

**УПРАВЛЕНИЕ АППАРАТУРОЙ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ПОРТАТИВНОЙ СИСТЕМЫ  
РАДИОМОНИТОРИНГА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ  
РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ**

**Ашихмин Александр Владимирович,**  
кандидат технических наук

**Козьмин Владимир Алексеевич,**  
кандидат технических наук, доцент

**Рембовский Юрий Анатольевич,**  
кандидат физико-математических наук

Данная работа является продолжением статьи [1], в которой были изложены общие принципы построения портативной системы радиомониторинга и определения местоположения источников радиоизлучения (ИРИ) АРК-ПОМЗ, особенности ее главной составной части – радиоприемной аппаратуры мониторинга и пеленгования. В настоящей статье рассматриваются вопросы взаимодействия территориально распределенных постов системы, а также особенности ее функционирования.

**Управление периферийными постами по радиоканалу**

Система АРК-ПОМЗ состоит из разворачиваемых центрального и периферийных постов. В состав постов входит приемная радиоаппаратура, а также средства обмена цифровыми данными [1]. Центральный пост кроме выполнения функций радиомониторинга и определения местоположения ИРИ обеспечивает дистанционное управление работой периферийных постов.

Для организации обмена данными в системе АРК-ПОМЗ используется радиосеть с топологией «звезда». Согласно этой топологии периферийные посты системы могут обмениваться данными только с центральным постом.

Центральный пост назначается главным. Его ПЭВМ управляет работой всей системы, обрабатывает и отображает информацию, поступающую от других постов. Работающее на ПЭВМ центрального поста, специальное математическое обеспечение панорамно-пеленгационного комплекса СМО-ППК, имеет диспетчерские функции управления удаленными постами радиоаппаратуры с использованием протокола ТСР/ІР. По командам, поступающим с центрального поста, программы-контроллеры периферийных постов управляют работой радиоаппаратуры и отправляют результаты радиоконтроля на центральный пост.

### **Использование высокоскоростных радиоканалов**

Современные высокоскоростные радиомодемы обеспечивают скорость передачи данных от 10 Мбит/с и выше. В этом случае на работу аппаратуры периферийных постов не накладывается ограничений, связанных с низкой скоростью передачи данных. Поддерживаются все возможные режимы аппаратуры, в том числе передача мгновенных спектров, временных выборок сигналов, звуковых файлов, корреляционных кривых в режиме пеленгования и т.п.

Однако, использование внешних высокоскоростных радиомодемов в системе АРК-ПОМЗ оказывается не всегда возможным из-за их высокой стоимости, зачастую значительных габаритов направленных антенных систем, а также требования обязательного наличия в составе периферийного поста ПЭВМ.

### **Использование низкоскоростных радиоканалов**

Альтернативный вариант обмена данными состоит в использовании низкоскоростных радиоканалов передачи данных. Такие радиоканалы организуются с помощью радиомодемов, скорость передачи данных которых составляет обычно от 1200 до 25600 бит/с.

Многие радиостанции коммерческого и военного назначения имеют внешние модемы для передачи цифровых данных. В качестве примера можно назвать отечественные радиостанции семейства Акведук Р168Е, встроенные модемы которых способны передавать цифровые данные со скоростью до 16000 бит/с. Номенклатура специализированных узкополосных низкоскоростных радиомодемов, пригодных для использования в портативной системе также весьма широка, например, для этой цели подходят радиомодемы IntegraTR или T-96SR производства компании DataRadio.

На рисунке 1 показана система АРК-ПОМЗ, состоящая из трех постов. Рисунок соответствует случаю, когда периферийные посты оснащены ПЭВМ. В случае, когда ПЭВМ в составе периферийного поста нет, радиомодем подключается непосредственно к блоку аналого-цифровой обработки сигналов (БАЦО) [1] .

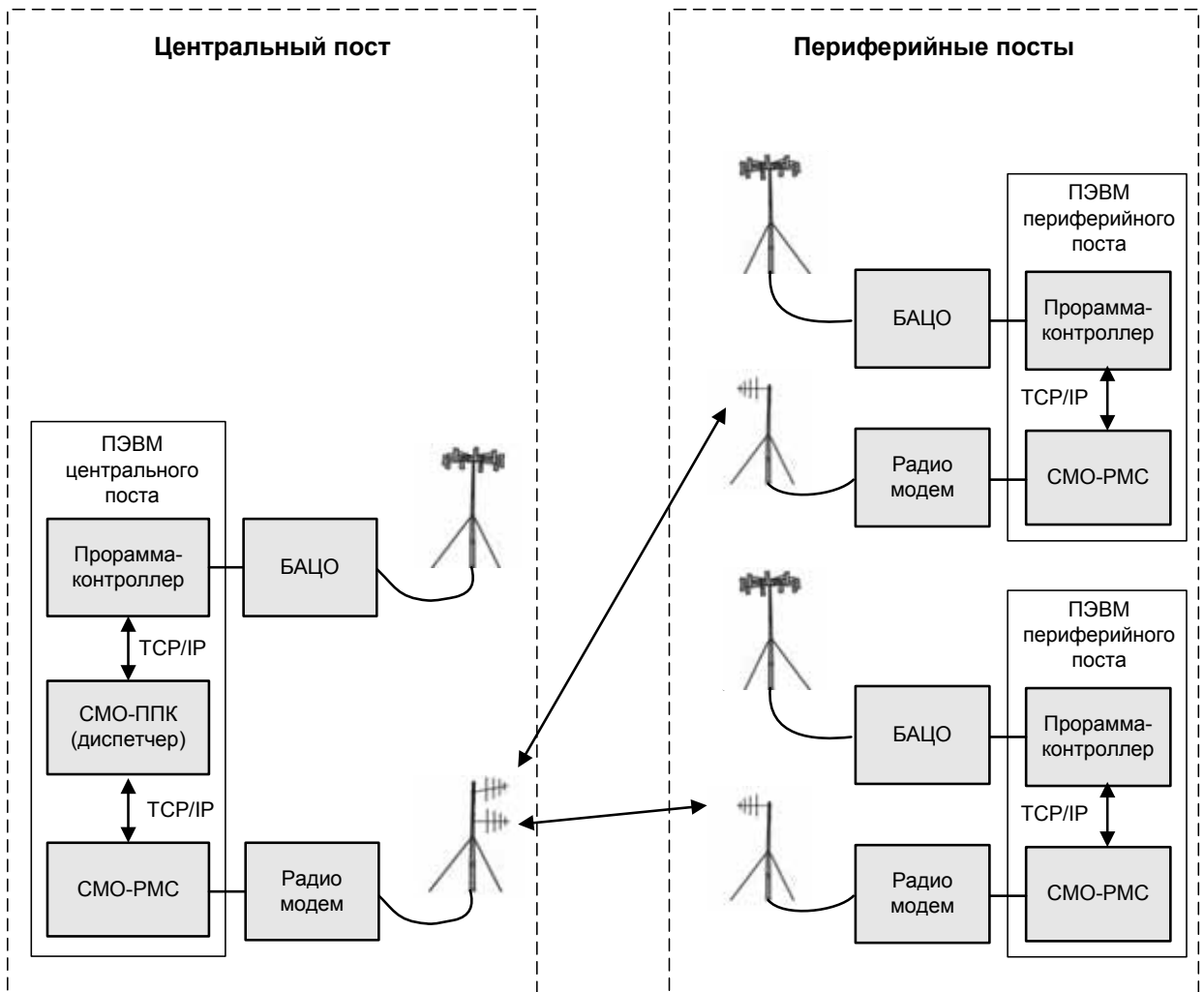


Рисунок 1. Управление периферийными постами

Программа СМО-РМС (специальное математическое обеспечение радиомодемой связи) управляет работой радиомодемов в соответствии с протоколом обмена, преобразует данные ТСР/IP в сжатую форму.

Типовое расстояние между постами составляет около 3-10 км, оно зависит от мощности используемых радиомодемов и, как правило, ограничено прямой видимостью между постами.

### SR-протокол для передачи данных по радиолинии

В радиостанциях и низкоскоростных автономных радиомодемах, обычно используются симплексный или полудуплексный метод передачи, при которых невозможно одновременно передавать и принимать информацию. Поэтому возникает дополнительное снижение скорости обмена из-за времени вхождения в связь при смене направления передачи данных от центрального поста к периферийному посту и наоборот. Типовое время вхождения в связь для узкополосных радиомодемов составляет от 30 до 150 миллисекунд. Чтобы ускорить скорость передачи данных по низкоскоростной радиолинии, для системы АРК-ПОМЗ разработан пакетный протокол, реализующий

метод селективного повтора SR (Selective Repeat). В протоколе учтены основные особенности узкополосной радиолинии:

- 1) линия обеспечивает последовательную передачу данных;
- 2) используется симплексная или полудуплексная передача;
- 3) вхождение в связь и изменение направления передачи занимает существенное время;
- 4) при передаче возможно искажение отдельных байтов.

Особенностью протокола является то, что данные передаются кадрами, состоящими из большого числа пакетов ограниченной длины. В каждом пакете передается его номер и контрольное значение CRC (Cyclic Redundance Check). На приемной стороне снова вычисляется контрольное значение пакета по принятым данным. Если вычисленное CRC не совпадает с переданным значением, то пакет считается сбойным. После окончания кадра направление передачи меняется: приемная сторона посылает в обратном кадре подтверждение о приеме, которое содержит номера неверно переданных пакетов, если такие были. Также здесь помещаются данные, которые с приемной стороны должны быть отправлены на передающую сторону. Таким образом, в одном кадре содержится как служебная информация о принятых пакетах, так и новые данные, за счет чего уменьшается количество вхождений в связь. Передача сбойных пакетов повторяется. Если все пакеты приняты без ошибок, то передача кадра завершена. Передающая сторона, не получившая подтверждения о приеме кадра в течение заданного промежутка времени (тайм-аута) после передачи, вторично посылает данный кадр. Для работы в сети, состоящей более чем из двух радиомодемов, в кадре, передаваемым центральным постом, содержится маркер, разрешающий ответ радиомодему с заданным номером.

Протокол селективного повтора минимизирует количество вхождений в связь и увеличивает пропускную способность радиолинии. Например, для радиолинии протяженностью 5 км на базе узкополосных модемов T-96SR, скорость передачи пеленгов возросла почти в два раза по сравнению с обычным блочным протоколом.

На рисунке 2 показан развернутый на складной мачте радиомодем периферийного поста системы АРК-ПОМЗ. Для увеличения дальности действия используется направленная антенна, сам радиомодем TR-965SR в специальном защитном кожухе закреплен на основании мачты (см. рисунок 3).

Если в системе имеется несколько периферийных постов, то реализуется метод организации радиосвязи «точка-многоточка». На центральном посту устанавливается ненаправленная антенна или несколько направленных антенн с согласующим устройством, подключенных к одному радиомодему. Периферийные посты принимают

все данные от центрального поста, но передавать результаты может только тот пост, номер которого совпадает с маркером, переданным центральным постом.



Рисунок 2. Радиомодем на мачте с направленной антенной



Рисунок 3. Радиомодем в защитном кожухе

### **Использование радиомодемов для мобильных сотовых систем радиосвязи**

В том случае, если район действия системы АРК-ПОМЗ находится в зоне покрытия системы сотовой радиосвязи, которая предоставляет услугу передачи данных, то еще один способ организации управления в системе основан на использовании радиомодемов для сотовых мобильных систем. Подобное решение имеет существенные достоинства:

- 1) в системах сотовой связи оконечное радиооборудование имеет небольшой вес и габариты, что весьма привлекательно для использования в портативной системе;
- 2) дальность действия определяется зоной покрытия системы сотовой радиосвязи;
- 3) как правило, не требуется мачт и направленных антенн.
- 4) возможен дуплексный метод передачи, при котором передача и прием ведутся одновременно, что вдвое повышает пропускную способность канала связи.
- 5) нет необходимости использовать SR-протокол передачи данных.

Соответственно имеются и некоторые недостатки:

- 1) если используется коммерческая сотовая радиосеть, то неизбежны затраты, связанные с необходимостью оплаты услуг оператора сотовой связи;
- 2) имеется зависимость работоспособности системы АРК-ПОМЗ от работоспособности сотовой системы радиосвязи и ее зоны покрытия.

В настоящее время большое распространение получили системы сотовой радиосвязи стандарта GSM. В этих системах активно используется технология GPRS (General Packet Radio Service), предназначенная для пакетной передачи данных по радиоканалам. Теоретически, при использовании всех возможностей сотовой системы, скорость передачи данных может превышать 100 кбит/с, но практически она очень сильно зависит от степени загруженности мобильной сети и особенностей оператора, предоставляющего услуги. Кроме того, GPRS предполагает обязательное наличие ПЭВМ в составе периферийного поста, что не всегда возможно. Поэтому, в системе АРК-ПОМЗ для передачи данных используется прямая коммутация каналов. Такой метод позволяет осуществлять соединение типа точка-точка между центральным и каждым из периферийных постов. Передача данных происходит в дуплексном режиме со скоростью 9600 бит/с, что вполне приемлемо для работы системы.

### **Выбор предпочтительного варианта для передачи данных**

Таким образом, в системе АРК-ПОМЗ можно использовать три варианта организации радиообмена между постами:

- 1) с помощью высокоскоростных радиомодемов;
- 2) с помощью низкоскоростных радиомодемов, работающих автономно;
- 3) с помощью радиомодемов сотовых систем радиосвязи.

Какой вариант предпочтительнее? Очевидно, он определяется многими факторами, начиная от стоимости системы, конкретными требованиями к ней и заканчивая условиями ее эксплуатации. По мнению авторов статьи, высокоскоростные радиомодемы больше подходят для постов, разворачиваемых на длительное время, они обеспечивают на периферийных постах выполнение всех возможных функций аппаратуры и программного обеспечения. Для системы военного назначения больше подходят автономные радиомодемы или радиомодемы военных радиосистем связи и управления. Для гражданских систем предпочтителен вариант управления на основе модемов сотовых систем коммерческого назначения.

Любой из трех вариантов обмена данными позволяет увеличивать количество стационарных постов системы и вводить в ее состав мобильные станции радиомониторинга и пеленгования, работающие в движении.

### **Программное обеспечение системы АРК-ПОМЗ**

Минимальный комплект программного обеспечения состоит из трех программных пакетов специального математического обеспечения СМО-ППК, СМО-РМС и СМО-КН «Сталкер». Пакет специального математического обеспечения панорамного анализа и

пеленгования СМО-ППК содержит программу СМО-ППК и программу контроллер аппаратуры.

Пакет СМО-РМС (связь по радиомодемам) отвечает за передачу данных между постами с помощью низкоскоростных радиомодемов, а также модемов CDMA или GSM сотовых радиосетей. Кроме того, программа СМО-РМС обеспечивает контроль исправности линии связи и обмен текстовыми сообщениями между операторами периферийных постов и оператором центрального поста. Вид окна программы СМО-РМС представлен на рисунке 4.

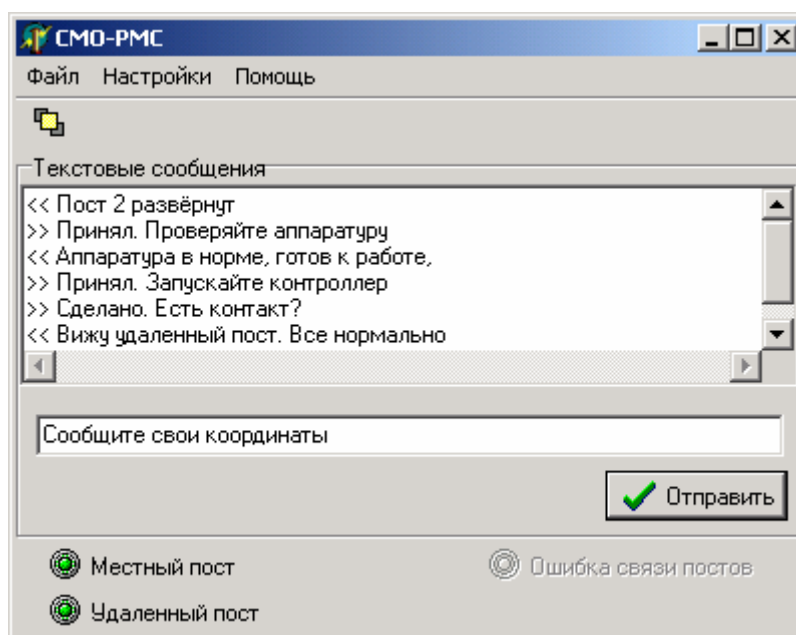


Рисунок 4. Внешний вид главного окна программы СМО-РМС

В случае использования высокоскоростных линий радиосвязи необходимость в программе СМО-РМС отпадает, поскольку обмен между программой СМО-ППК и удаленными контроллерами осуществляется непосредственно по протоколу TCP/IP.

Пакет СМО-КН (картографии и навигации) «Сталкер» обеспечивает работу с электронной картой местности, прокладку пеленгов, автоматическое определение местоположения ИРИ по данным пеленгования, поступающим из программы СМО-ППК или введенных вручную.

Дополнительно в состав программного обеспечения могут входить программа обработки спектрально - пеленгационных данных СМО-АСПД и программа технического анализа радиосигналов СМО-СТА.

### **Особенности режимов работы системы АРК-ПОМЗ**

Вне зависимости от того, есть на периферийных постах ПЭВМ или их нет, программа СМО-ППК центрального поста поддерживает режимы: «Спектр», «Поиск», «Фоновое сканирование», «Панорама», «Воспроизведение», «Измерение» «Сканирование», «Пеленг» и «Многоканальное пеленгование». Назначение и

возможности этих режимов достаточно подробно рассматривалось в [2-3], поэтому в рамках настоящей статьи мы остановимся только на особенностях их выполнения в составе системы АРК-ПОМЗ.

При этом будем полагать, что управление работой периферийных постов происходит по низкоскоростным радиоканалам.

Режим «Спектр» предназначен для изображения спектральных панорам радиосигналов в заданных полосах частот. Для получения спектра можно использовать аппаратуру центрального или любого периферийного поста. При использовании аппаратуры центрального поста доступны все функции режима «Спектр», включая автоматический поиск новых сигналов, прослушивание и запись радиопередач. Если используется аппаратура периферийного поста, то доступно только отображение спектра в заданных диапазонах. При этом скорость отображения определяется пропускной способностью низкоскоростной радиолинии, она существенно меньше скорости спектрального анализа, выполняемого аппаратурой центрального поста.

В режиме «Спектр» имеется подрежим «Поиск», обеспечивающий поиск активных или новых источников радиосигналов [2]. В системе АРК-ПОМЗ этот режим целесообразно использовать совместно с режимом «Фоновое сканирование». При этом распределение задач между постами происходит следующим образом. Аппаратура центрального поста в соответствии с выбранным алгоритмом осуществляет поиск новых или активных в данный момент каналов радиосвязи. При обнаружении очередного активного канала процесс поиска кратковременно прерывается для однократного сканирования на частоте обнаруженного канала. При этом в качестве ответа, возвращаемого аппаратурой центрального поста, может быть задана любая комбинация из значения пеленга, «фотографии» спектра обнаруженного источника, звуковой выборки и временной выборки сигнала на промежуточной частоте. Периферийные посты для сокращения объема передаваемых данных могут возвращать только значение пеленга и амплитуды сигнала. После сканирования поиск возобновляется.

Режим «Пеленг» используется для получения на заданной частоте синхронных пеленгов от всех постов системы, прослушивания и записи радиопередач. В этом режиме аппаратура постов производит пеленгование ИРИ на одной частоте. На рисунке 5 показано окно программы СМО-ППК в режиме «Пеленг» для системы АРК-ПОМЗ, состоявшей из двух постов.



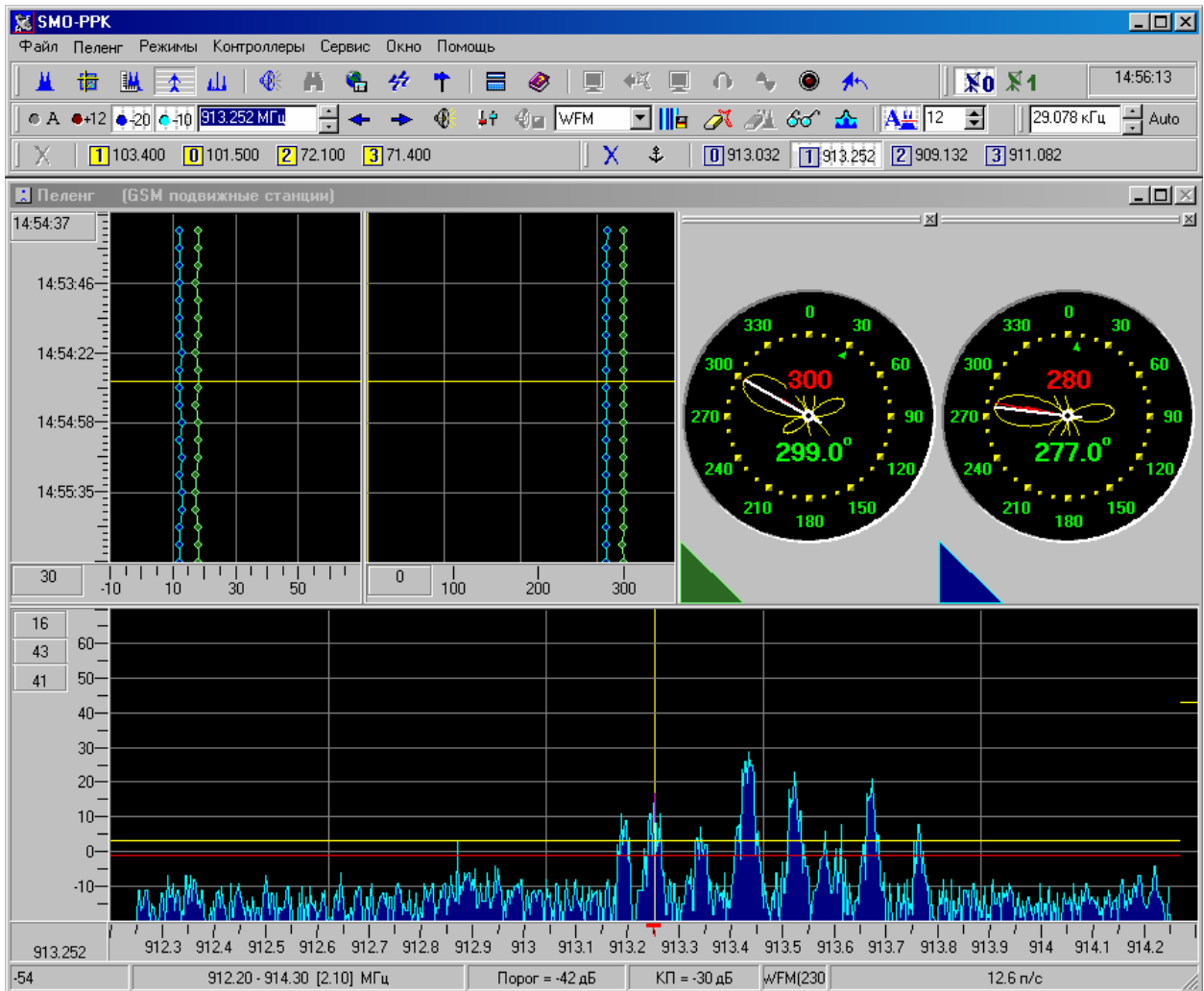


Рисунок 5. Режим «Пеленг»

На рисунке показано пеленгование базовой станции системы GSM, с центрального поста системы поступают значения спектров и пеленгов, с периферийного только значения пеленгов и амплитуд сигналов. На экране ПЭВМ отображается спектр, полученный с центрального поста и пеленги, поступающие со всех периферийных постов. Отображается история пеленгов и история амплитуд сигналов, что позволяет оценивать динамику изменения параметров ИРИ во времени. Возможно отображение спектра и от любого периферийного контроллера, но в этом случае скорость пеленгования резко уменьшится.

Режим «Пеленг» предназначен для синхронного пеленгования ИРИ с заданной оператором центральной частотой и шириной полосы спектра. Скорость поступления пеленгов от периферийного поста зависит от качества радиолинии. При симплексном режиме радиосвязи и использовании автономных радиомодемов со скоростью передачи данных 19200 бит/с от периферийного поста можно получать 5-8 пеленгов в секунду.

Режим «Сканирование» отличается от фонового сканирования тем, что в нем производится циклическое сканирование ИРИ в соответствии с заданным списком частот.

Если периферийные посты системы имеют в своем составе ПЭВМ, то особое значение в системе АРК-ПОМЗ приобретает режим «Многоканальное пеленгование». Этот режим поддерживается в режиме "Спектр" как разновидность поиска активных каналов. Режим предназначен для автоматического пеленгования активных источников радиоизлучения в заданном диапазоне (или диапазонах частот).

При многоканальном пеленговании аппаратура постов последовательно перестраивается по частоте от нижней границы до верхней границы задания. Шаг перестройки равен полосе пропускания тракта цифровой обработки, которая в зависимости от модификации приемников составляет 2, 5 или 10 МГц. На каждой частоте настройки сигнальный процессор приемника вычисляет комплексные спектры сигналов во всей полосе пропускания. По вычисленным комплексным спектрам производится обнаружение и пеленгование сигналов всех активных ИРИ. Для каждого ИРИ оценивается центральная частота, полоса, амплитуда спектральных составляющих сигнала, азимут и угол прихода радиоволны.

Скорость получения панорамы пеленгов зависит от быстродействия радиоприемной аппаратуры и алгоритма пеленгования. Для аппаратуры на базе приемников «АРГАМАК» с полосой пропускания 5 МГц и девятиэлементной приемной антенной решеткой, при пеленговании сигналов на уровне чувствительности приемника, она составляет не менее 200 МГц/с. При этом, в одной полосе 5 МГц может оказаться до 200 запеленгованных источников с шириной спектра 25 кГц. Передавать по низкоскоростным радиолиниям весь объем данных, полученных периферийными постами в ходе многоканального пеленгования, становится практически невозможным. Поэтому результаты многоканального пеленгования на периферийных постах, в сжатом виде записываются в виде специальных файлов спектрально-пеленгационных данных (СПД-файлов).

Передача результатов пеленгования от периферийных постов системы на центральный пост осуществляется только по запросу центрального поста. В запросе указывается временной интервал, для которого требуется передать пеленги, а также частота и полоса сигнала. На практике эта операция осуществляется следующим образом. На центральном посту результаты многоканального пеленгования, полученные от аппаратуры центрального поста, отображаются в таблице базы данных окна "Поиск". Оператор выбирает в окне «Поиск» частоту нужного ИРИ и комбинацией «горячих» клавиш подает команду на передачу пеленгов от периферийных постов. На периферийных постах «нужные» пеленги извлекаются из СПД-файлов и передаются на центральный пост.

На рисунке 6 представлено окно программы СМО-ППК в режиме «Многоканальное пеленгование» для системы АРК-ПОМЗ, состоящей из двух постов. В окне отображается таблица обнаруженных каналов, значение пеленгов, текущий спектр в диапазоне пеленгования.

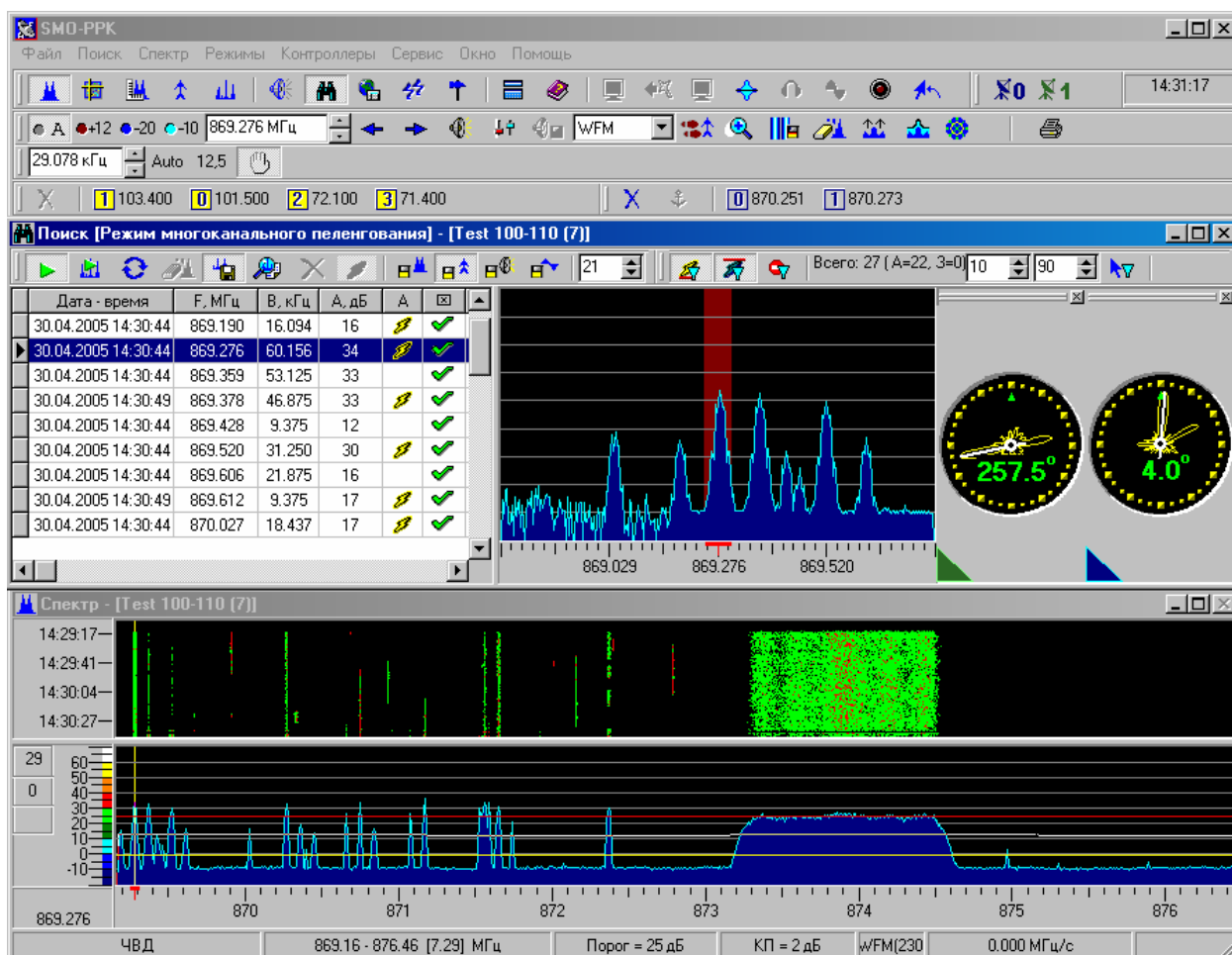


Рисунок 6. Окно программы СМО-ППК в режиме «Многоканальное пеленгование»

Режим «Многоканальное пеленгование» обеспечивает автоматическое пеленгование всех ИРИ, частоты которых соответствуют установленному заданию. Режим удобен для вскрытия и длительного мониторинга радиоэлектронной обстановки.

Для дополнительной отложенной обработки СПД-файлов, накопленных на постах системы, используется программа СМО-АСПД. Она отображает спектральные и пеленгационные данные в виде соответствующих диаграмм с регулируемым разрешением по частоте, времени и сектору углов. С ее помощью можно производить поиск ИРИ по времени, частоте или в заданном секторе азимутальных углов, проводить оценку интенсивности радиосвязи и определять загрузку различных радиодиапазонов. Окно программы СМО-АСПД изображено на рисунке 7.

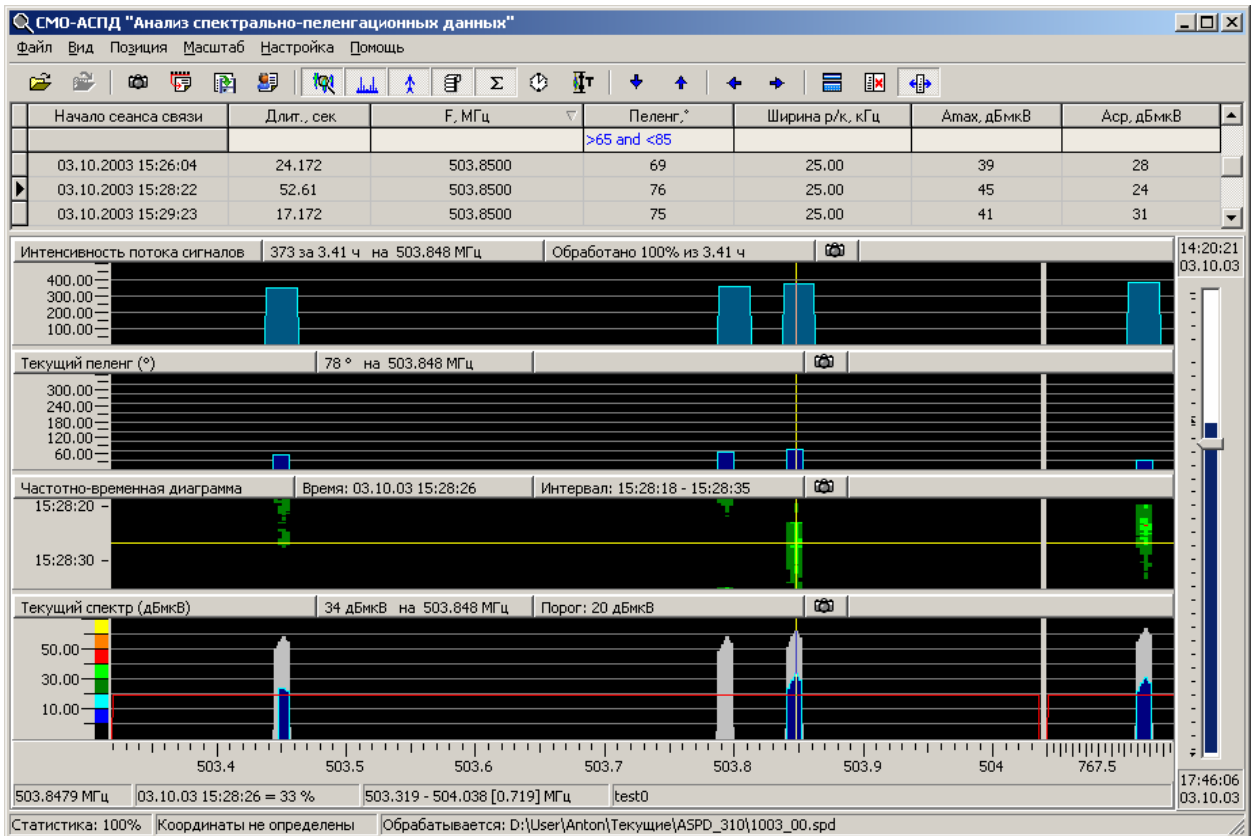


Рисунок 7. Окно программы СМО-АСПД в режиме пост-обработки СПД-файла

Результаты пеленгования из программы СМО-ППК передаются в картографическое приложение СМО-КН «Сталкер», которое представляет собой специализированную геоинформационную систему. Программа показывает местоположение ИРИ, их маршруты движения (в случае мобильных источников), фиксирует в файле истории положения пеленгаторов и принимаемые пеленги. На рисунке 8 показано окно программы СМО-КН «Сталкер» с результатами определения местоположения стационарного ИРИ.

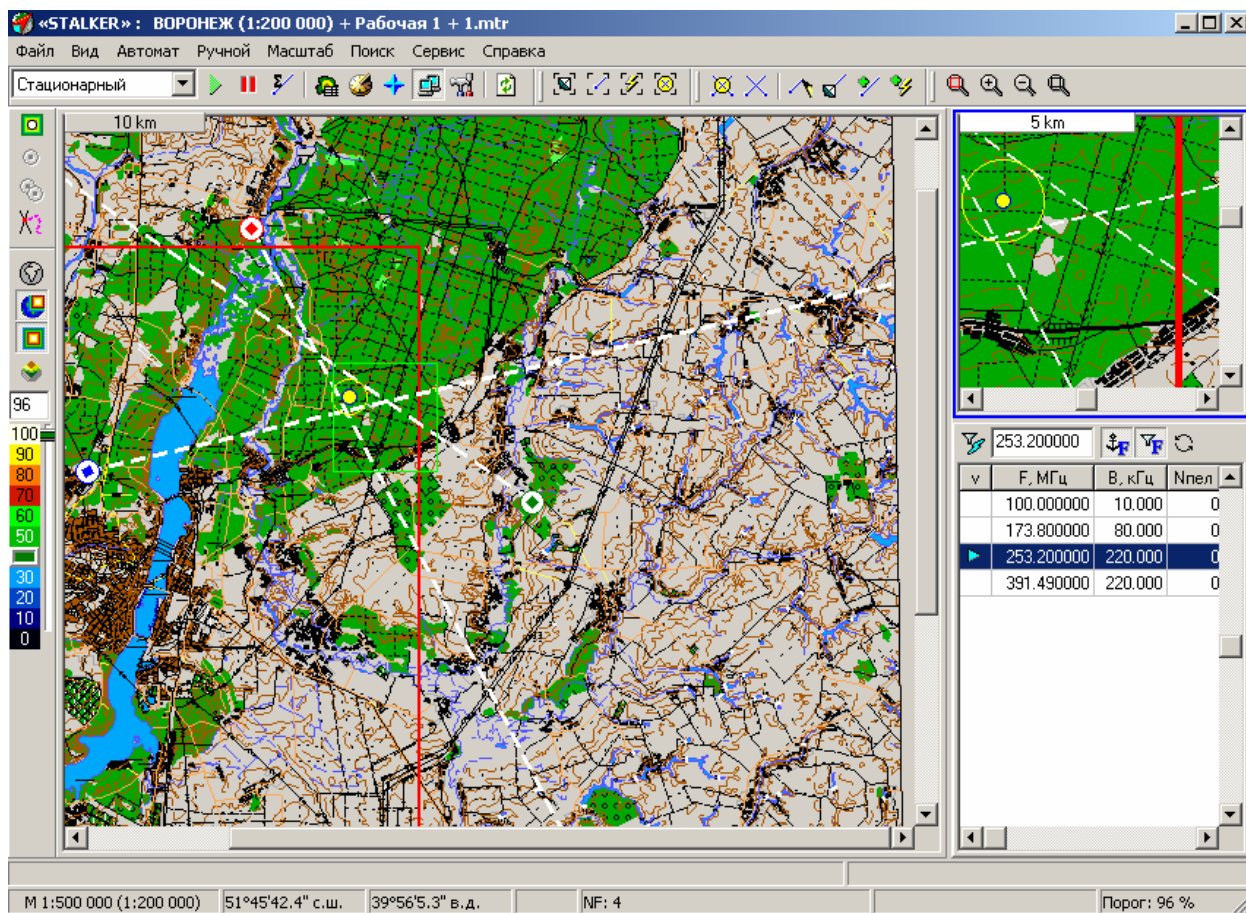


Рисунок 8. Окно программы СМО-КН «Сталкер» в режиме определения местоположения стационарного ИРИ на частоте 253.2 МГц

Точность определения местоположения на открытой местности составляет не хуже чем 1.5 % от расстояния до объекта. Радиус действия системы в значительной степени определяется рельефом местности и мощностью источника радиоизлучения. Стандартное значение радиуса действия на открытой местности для ИРИ мощностью 5 Вт составляет 10-15 км. Таким образом, при самых неблагоприятных условиях ошибка определения местоположения составляет от 50 до 250 метров.

### Заключение

Для управления постами системы АРК-ПОМЗ могут использоваться как высокоскоростные, так и низкоскоростные радиолинии передачи данных. В последнем случае программное обеспечение системы сокращает объем данных, передаваемых между постами, без ухудшения функциональных возможностей по пеленгованию и определению местоположения ИРИ.

Система АРК-ПОМЗ является многофункциональной системой радиомониторинга, она способна выполнять не только синхронное пеленгование и локализацию ИРИ на карте местности, но проводить также панорамный спектральный анализ, поиск сигналов, прослушивание и запись радиопередач, запись радиосигналов на промежуточной частоте для последующей обработки, технический анализ радиосигналов. В системе имеются

автоматические режимы поиска и пеленгования активных сигналов. Система позволяет вести долговременный мониторинг радиоэлектронной обстановки, накапливать результаты в базах данных. Программные средства отложенной обработки обеспечивают статистический анализ результатов цифрового спектрального анализа, пеленгования и определения местоположения ИРИ.

Система АРК-ПОМЗ является масштабируемой, добавление в систему дополнительных стационарных или мобильных постов не требует изменения программного обеспечения.

Аппаратура радиомониторинга и пеленгования постов системы имеет высокие тактико-технические характеристики по точности, чувствительности и динамическому диапазону, что делает возможным использование системы АРК-ПОМЗ не только в удаленных лесных, горных и сельских районах, но также в крупных городах и промышленных центрах.

### **Литература**

1. Ашихмин А.В., Козьмин В.А., Рембовский Ю. А. Портативная система радиомониторинга и определения местоположения источников радиоизлучения. - Специальная техника. № 2, М. 2005 г. С 27 – 35
2. Ашихмин А.В., Козьмин В.А., Токарев А.Б., Стопкин В.М. Использование панорамного измерительного приемника АРК-Д1ТР в мобильных станциях радиомониторинга Аргумент-И. - Специальная техника. № 5, М. 2004 г. С 38 – 49
3. 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. Специальный выпуск. М. 2003. С. 9-18