

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАДИОМОНИТОРИНГА И МЕСТООПРЕДЕЛЕНИЯ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ HF ДИАПАЗОНА

Калугин В. В., Чеботов А. В.

ООО "Научно-технический центр радиотехнических систем АН ПРЭ"

61001, Харьков, пл. Восстания, 7/8, тел. (057) 754-56-85

E-mail: ntcrts@kharkiv.com; www.ntcrts.com; факс (057) 732-68-63

Опыт применения и эксплуатации стационарных систем радиомониторинга и местоопределения источников радиоизлучения HF диапазона производства ООО «НТЦ РТС АН ПРЭ» за более чем десятилетний период (с 2001 по 2012 г.) в различных странах позволил обобщить методы ведения радиоконтроля источников радиоизлучений (ИРИ) систем связи с традиционными видами передач и показал необходимость разработки нового подхода к радиоконтролю современных систем связи с кратковременно работающими ИРИ, цифровыми видами модуляции с уплотнением каналов и перестройкой рабочих частот в режиме Frequency Hopping (FH).

К традиционным видам передачи, как правило, относятся аналоговая АМ и ОБП-телефония, передача сообщений кодом Морзе (CW), телетайпные передачи с FSK (50-1200 Бод), факсимильные сообщения, сверхкороткие передачи (СКП) типа Merod, PacketRadio, Sitor, Ractor, Link-11 и др. Основная особенность традиционных видов передач – это продолжительность сеанса работы ИРИ в эфире от 5-10 с до нескольких минут, а в магистральных каналах – несколько часов.

Перечисленные сигналы успешно обнаруживаются, регистрируются, пеленгуются, и обрабатываются в соответствии с алгоритмами, сложившимися 10 лет назад и более. При этом последовательная цепочка процедур обработки сигнала (автоматическое обнаружение выхода ИРИ в эфир, визуально-слуховой анализ оператором обнаруженной передачи и подача вручную команды на исполнительное пеленгование, прохождение телекодовой команды на синхронное пеленгование) занимает интервал времени от 4...6 до 35 секунд.

В течение 2001 – 2007 г.г. нашим предприятием были развернуты в некоторых странах Центральной Азии национальные HF системы радиомониторинга и местоопределения, работающие по такому алгоритму (комплексы «Восток»).

Статистический анализ работы этих HF систем радиомониторинга показал, что время прохождения и исполнения команд до получения пеленга на ИРИ, вышедшего в эфир, не может быть меньшим, чем 4...6 с, а ориентирование синхронной пеленгации по кодовой таблице (с задержкой времени в 1 с) не всегда однозначно приводит к правильной временной привязке корреспондентов в сети.

Кратковременность работы ИРИ современных HF систем связи Codan, Clover, MIL-STD-88-141, MIL-STD-188-110 и др. с перестройкой частот (режимы ALE, FH) и длительностью передачи пакетов от 200-500 мс до 2-3 с приводит к невозможности ведения радиоконтроля с традиционным порядком действий, при котором минимальное время прохождения и исполнения команд составляет 4...6 с от выхода ИРИ в эфир, что существенно превышает длительность радиопередач современных HF систем связи.

Развитие видов передач HF диапазона (повышение реальной скорости передачи данных до 2400-4800 Бод и более, обеспечение кратковременности работы: сотни миллисекунд – единицы секунд) идет по пути создания большого числа субчастотных каналов по 50-300 Гц и их уплотнения, в которых передаются данные со скоростью 50-300 Бод. При этом обеспечивается возможность повышения скорости передачи данных, т. к. на участках частот шириной до 300 Гц возможно обеспечение адаптации к изменяющимся параметрам ионосферного канала связи. Кроме того, для обеспечения оптимальности выбора канала связи (с хорошим соотношением сигнал/шум) в современных HF-системах стал широко использоваться метод ALE (Automatic Link Establishment) по стандарту MIL-

STD-188-141A, при котором длительности сеансов составляют 200–500 мс для передачи качества канала связи и коротких SMS.

В западной Европе и в Центральной Азии наблюдается широкое использование ИРИ с режимом FH в диапазоне перестройки частот от нескольких десятков килоггерц до единиц мегагерц.

В ходе эксплуатации HF систем радиомониторинга стран Центральной Азии в период 2005-2010 г.г. нашими специалистами накапливались замечания по алгоритмам работы систем, готовились предложения по совершенствованию HF систем радиомониторинга, повышению степени их автоматизации и эффективности работы. В итоге получен ряд достижений: высокоскоростной панорамный обзор частот со скоростью более 100 МГц/с, **совместное обнаружение и пеленгование сигналов**, круглосуточная панорамная регистрация группового сигнала с шириной полосы частот до 10 МГц.

Эти достижения реализованы в комплексах «Восток» для Украины (2009-2011 гг) и в одной из стран Южной Азии (2011-2012 гг), где удалось реализовать скорость передачи данных между радиопеленгаторной станцией (РПС) и приемным радиоцентром (ПРЦ) до 1 Гб/с и между ПРЦ – до 256 кБ/с. Это позволило автоматизировать исполнительное пеленгование сигналов при работе без участия операторов на РПС и обеспечить доступ к базе данных по **обнаруженным и запеленгованным ИРИ с короткими сеансами работы (1.0 с и менее)** в разнесенных обнаружителях-пеленгаторах для получения оценки координатно-пеленговой информации об ИРИ. Это, наряду с параллельной круглосуточной панорамной регистрацией широкополосного группового сигнала (в полосе частот 10 МГц) позволило получать отфильтрованные по времени и частоте записи сигналов и восстанавливать исходную информацию (включая возможность съема пеленга в режиме off-line) обо всех ранее обнаруженных интересующих ИРИ.

В настоящее время завершается поставка оборудования второго поколения HF системы радиомониторинга для одной из стран Центральной Азии взамен системы на супергетеродинных радиоприемниках разработки 1994-1995 г.г. с традиционным алгоритмом радиоконтроля на систему, базирующуюся на современных SDR (Software Design Receiver) приемниках.

В новой системе реализован целевой поиск кратковременных ИРИ по заданной координатной области с помощью БД удаленных обнаружителей-пеленгаторов «Восток-ОПК» благодаря высокоскоростному каналу связи (ВОЛС) между удаленными радиопеленгаторными станциями до 2 Мб/с.

В многоканальных SDR-приемных системах для новых обнаружителей-пеленгаторов улучшены качественные характеристики (чувствительность 0.3 мкВ, динамический диапазон >90 дБ, расширена мгновенная полоса обзора частот до 2400 кГц и др.), что в свою очередь позволило повысить достоверность и вероятность обнаружения кратковременных сигналов. Совместное обнаружение и пеленгование по всему азимутальному кругу в 360° позволило увеличить в несколько раз поток обнаруживаемых ИРИ по сравнению с обнаружителями поставки 2002 г., работающими от одной направленной антенны БС-1 в азимутальном секторе 40°-60°.

Процесс пеленгования ИРИ с автоматической синхронизацией РПС по системе единого времени (от навигационного приемника GPS) позволил обеспечить автоматическую привязку пеленгуемых корреспондентов к их радиосетям и получать координаты всех ИРИ без кодового ориентирования пеленгаторов и без участия их операторов.

Серийные поставки нового оборудования и комплексов начаты с 2010 года. Постепенная модернизация существующих комплексов путём замены оборудования с истекшим сроком службы новым, с улучшенными качественными и количественными характеристиками, обеспечивает повышение эффективности работы комплексов без прерывания их функционирования. Типовая структурная схема современного комплекса радиомониторинга HF диапазона «Восток-М» представлена на рис. 1.

**Структура Центра радиомониторинга Стационарного комплекса радиоконтроля и местоопределения
источника радиоизлучений HF диапазона «ВОСТОК-М»**

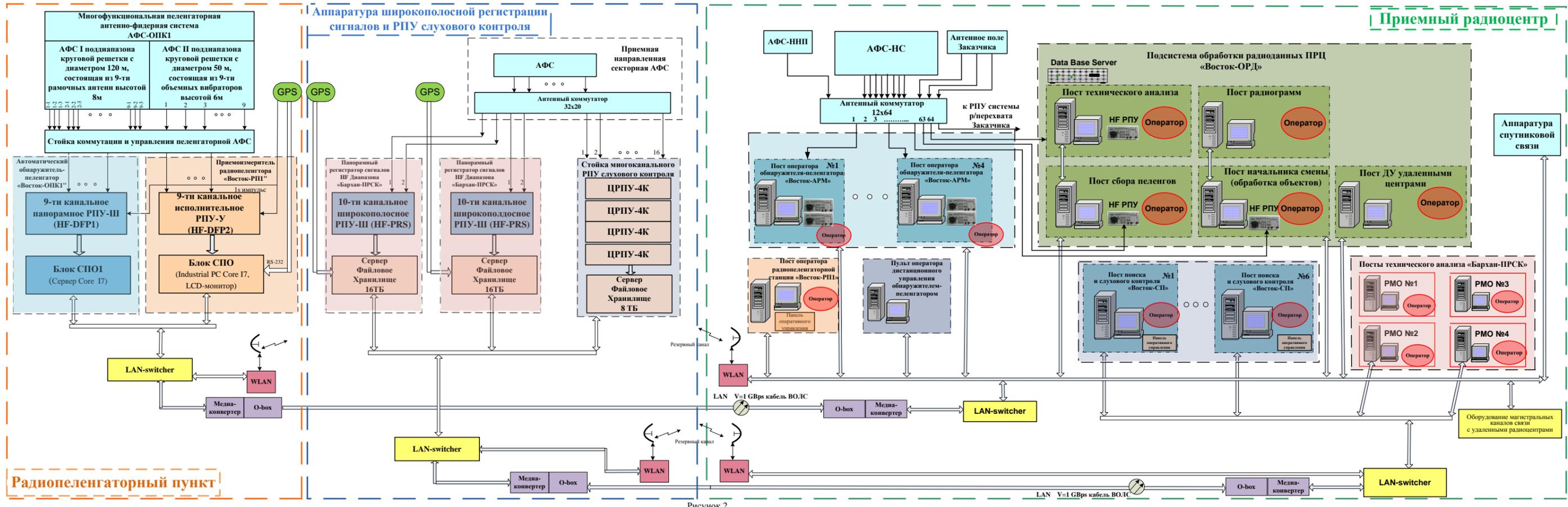


Рисунок 2

Рисунок 1

В состав нового комплекса «Восток-М» входят:

Радиопеленгаторный пункт в составе:

- 1) многофункциональная пеленгаторная антенно-фидерная системы (АФС) АФС-ОПК1;
- 2) автоматический обнаружитель-пеленгатор сигналов ВЧ диапазона частот «Восток-ОПК1»;
- 3) исполнительного радиопеленгатора «Восток-РП1»;
- 4) коммутационного оборудования для обеспечения функционирования локальной вычислительной сети (ЛВС).

Аппаратура широкополосной регистрации сигналов и радиоприемных устройств слухового контроля:

- 1) приемная направленная секторная АФС с антенным коммутатором;
- 2) панорамный регистратор сигналов НФ диапазона «Восток-ПРСК»;
- 3) многоканальное радиоприемное устройство слухового контроля;
- 4) коммутационного оборудования для обеспечения функционирования ЛВС.

Приемный радиоцентр в составе:

- 1) комплект АФС слухового контроля с антенным коммутатором:
 - АФС ненаправленного приема АФС-ННП;
 - АФС направленного секторного приема;
 - антенное поля Заказчика;
- 2) посты обнаружителя-пеленгатора «Восток-АРМ» (до 4-х постов), оснащенных РПУ с цифровой обработкой сигналов «Галактика-М»;
- 3) пульт дистанционного управления обнаружителем-пеленгатором «Восток-ОПК1»;
- 4) пост оператора радиопеленгатора «Восток-РП1»;
- 5) подсистема обработки радиоданных приемного радиоцентра «Восток-ОРД»:
 - пост начальника смены;
 - пост сбора пеленгов;
 - пост технического анализа;
 - пост радиограмм;
 - пост дистанционного пеленгования;
- 6) посты поиска и слухового контроля «Восток-СП»;
- 7) рабочие места операторов панорамных регистраторов сигналов «Восток-ПРСК»;
- 8) коммутационного оборудования для обеспечения функционирования ЛВС.

Комплекс «Восток-М» обеспечивает непрерывное ведение радиомониторинга источников радиоизлучений по частоте и пространству путём выполнения следующих функций:

- 1) автоматический поиск и обнаружение источников радиоизлучений (ИРИ) в заданных участках диапазона частот 0.5 – 30 МГц в режиме реального времени на фоне станционных помех;
- 2) контроль обнаруженных источников радиоизлучений;
- 3) наблюдение формы сигнала обнаруженного ИРИ в спектральной и временной областях;
- 4) автоматическая регистрация, демодуляция и классификация сигналов;
- 5) автоматизированное документирование информации об ИРИ в базах данных с выводом на печать и записью на сервере;
- 6) автоматическое вскрытие режимов работы ИРИ и состава радиосетей, работающих на фиксированных частотах и с псевдослучайной перестройкой радиочастоты (FH) в режиме реального времени;
- 7) панорамный прием и регистрация группового сигнала излучений с суммарной шириной полосы частот регистрации до **10 МГц** (с возможностью независимого выбора **10** полос по **1 МГц** в НФ диапазоне) в виде файлов записанных I/Q отсчетов, с последующим выбором сигналов по частоте и времени для просмотра и проведения

- анализа зарегистрированных сигналов в отложенном автоматическом или автоматизированном режиме;
- 8) расчет координат обнаруженных ИРИ триангуляционным методом в сферической системе координат с учетом эллипсоидности земли, а также методом SSL – методом одноточечного местоопределения с использованием прогноза параметров ионосферы Земли, с отображением координатной информации на электронной карте;
 - 9) формирование базы данных (БД) выявленных ИРИ;
 - 10) применение метода реперного пеленгования для уточнения координат ИРИ;
 - 11) автоматический анализ реальной электромагнитной обстановки с целью оптимизации порогов обнаружения сигналов с отображением среднего уровня шумов;
 - 12) индикацию амплитудно-частотной, частотно-временной (водопад) и частотно-пеленговой панорамы загрузки радиоэфира;
 - 13) ведение БД по поданным командам, полученным пеленгам и дополнительным сообщениям, поступившим в процессе работы;
 - 14) ведение БД файлов, полученных в процессе обнаружения и перехвата (радиограммы, бланки, звуковая запись сигнала и т.п.) с привязкой к БД команд;
 - 15) формирование БД объектов по результатам обработки БД ИРИ (привязка выявленной информации и типа ИРИ к объектам);
 - 16) формирование отчетов и докладов о радиоэлектронной обстановке HF-диапазона, расчет статистики по работающим ИРИ за отчетный период времени, анализ деятельности операторов с автоматизированной оценкой эффективности их работы, расчет эффективности работы пеленгаторной сети;
 - 17) автоматизированная обработка, накопление и документирование (вывод на печать и запись на CD) информации об ИРИ;

Сравнительные характеристики основных технических параметров комплексов «Восток», находящихся в эксплуатации, и нового комплекса «Восток-М» приведены в таблице 1.

Ниже на рисунках 2 - 16 показан вид некоторых составных частей комплекса и некоторых графических интерфейсов пользователя.

Дальнейшие пути развития HF системы радиомониторинга серии «Восток-М»:

- 1) Внедрение многофункциональных пеленгаторных АФС, принимающих вертикальную и круговую поляризацию (левого, правого вращения) радиоволны HF сигнала, что обеспечит возможность приема и пеленгования крутопадающих волн с углами возвышения до 87 градусов.
- 2) Увеличение полосы панорамной регистрации частот с 10 МГц до 20 МГц, а также длительности записи с 1-2 суток до 3-4 суток.
- 3) Автоматическая off-line классификация сигналов ИРИ, записанных в панорамном режиме.
- 4) Внедрение автоматических методов обнаружения-пеленгования сигналов без участия операторов с использованием пространственных признаков (координатной информации).
- 5) Применение новых методов приема многочастотных сигналов и FH-сигналов.
- 6) Введение канала магистральной связи между приемными радиостанциями по ВОЛС или по каналам GSM 3G.

Сравнительные технические характеристики комплексов

	«ВОСТОК» (2005 г)	«ВОСТОК-М» (2012 г)
Дальность действия	до 2000 км и более	до 2000 км и более
Диапазон рабочих частот	1.0-30 МГц	0.5-30 МГц
Возможность принимать и пеленговать сигналы с круговой поляризацией и с углами места до 87°	НЕТ	ЕСТЬ
Круглосуточная регистрация излучений панорамным регистратором с суммарной полосой пропускания частот 10 МГц	НЕТ	ЕСТЬ
Чувствительность по ЭМ-полю	1-5 мкВ/м	0.2-5 мкВ/м
Динамический диапазон по интермодуляции	> 80 дБ	> 90 дБ
Диапазон уровней принимаемых сигналов	> 110 дБ	> 130 дБ
Дискретность настройки частоты приемных трактов	1 Гц	1 Гц
Полоса одновременного обзора частот	400 кГц	2400 кГц
Максимальная скорость панорамного обзора частот (с пеленгованием)	15 МГц/с	500 МГц/с
Частотное разрешение обнаружителя	125; 250; 500; 1000 Гц	62,5; 125; 250; 500; 1000 Гц
Инструментальная ошибка пеленгования	2° (СКО)	1° (СКО)
Минимальная длительность пеленгуемых сигналов	3 мс	1 мс
Пеленгование сигналов	Ручное	Ручное/Автомат.
Селекция корреспондентов при пеленговании	Ручное (по табл.)	Автоматическое
Местоопределение корреспондентов	Ручное	Автоматическое
Ошибка местоопределения ИРИ (триангуляция)	5 % от дальности	3 % от дальности
Автоматическая регистрация, демодуляция и классификация сигналов	АМ, АТ, ОБП-тлф, АОМ, ЧМ, ЧМ2, ФМ2, ФМ4	АМ, АТ, ОБП-тлф, АОМ, ЧМ, ЧМ2, ФМ2, ФМ4
Обнаружение и пеленгование источников радиоизлучений с ППРЧ	до 300 скачков/секунду.	до 1000 скачков/секунду.
Полоса анализируемых частот	0.3 - 8 кГц.	0.1 - 12 кГц.



Рисунок 2. Внешний вид АФС и здания обнаружителя-пеленгатора «Восток-ОПК»

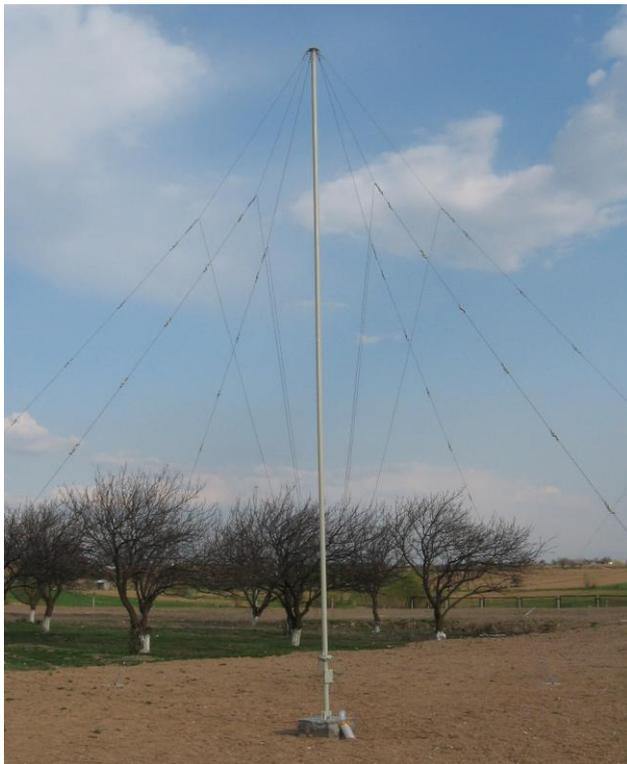


Рисунок 3. Штыревой антенный элемент

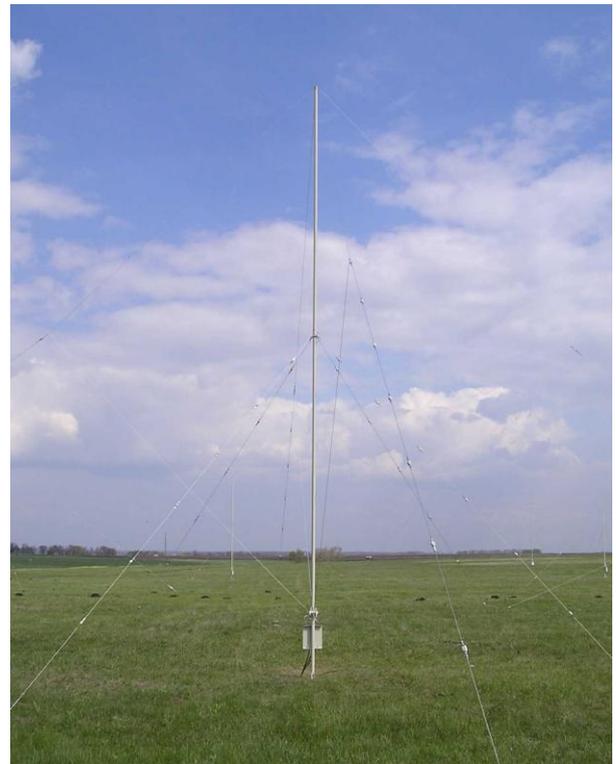


Рисунок 4. Рамоchnый антенный элемент



Рисунок 5. Блок широкополосных входных устройств



Рисунок 6. SDR радиоприемное устройство «Галактика-М»



Рисунок 7. Стойка обнаружителя-пеленгатора «Восток-ОПК»

Рисунок 8. Стойка панорамного регистратора «Восток-ПРСК»



Рисунок 9. Автоматизированное рабочее место оператора «Восток-АРМ»

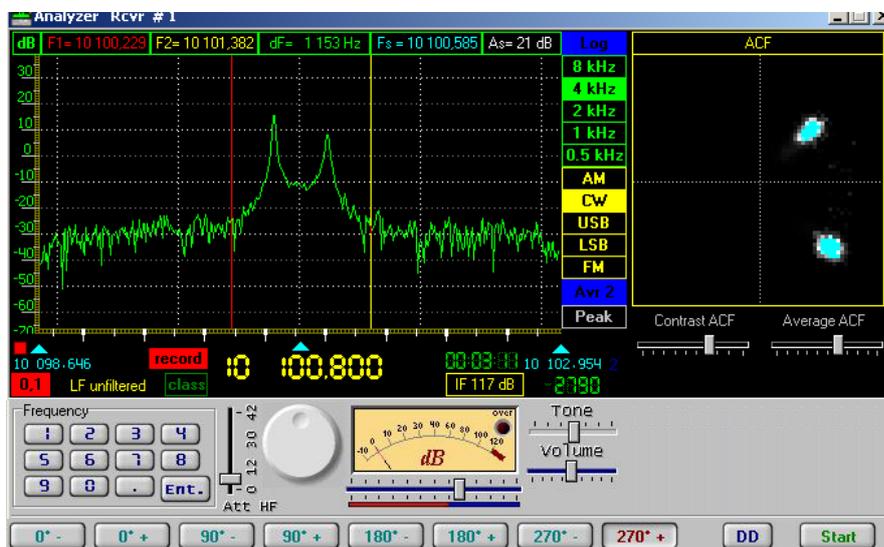


Рисунок 10. Вид окна управления радиоприемным устройством (поста «Восток-АРМ»), отображения спектра и автокорреляционной функции принимаемого сигнала.

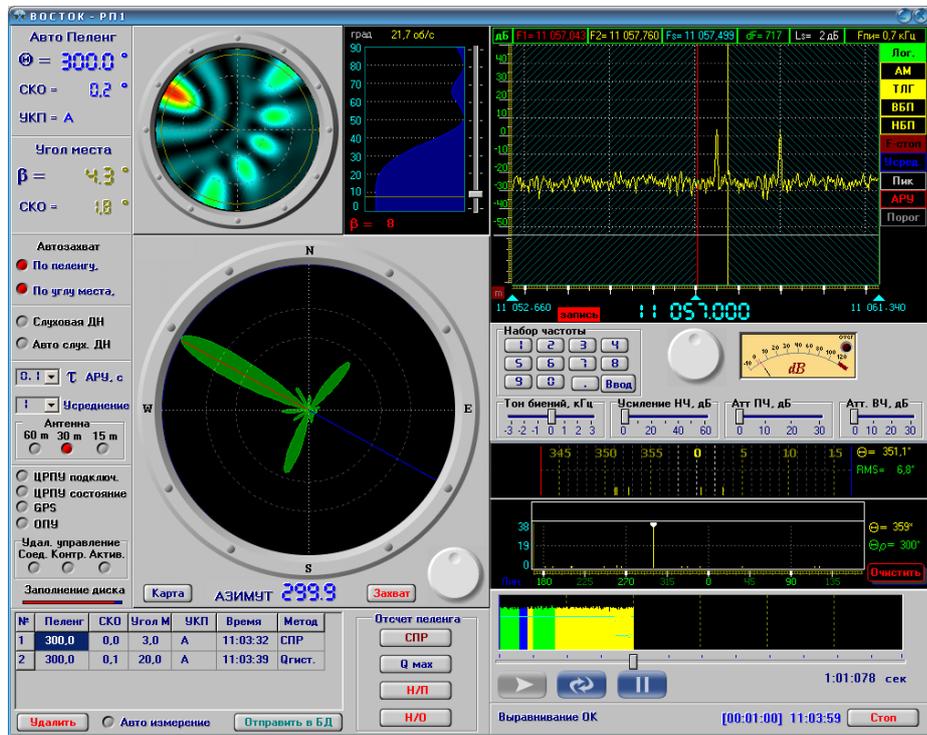


Рисунок 11. Главное окно управления рабочей программы РПС «Восток-РП»

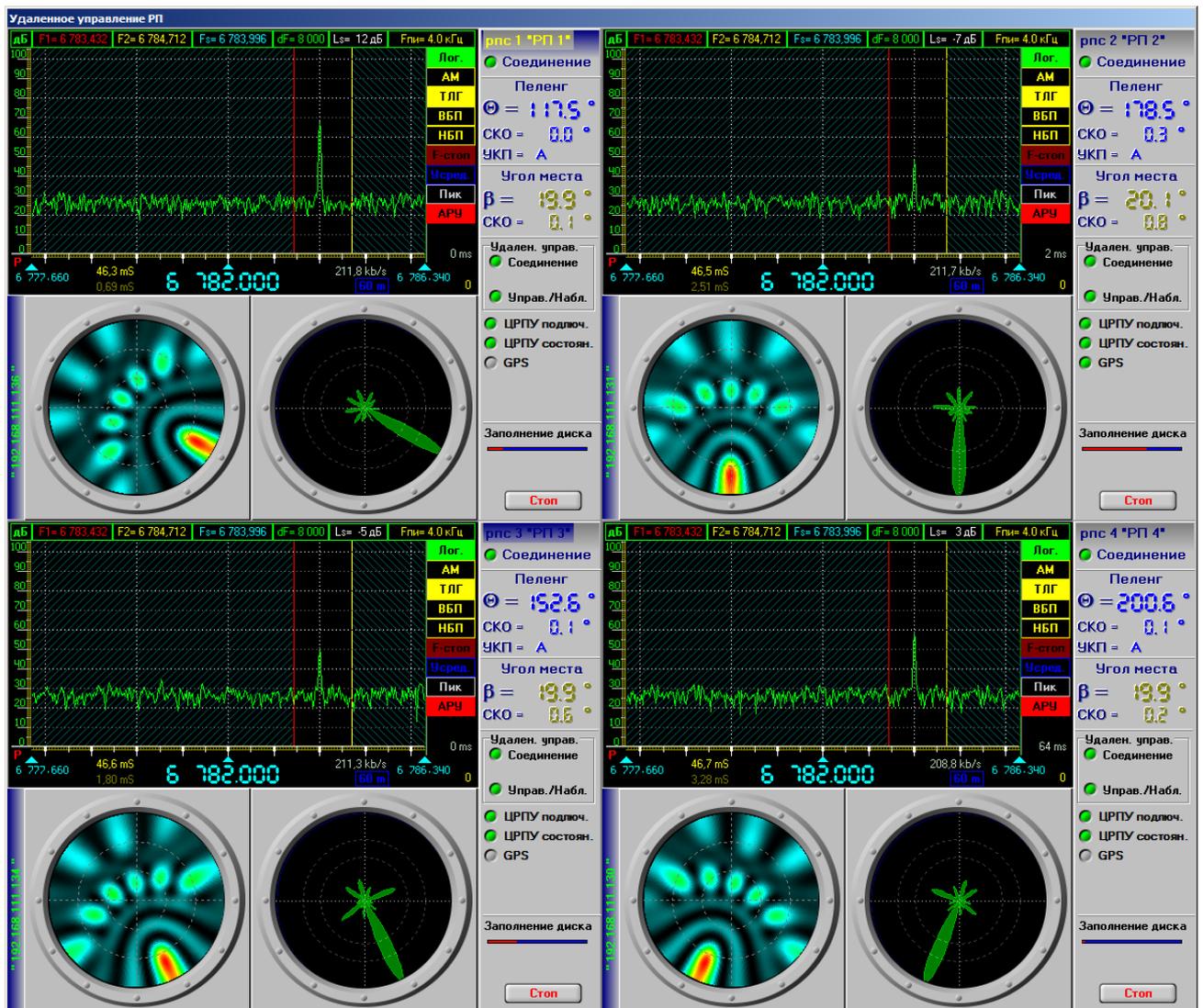


Рисунок 12. Вид панели поста дистанционного пеленгования «Восток-ОРД»

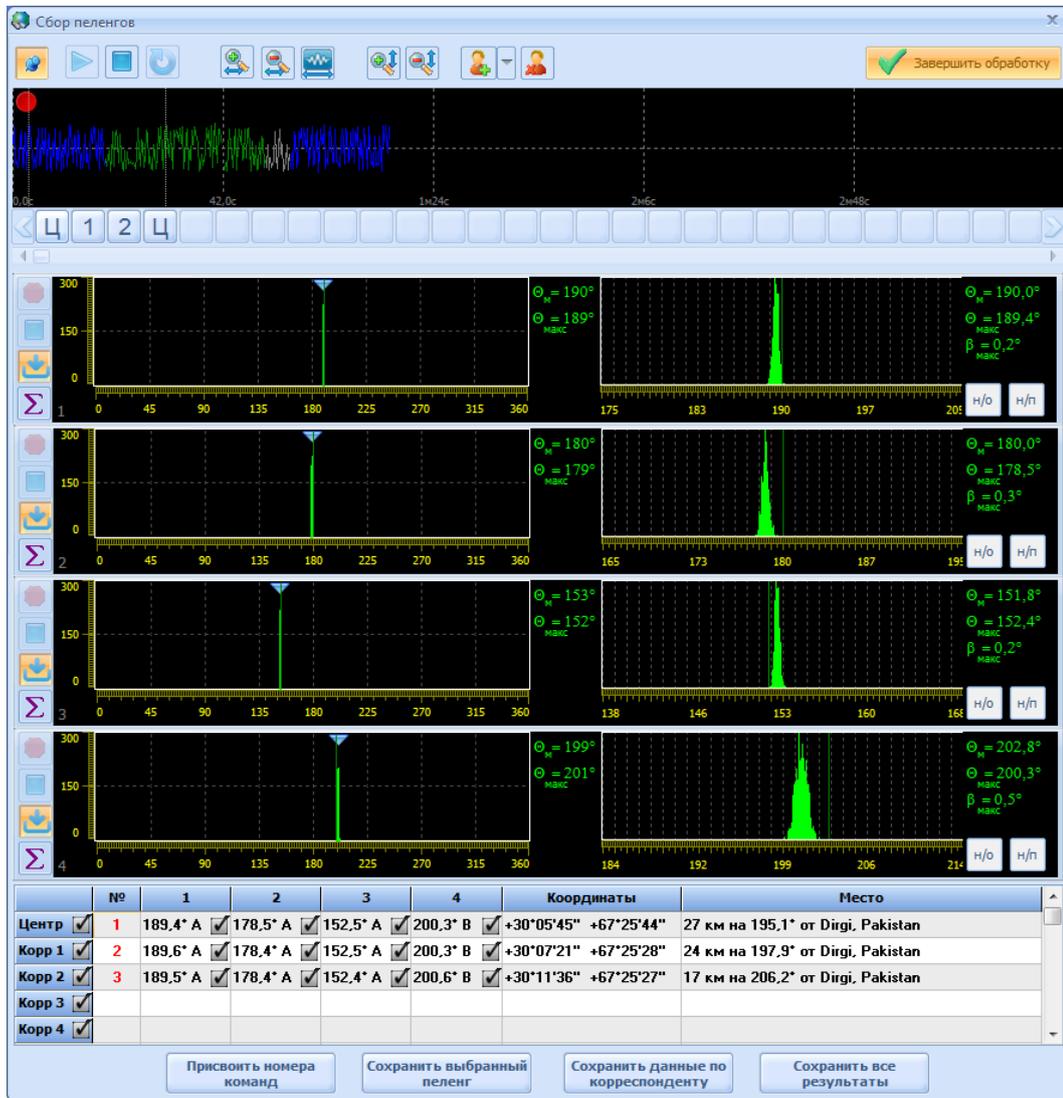


Рисунок 13. Вид панели синхронизации сеансов ИРИ на посту сбора пеленгов «Восток-ОРД»

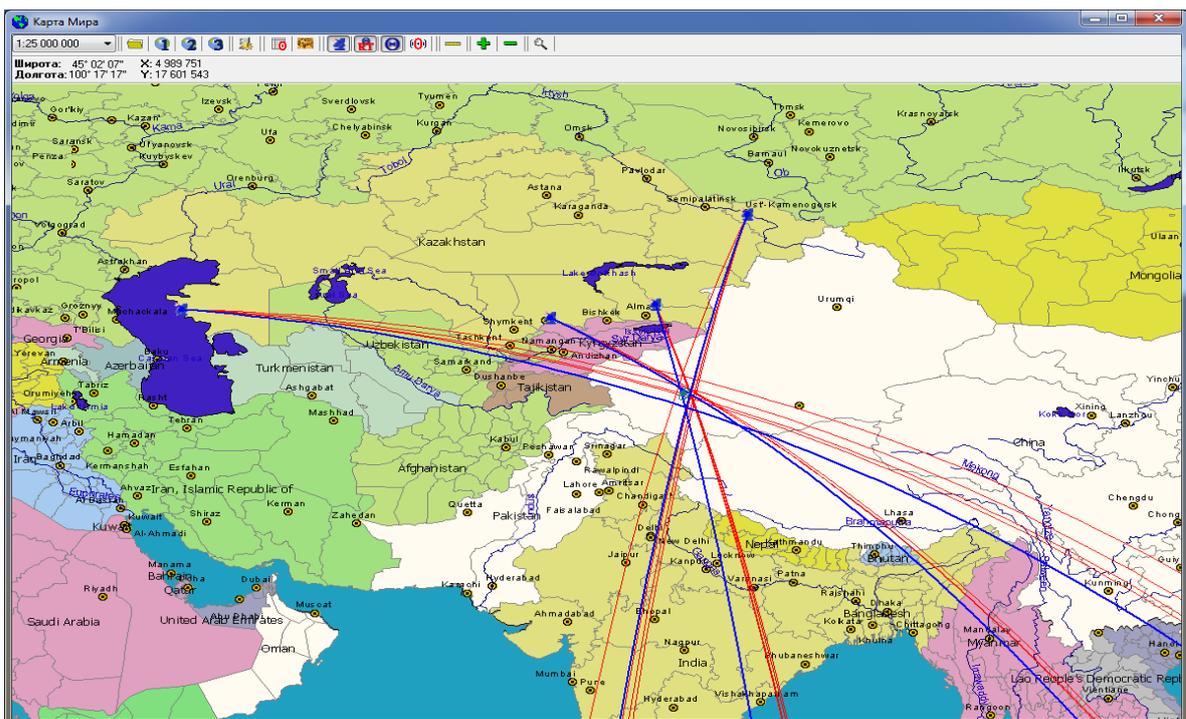


Рисунок 14. Окно отображения линий пеленгов и местоположения ИРИ на посту сбора пеленгов «Восток-ОРД»

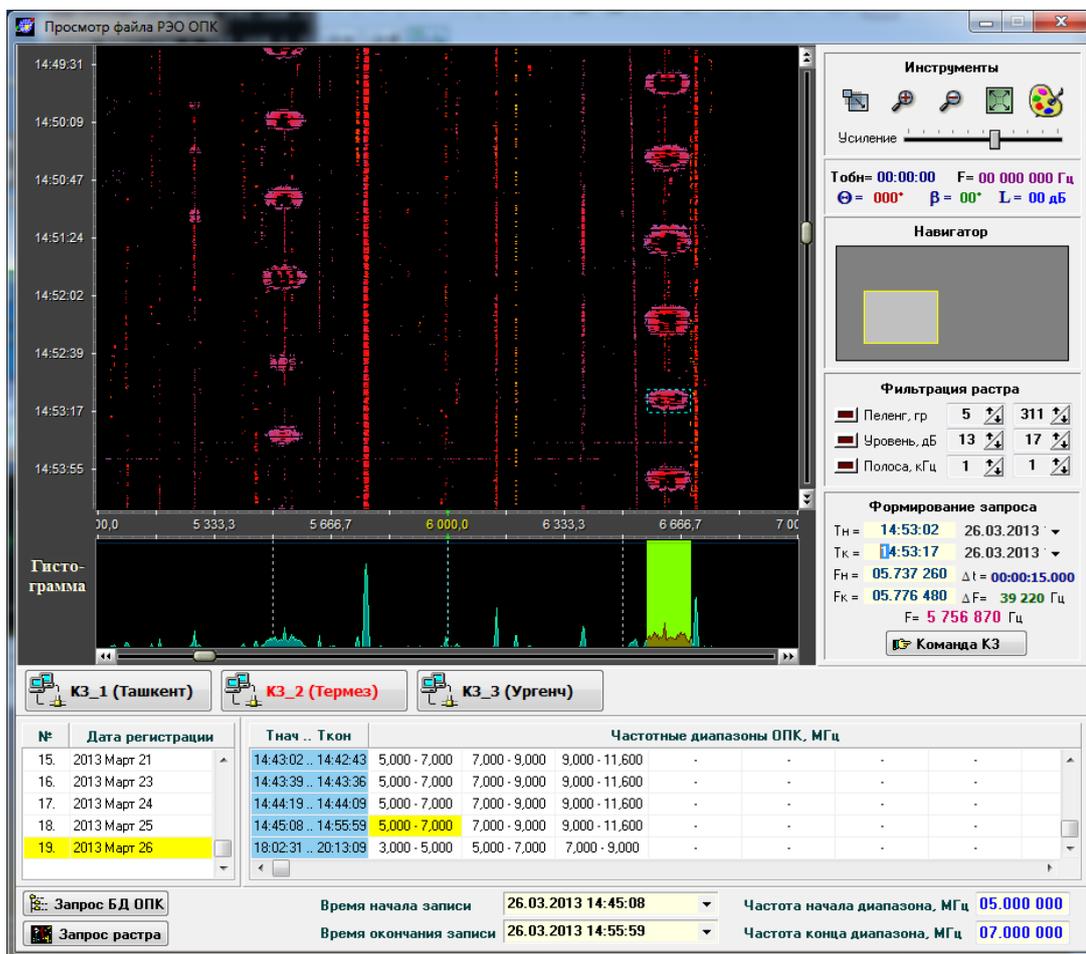


Рисунок 15. Вид панели выбора параметров ИРИ для проведения off-line пеленгования по БД от обнаружителей-пеленгаторов «Восток-ОПК»

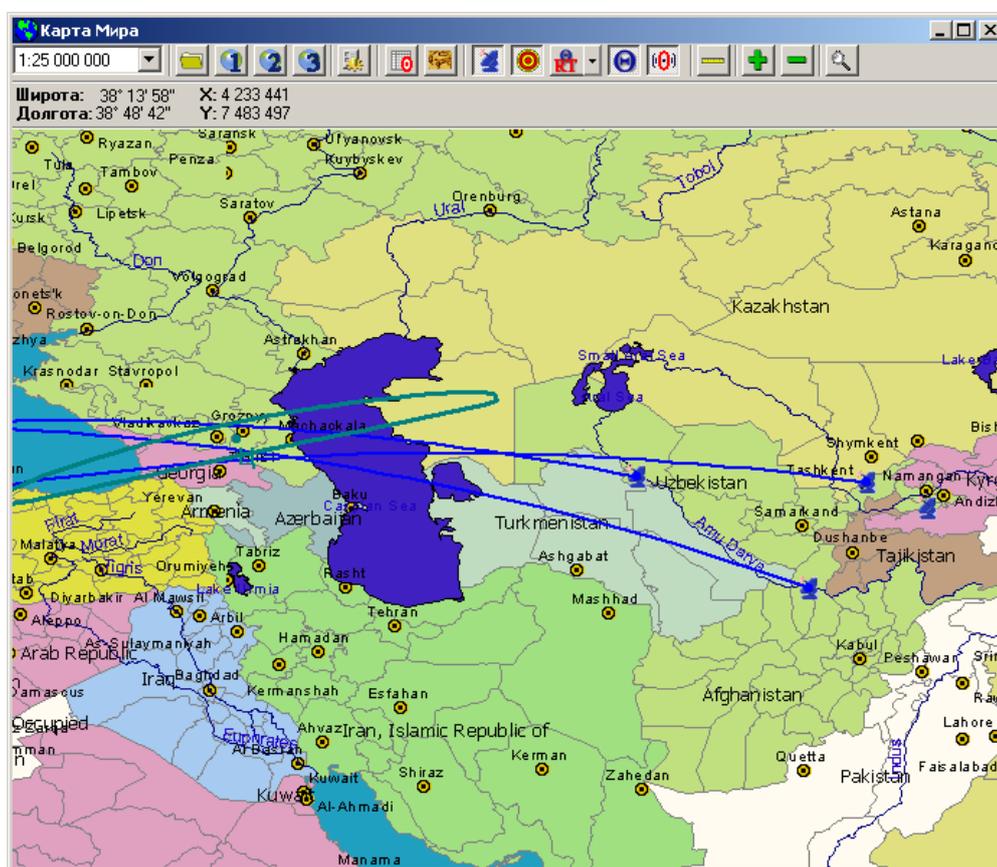


Рисунок 16. Вид панели отображения координат ИРИ на фоне карты после проведения off-line пеленгования по БД от обнаружителей-пеленгаторов «Восток-ОПК»