлен блок аналого-цифровой обработки оборудования АРТИКУЛ-С и блок сетевого питания, справа ПЭВМ, на которой работает программа-контроллер и к которой подключена оптоволоконная сеть.

На фото 16 показано рабочее место оператора поста радиомониторинга, пеленгования и местоопределения ИРИ центральной станции. На посту используются две ПЭВМ, одна для управления станциями системы, вторая – для электронной карты.

На посту используются две ПЭВМ, одна для управления станциями системы, вторая – для электронной карты.

Особенности узкополосного радиоканала

Для обмена данными с мобильной станцией желательно использовать быстродействующие линии связи, в этом случае скоростные возможности аппаратуры мобильной станции будут использованы максимально полно. Однако на практике в настоящее время, как правило, приходится довольствоваться узкополосными радиоканалами с пропускной способностью не более 30 кб/с, поскольку существующие высокоскоростные системы передачи данных в мобильных вариантах использо-

ваний сотен метров. Это позволяет размещать блок аналого-цифровой обработки, ПЭВМ, источник бесперебойного питания и оборудование для передачи данных на любом,

вить затруднительно ввиду отсутствия прямой видимости между центральной и мобильной станцией, невозможности использования направленных антенн в движении. По-



Рис. 10. Расположение станций АРЧА

этому для связи с мобильными станциями обычно используют автономные узкополосные радиосистемы передачи данных со скоростью передачи данных от 9600 до 40 000 бит/с или радиомодемы сотовых систем радиосвязи.



Фото 10. Периферийная станция 1

В рассматриваемом случае район действия системы АРК-ПОМ находится в зоне покрытия GSM сотовой радиосвязи, поэтому для передачи данных между центральной стационарной станцией и мобильной станцией используется GSM-радиоканал. Подобное решение имеет определенные преимущества:

- + нет необходимости в разрешении на использование диапазона радиочастот и дорогих автономных радиомодемах;



Фото 11. Антennaя система станции 1



Фото 12. Периферийная станция 2

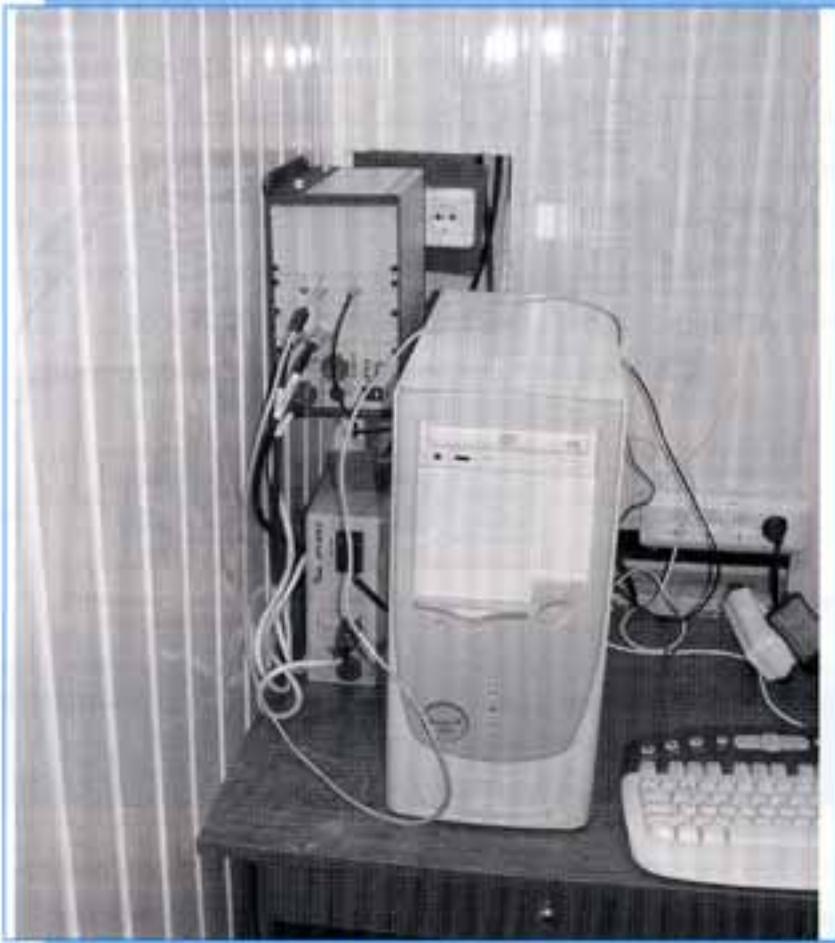


Фото 13. Аппаратура периферийной станции 2



Фото 14. Периферийная станция 3



Фото 15. Периферийная станция 3. Антennaя система

- + очень малый вес и габариты радиооборудования;
 - + огромная дальность действия, которая определяется зоной покрытия системы сотовой радиосвязи.
- Имеется и недостаток, связанный с необходимостью оплаты услуг оператора сотовой связи.



Фото 16. Центральная станция АРЧА. Пост радиомониторинга, пеленгования и местоопределения источников радиоизлучения

Для передачи данных применены GSM-радиомодемы «Siemens MC35i», внешний вид которого показан на фото 17.

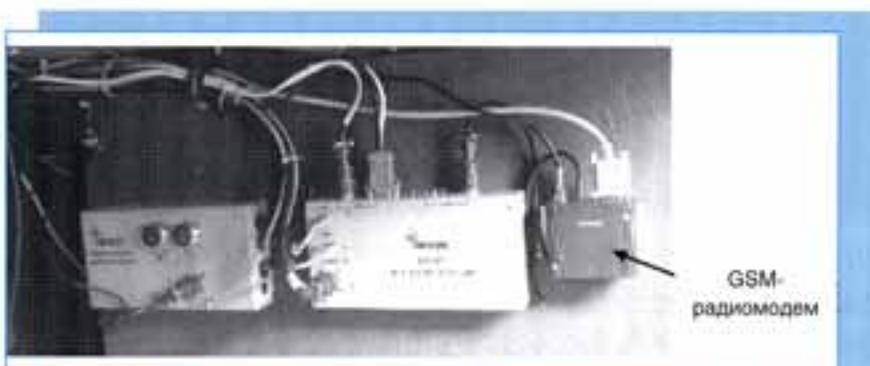


Фото 17. Размещение GSM-радиомодема, блока интерфейса и щитка питания рабочего места 1

Несмотря на высокие потенциальные возможности технологии GPRS, для передачи данных применен режим с коммутацией каналов. К недостаткам GPRS следует отнести непостоянную скорость передачи данных, которая зависит от степени загруженности сотовой сети. На практике скорость передачи данных обычно колеблется в пределах 900 – 7000 бит/с, а иногда падает до нуля. Кроме того, требуется наличие сервера с известным сетевым адресом для соединения станций по протоколу TCP/IP, что также представляет серьезную трудность.

Поэтому в системе между двумя радиомодемами в реальном времени использован режим передачи данных с коммутацией каналов типа «точка-точка». При этом скорость передачи равна пропускной способности голосового канала 9600 бит/с. Для уменьшения трафика используется протокол передачи со сжатием данных.

Любая станция в рассматриваемой системе может работать автономно или в системе под управлением центральной станции. В автономном режиме на станции необходимо присутствие оператора. При работе в системе наличия

операторов на периферийных станциях не требуется, при этом возможны следующие варианты:

❶ центральной станцией является стационарная станция, мобильная станция работает в системе как периферийная;

❷ центральной станцией является мобильная станция.

Во втором случае по одному и тому же низкоскоростному GSM-каналу данные передаются от всех станций системы. Несмотря на то что предприняты серьезные меры по сжатию и сокращению передаваемых данных, некоторые режимы становятся физически нереализуемыми, например передача звуковых файлов или временных выборок. Но основные режимы распределенной системы, связанные с пеленгованием, измерением напряженности поля и параметров сигналов, реализуются практически без изменений.

В качестве примера на рис. 11 показано окно программы СМО-ППК в режиме одноканального пеленгования для случая, когда центральной станцией, управляющей работой всей системы, назначена мобильная станция.

Рис. 11 соответствует случаю пеленгования распределенной системой сигнала радиорелейной станции на частоте 436,5 МГц. Пеленгование производится по полосе сигнала шириной 1 МГц. В окне программы справа отображаются четыре лимба, которые соответствуют (слева направо): собственно мобильному пеленгатору и стационарным станциям. На диаграммах слева от лимбов (слева направо) отображаются истории амплитуд и пеленгов для всех станций. Ниже на диаграмме отображается текущий спектр сигнала, принятого мобильным пеленгатором. Как видим, история амплитуд и история пеленгов от стационарных пеленгаторов представляют собой практически прямые линии, что говорит об устойчивом пеленговании источника. В то же время амплитуда и пеленг от мобильного пеленгатора меняются, поскольку при движении меняется ориентация автомобиля, сигнал подвержен флуктуациям из-за изменения условий распространения.

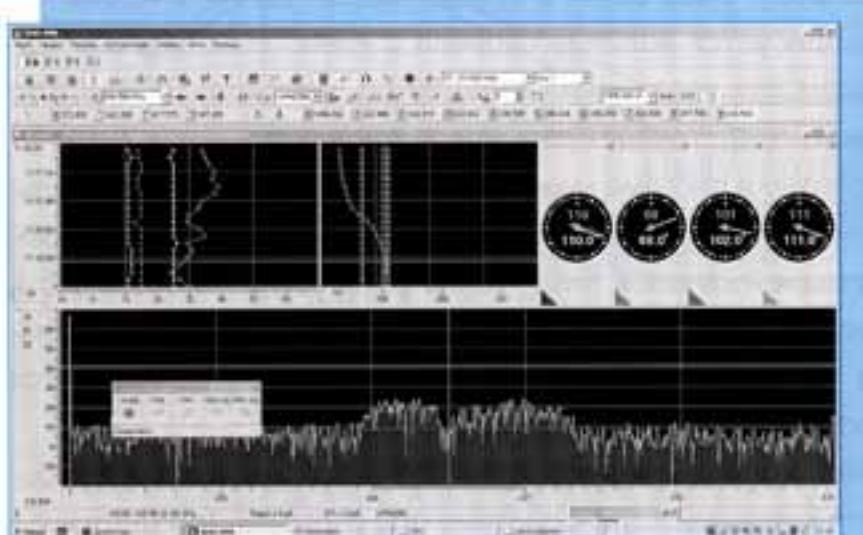


Рис. 11. Режим «Пеленг». Мобильная станция является центральной

Проверка предельной дальности пеленгования

Чувствительность по полю радиопеленгаторов определяется его паспортными данными и результатами полигонных испытаний, но на практике часто возникает простой вопрос: «А на каком расстоянии будет пеленговаться источник радиоизлучения мощностью, например, 5 Вт?» Очевидно, точный ответ на этот вопрос зависит от конкретных условий распространения радиоволн, но даже частные результаты испытаний могут охарактеризовать эксплуатационные возможности системы.

При вводе в эксплуатацию системы был проведен следующий эксперимент. Мобильная станция пеленгования АРГУМЕНТ выступала в роли центральной станции и управляла работой всей системы. Она имела на борту портативную радиостанцию Motorola GP-344 со штатной антенной. Паспортная мощность радиостанции составляла 4 Вт, частота излучения 417,5 МГц. Внешний вид радиостанции показан на фото 18. Станция АРГУМЕНТ удалялась от города, расстояние от нее до стационарных пеленгаторов контролировалось с помощью системы навигации. На остановках радиостанция выставлялась в окно автомобиля и включалась на передачу. Каждая стационарная станция пеленговала радиостанцию, значения пеленгов фиксировались, по спектру определялось отношение сигнал/шум. Результаты испытаний сведены в табл. 2, и проиллюстрированы рис. 12 – 14.

Как и следовало ожидать, с увеличением расстояния уровень пеленгуемого сигнала уменьшался (табл. 2). Отношение сигнал/шум на первой стоянке на станции 2 было на 4 дБ меньше, чем на станции 3, несмотря на то что автомобиль находился ближе к станции 2. Эта закономерность сохранилась и для других остановок. Возможно, меньшее значение сигнала/шум в полосе пеленгуемого сигнала вызвано более низким расположением антенной системы станции 2 над крышей здания (фото 12).

На шестой остановке, при удалении от автомобиля от станции 2 почти на 28 км, пеленгование этой станцией прекратилось. При этом на двух других станциях способность пеленговать сохранилась, расстояние до них равнялось 22,45 и 27,25 км. Возможно прекращение пеленгования ИРИ станцией 2 обусловлено той же причиной, что и уменьшенное значение отношения сигнал/шум, а именно, низким расположением антенной системы станции над крышей здания.

Как известно, предельная дальность распространения радиоволн над ровной земной поверхностью в диапазоне дециметровых волн примерно равна $d = 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$, где h_1 и h_2 – высота антенных систем над уровнем земли. Принимая высоту подъема антенны радиопеленгатора равной 50 м, а высоту подъема радиостанции 2,5 м, получим предельную дальность 30,8 км. Таким образом, мак-

симальное расстояние 27,25 км, при котором еще возможно пеленгование, оказывается близким к предельной дальности распространения, что подтверждает высокую эксплуатационную чувствительность радиопеленгаторов.

Особенности пеленгования источников радиоизлучения мобильной станцией в автономном режиме

Несмотря на высокую чувствительность стационарных пеленгаторов, зона их действия ограничена. Поэтому при значительном удалении мобильной станции приходится определять местоположение источников радиоизлучения автономно, без помощи стационарных пеленгаторов. В мобильных станциях АРГУМЕНТ для определения местоположения источников используется несколько методов [9]:

- + метод привода;
- + квазистационарный метод;
- + метод вычисления координат источников в движении.

Кроме того, возможны комбинированные методы, когда два или три перечисленных метода работают одновременно.

Метод привода основан на движении мобильного пеленгатора в зону расположения источника радиоизлучения по направлению пеленга. С уменьшением расстояния до источника увеличивается амплитуда пеленгуемого сигнала, что служит дополнительным признаком движения пеленгатора в правильном направлении. При использовании метода привода обычно используется одноканальный режим пеленгования источника.

Квазистационарный метод основан на получении нескольких пеленгов из фиксированных точек, которые находятся на значительном удалении от объекта.

При вычислении координат источников в движении мобильная станция производит непрерывное пеленгование источников радиоизлучений, и вся совокупность пеленгов



**Фото 18. Портативная связная радиостанция
Motorola GP-344, мощность 4 Вт**

от начала сеанса используется для расчета местоположения источников. В процессе сеанса работы по мере накопления пеленгов координаты источников уточняются. К достоинствам метода вычисления координат источников при движении относятся возможность работы станции в режиме многоканального пеленгования, одновременного расчета местоположения нескольких источников радиоизлучения, непрерывность взятия пеленгов, что позволяет локализовать источники, которые редко выходят в эфир. Начиная с 2006 г. в программу СМО-КН включен новый алгоритм вычисления координат источников радиоизлучения в движении – амплитудно-угломерный метод. Метод основан на одновременном использовании пеленгов и оценки напряженности электромагнитного поля от источника радиоизлучения. Его главные достоинства – возможность определять местоположение источника радиоизлу-

Таблица 2

Станция	Номер остановки	Расстояние от станций до автомобиля, км	Отношение сигнал/шум, дБ	Пеленгование
1		1,78	31	Есть
2	1	6,97	8	Есть
3		7,35	12	Есть
1		5,29	19	Есть
2	2	10,55	3	Есть
3		10,25	20	Есть
1		9,39	12	Есть
2	3	14,56	2	Есть
3		13,92	8	Есть
1		13,67	11	Есть
2	4	18,95	3	Есть
3		18,31	8	Есть
1		18,13	11	Есть
2	5	23,42	2	Есть
3		22,86	10	Есть
1		22,42	8	Есть
2	6	27,95	–	Нет
3		27,25	4	Есть

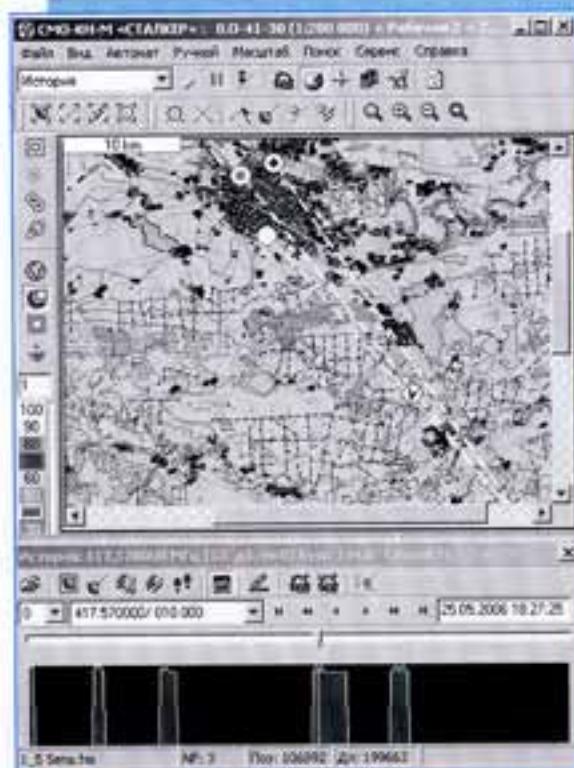


Рис. 12. Остановка 2. Расстояние от станции АРЧА 3 до автомобиля 10,25 км



Рис. 13. Остановка 5. Расстояние от станции АРЧА 3 до радиостанции 22,86 км



Рис. 14. Расстояние от станции АРЧА 3 до радиостанции 27,25 км

чения, когда база пеленгования мала, например, когда мобильная станция движется по направлению к источнику, наглядное отображение сектора или зоны наиболее вероятного расположения источника даже в условиях сильной интерференции. На рис. 15, 16 показаны окна программы СМО-КН для случая определения мобильной станцией координат источника радиосигнала на частоте 436,5 МГц. Как видим, уже в начале движения станции на электронной карте отображается сектор наиболее вероятного расположения источника. Далее по мере движения автомобиля сектор превращается в замкнутую область, расчетная точка (на карте – белый кружок) все ближе перемещается к точке действительного расположения источника.

Амплитудно-угломерный метод имеет высокую эффективность определения координат источников радиоизлучения, особенно в условиях интерференции, при движении мобильной станции по кратчайшему маршруту на источник радиоизлучения, в условиях городской застройки.

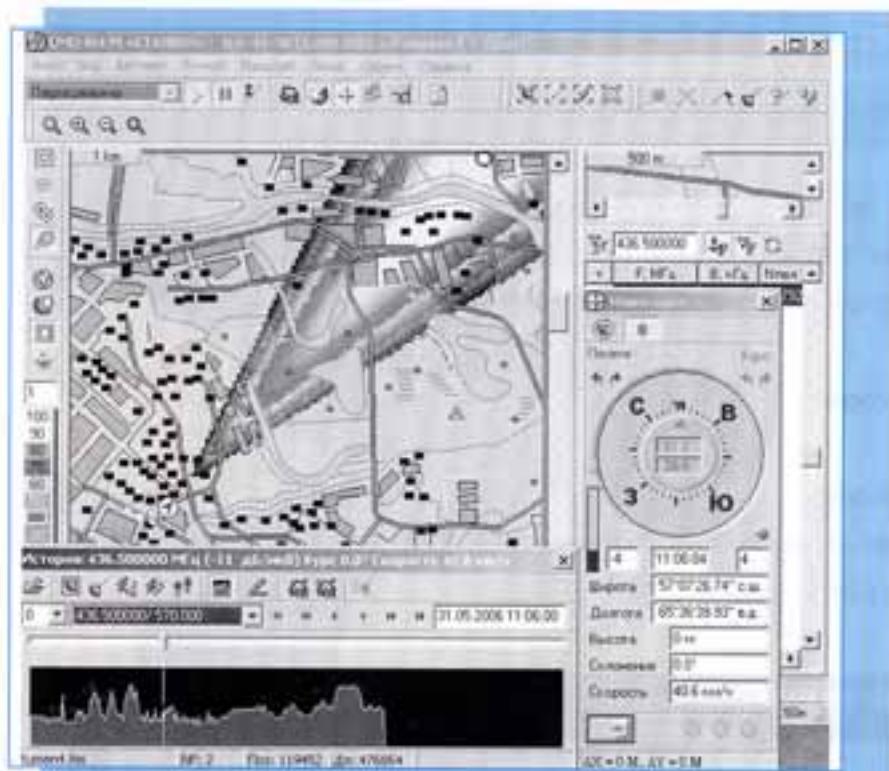
Заключение

В настоящей статье рассмотрен состав, построение, организация управления и функции аппаратуры и программного обеспечения многопозиционных систем АРК-ПОМ. Показано, что подобные системы могут создаваться на основе трех типов станций: стационарных, мобильных и портативных разворачиваемых.

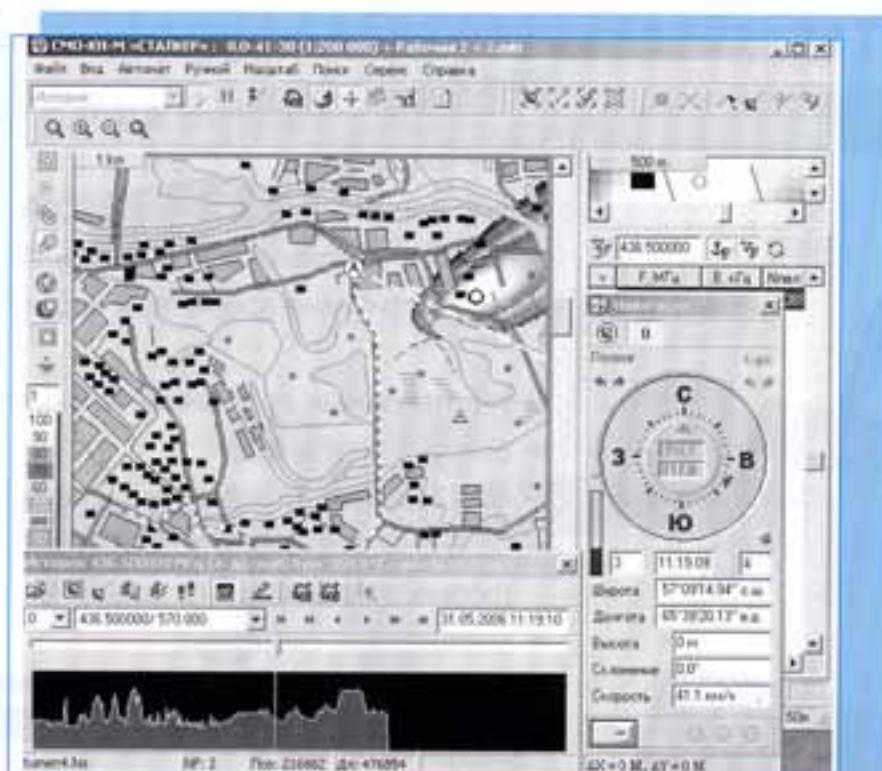
Фактор, определяющий работоспособность многопозиционной системы, – это надежная система передачи данных. Для обмена данными между стационарными постами целесообразно использовать высокоскоростные каналы передачи данных, а для организации связи с мобильными и разворачиваемыми постами – низкоскоростные

системы. В последнем случае в зависимости от требований и назначения системы возможно использование автономных узкополосных радиомодемов или радиомодемов сотовых систем радиосвязи. Периферийные посты системы работают в режиме дистанционного управления. Аппаратура, входящая в состав системы, имеет унифицированную конструкцию. Ее ядром является портативное цифровое панорамное радиоприемное устройство АРГАМАК. Его технические характеристики обеспечивают эффективность системы в целом. Несмотря на портативность исполнения отдельных устройств, система АРК-ПОМ имеет высокие скорости обзора и пеленгования, достаточную чувствительность и большой динамический диапазон. Унификация радиооборудования системы АРК-ПОМ обусловила использование на всех постах унифицированного пакета программного обеспечения. Это ускоряет инсталляцию постов системы, упрощает обучение операторов и облегчает работу. Программное обеспечение системы АРК-ПОМ реализует все необходимые функции пеленгования, местоопределения, измерения параметров ИРИ с произвольными видами передачи, поддерживает удаленное управление постами системы как по высокоскоростным, так и по низкоскоростным каналам связи. В последнем случае используется сокращение объема передаваемой информации за счет сжатия данных.

Программное обеспечение системы реализует полноценный набор функций, позволяющих решать большинство задач радиомониторинга. Обработка и хранение значительных массивов информации, полученной от территориально распределенных постов, работа с картографическими, спектральными, временными данными в режимах



**Рис. 15. Амплитудно-угломерный метод.
Начало определения координат источника**



**Рис. 16. Амплитудно-угломерный метод.
Процесс определения координат источника
близится к завершению**

реального времени и отложенной обработки, а также дружественный интерфейс обеспечивают результативное использование системы ARK-POM для целей радиоконтроля. Управление работой системы может осуществляться от стационарного центрального поста или от мобильной станции. В то же время мобильная станция способна выполнять задачи локализации источников и измерения напряженности электромагнитного поля автономно от сети

стационарных пеленгаторов, при этом предпочтительным алгоритмом определения местоположения источников радиоизлучения является амплитудно-угломерный метод. Этот метод сочетает эффективность вычислений, наглядность отображения результатов и простоту использования при пеленговании в движении. C

Литература

1. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Радиомониторинг: задачи, методы, средства. – М.: Горячая линия, Телеком, 2006, с. 492.
2. Глазнев А.А., Козьмин В.А., Литвинов Г.В., Шадрин И.А. Многостанционные системы радиоконтроля и определения местоположения источников радиоизлучения.
3. Ашихмин А.В., Козьмин В.А., Рембовский А.М. Наземные мобильные комплексы радиоконтроля и пеленгования. Специальная техника, спец. выпуск, 2002, с. 30 – 41.
4. Ашихмин А.В., Козьмин В.А., Рембовский Ю.А. Портативная система радиомониторинга и определения местоположения источников радиоизлучения. Специальная техника, 2005, № 2, с. 27 – 35.
5. Ашихмин А.В., Козьмин В.А., Рембовский Ю.А. Управление аппаратурой и режимы работы портативной системы радиомониторинга и определения местоположения источников радиоизлучения. Специальная техника, 2005, № 3, с. 42 – 48.
6. Ашихмин А.В., Жуков А.А., Козьмин В.А., Шадрин И.А. Локализация источников радиоизлучения и измерение напряженности поля с помощью мобильной станции радиоконтроля. Специальная техника, спец. выпуск, 2003, с. 9 – 18.
7. Ашихмин А.В., Козьмин В.А., Токарев А.Б., Столкин В.М. Использование панорамного измерительного приемника ARK-D1TP в мобильных станциях радиомониторинга АРГУМЕНТ-И. Специальная техника, 2004, № 5, с. 38 – 49.
8. Ашихмин А.В., Козьмин В.А., Кочкин Д.Е., Чубов Е.А. Использование цифрового измерительного приемника АРГАМАК-ИМ для измерения напряженности поля в мобильных станциях радиомониторинга. Специальная техника, 2006, № 3, с. 35 – 44.
9. Ашихмин А.В., Жуков А.А., Козьмин В.А., Шадрин И.А. Локализация источников радиоизлучения и измерение напряженности поля с помощью мобильной станции радиоконтроля. Специальная техника, 2003, спец. вып., с. 9 – 18.
10. Ашихмин А.В., Козьмин В.А., Кочкин Д.Е., Чубов Е.А. Использование цифрового измерительного приемника АРГАМАК-ИМ для измерения напряженности поля в мобильных станциях радиомониторинга. Специальная техника, 2006, № 3, с. 35 – 44.