

АШИХМИН Александр Владимирович,
кандидат технических наук
КОЗЬМИН Владимир Алексеевич,
кандидат технических наук, доцент
ТОКАРЕВ Антон Борисович,
кандидат технических наук, доцент
СТОПКИН Виктор Михайлович

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАНОРАМНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИЕМНИКА АРК-Д1ТР В МОБИЛЬНЫХ СТАНЦИЯХ РАДИОМОНИТОРИНГА АРГУМЕНТ-И

Настоящая статья продолжает цикл публикаций по панорамному измерительному приемнику АРК-Д1ТР [1, 2] и посвящена использованию этого приемника для задач, решаемых постом № 2 в мобильных измерительных станциях АРГУМЕНТ-И. К числу таких задач относятся:

- спектральный анализ в рабочем диапазоне частот;
- поиск источников радиоизлучений (ИРИ);
- измерение напряженности поля;
- измерение параметров излучений и технический анализ;
- автоматизированный контроль сигналов выявленных источников;
- формирование и статистический анализ файла загрузки радиодиапазонов.

Состав радиоборудования станции АРГУМЕНТ-И определяется решаемыми задачами контроля радиобстановки. Если станция монтируется на базе микроавтобуса, то с учетом небольшой площади его салона в ее составе может иметься до трех рабочих мест – постов операторов: пост № 1 – одноканального и многоканального пеленгования, пост № 2 – обнаружения сигналов и измерения их параметров, пост № 3 – многоканального радиоконтроля [3]. Все посты мобильной станции работают в общей ло-

кальной сети и обмениваются информацией между собой.

Базовым оборудованием поста № 2 являются панорамный измерительный приемник АРК-Д1ТР и выносной конвертор АРК-КНВ4И, а также набор измерительных антенн.

Аппаратное обеспечение

Панорамный измерительный приемник АРК-Д1ТР – это отечественное радиоприемное устройство, сертифицированное Госстандартом России в качестве средства измерений [4]. Приемник предназначен для измерения параметров радиосигналов в частотном диапазоне от 20 до 2020 МГц в составе автоматизированных комплексов ра-

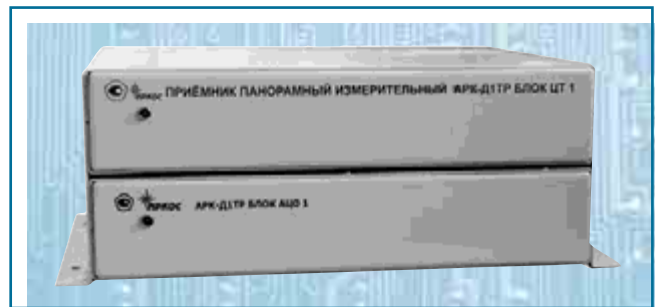


Фото 1. Панорамный измерительный приемник АРК-Д1ТР

Таблица 1. Основные технические характеристики АРК-Д1ТР

Рабочий диапазон частот базового комплекта	20 ... 2020 МГц
Рабочий диапазон частот в максимальной конфигурации	9 кГц ... 18 ГГц
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения уровней	±3 дБ
Динамический диапазон измеряемых радиосигналов с учетом встроенных аттенуаторов	100 дБ
Динамический диапазон по интермодуляции 3 и 2 порядка	70 дБ
Ослабление по зеркальному каналу и побочным каналам на ПЧ	70 дБ
Чувствительность, ограниченная шумами, (с + ш)/ш до 6 дБ	
– на частотах 20 – 1012 МГц	-110 дБм, (-3 дБмкВ, 0,71 мкВ)
– на частотах 1012 – 2020 МГц	-107 дБм (0 дБмкВ, 1,0 мкВ)
Максимально допустимый сигнал на входе приемника	-7 дБм (100 дБмкВ)
Скорость панорамного анализа в рабочем диапазоне	150 МГц/с
Полосы обзора	2; 1; 0,25; 0,12; 0,006; 0,05 МГц
Стабильность	2×10^{-6}
Частота внешнего опорного генератора	12,8 МГц
КСВН по входу	не более 3
Питание	27 ±3 В
Потребляемый ток	1,2 А
Масса	7,5 кг
Габариты	340x130x260 мм

**Фото 2. Выносной конвертор АРК-КНВ4И и измерительная антенна на диэлектрической мачте**

диомониторинга. Внешний вид приемника представлен на фото 1, а основные технические параметры приемника в табл. 1.

С использованием дополнительного выносного конвертора АРК-КНВ4И, также внесенного в Государственный реестр средств измерений [5], рабочий диапазон приемника расширяется до 18 ГГц. Внешний вид выносного конвертора представлен на фото 2, а его основные технические характеристики в табл. 2.

Выносной конвертор АРК-КНВ4И может использоваться с внешней антенной, а также он имеет встроенные направ-

ленные внутренние антенны. В последнем случае диапазон рабочих частот составляет от 3 до 18 ГГц. При подключении внешней антенны рабочий диапазон начинается от 1 ГГц и заканчивается на 18 ГГц.

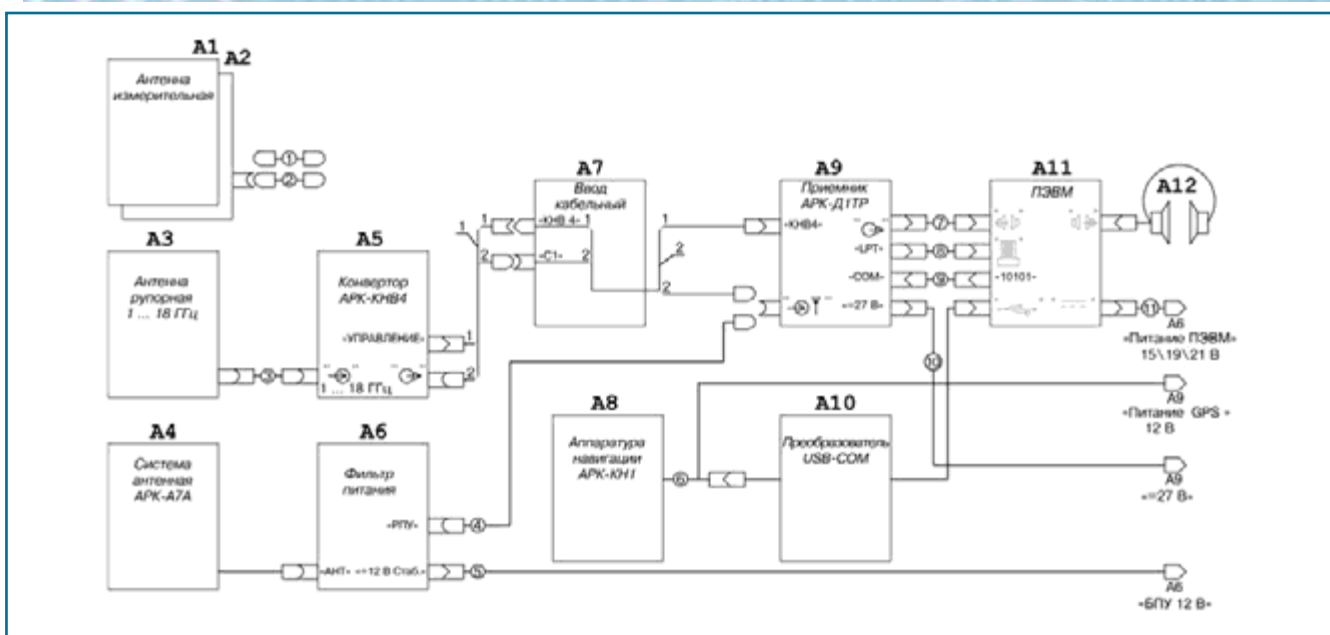
Перед выполнением измерений погрешность коэффициентов передачи панорамного измерительного приемника АРК-Д1ТР и выносного конвертора АРК-КНВ4И может быть уменьшена до ±1,5 дБ с помощью калибровки.

Структурная схема соединений аппаратуры поста представлена на рис. 1. К входу АРК-Д1ТР могут подключаться измерительные антенны А1, А2, А3, выход выносного конвертора АРК-КНВ4И (А5) или антенна для радиомониторинга АРК-А7А (А4). Измерительные антенны могут подключаться как непосредственно к входу АРК-Д1ТР, находящемуся в салоне, так и через кабельный ввод А7 на борту автомобиля. Активная антенна АРК-А7А получает питание от фильтра питания (А6). Панорамный измерительный приемник АРК-Д1ТР (А9) подключен к персональной ПЭВМ (А11). В системе предусмотрена также аппаратура навигации АРК-КН1 (А8) на базе GPS-приемника. Поскольку современные персональные ЭВМ типа notebook, как правило, имеют не более одного Com-порта, для подключения аппаратуры навигации использован преобразователь А10, который последовательный протокол RS232 трансформирует в интерфейс USB 2.0. Питание аппаратура получает от штатного блока питания станции АРГУМЕНТ-И АРК-УБП12.

Для точного измерения напряженности поля измерительная антенна должна быть установлена на мачту. В составе мобильной станции АРГУМЕНТ-И имеется телескопическая мачта высотой 5,5 м. Внешний вид мачты показан на фото 3, 4. Для уменьшения погрешностей измерения напряженности поля мачта изготовлена из диэлектрического материала. Она устанавливается на специальные

Таблица 2. Основные технические характеристики АРК-КНВ4И

Диапазон принимаемых частот:	3 – 18 ГГц
– при работе от внутренней антенны	1 – 18 ГГц
– при работе от входа внешней антенны	299,2, 708,8 МГц
Частота выходного сигнала	$\pm 2 \times 10^{-7}$
Относительная погрешность установки частоты	10 МГц
Полоса пропускания на уровне минус 3 дБ, не менее	50 мкВ/м
Чувствительность по полю при работе от внутренней антенны и полосе пропускания 10 кГц, не хуже	0 дБ
Коэффициент передачи при работе от внешней антенны	± 3 дБ
Погрешность коэффициента передачи в диапазоне рабочих частот при работе от внешней антенны, не более	-68 дБ
Относительный уровень помех, обусловленный интермодуляционными искажениями третьего порядка и расстройкой между сигналами 10 МГц, для полосы пропускания 120 кГц измерительного приемника, не более	3
КСВ по входу внешней антенны при входном сопротивлении 50 Ом, не хуже	12 \pm 2,0 В
Питание	1,6 А
Потребляемый ток, не более	2,6 кг
Масса	250x220x90 мм
Габаритные размеры, не более	

**Рис. 1. Схема соединений аппаратуры поста обнаружения и измерения параметров сигналов**

кронштейны на корпус носителя или с помощью подставки на землю. В условиях ветровой нагрузки установленная мачта дополнительно укрепляется двумя ярусами капроновых растяжек. Мачта имеет круговой лимб с точностью деления 1 градус. Кроме того, имеется механизм фиксации поворота, чтобы измерительную антенну можно было закрепить в нужном направлении. Длина звена мачты не превышает 3 м, поэтому в сложенном состоянии она легко укладывается в пластиковый пенал в корпусе станции АРГУМЕНТ-И.

Программное обеспечение

Эффективность использования аппаратуры во многом определяется математическим обеспечением, под управлением которого она функционирует. В пакет специального математического обеспечения поста № 2 станции АРГУМЕНТ-И входят следующие программы: СМО-ПАИ, СМО-АСПД, СМО-КН1 и СМО-СТА.

Программа СМО-ПАИ – это управляющая программа для панорамного анализа и измерений. Она обеспечивает работу радиоприемного устройства АРК-Д1ТР в диапазоне от 9 кГц до 18 ГГц. Основные режимы программы СМО-ПАИ: «Спектр», «Панорама», «Измерение», «Сканирование».

Пакет специального математического обеспечения СМО-АСПД предназначен для анализа спектрально-пеленгационных данных, то есть воспроизведения результатов спектрального анализа, полученных при работе с программой СМО-ПАИ. Также программа обеспечивает расчет диаграмм загрузки радиодиапазона, интенсивности и средней длительности сеансов радиосвязи.

Программный пакет СМО-КН1 представляет собой специализированную систему картографии и навигации, предназначенную для отображения по результатам пеленгования или измерения напряженности электромагнитного по-



Фото 3. Диэлектрическая мачта в развернутом состоянии

ля положения источников радиоизлучения на местности. Данные измерений напряженности поля по сети с протоколом TCP/IP передаются в это приложение из программы СМО-ПАИ.

Программа СМО-СТА предназначена для технического анализа радиосигналов, измерения их параметров и видов модуляции.

Программы, входящие в пакет специального математического обеспечения, являются сложными многофункциональными продуктами, их подробное рассмотрение вряд ли возможно в рамках одной статьи, поэтому здесь мы ограничимся только особенностями их применения в рамках решения основных задач поста.

Спектральный анализ в рабочем диапазоне частот

Для спектрального анализа используется программа СМО-ПАИ. Эта программа обеспечивает цифровой спектральный анализ в заданных оператором диапазонах частот. Максимальное количество диапазонов равно десяти. Для панорамного анализа в широком диапазоне частот используются режимы «Спектр» и «Панорама». Программа позволяет отображать на одной спектральной диаграмме весь рабочий диапазон частот аппаратуры. На рис. 2 показан экран программы СМО-ПАИ в режиме «Спектр». В данном случае оператором заданы три диа-



Фото 4. Подъемно-поворотный механизм диэлектрической мачты

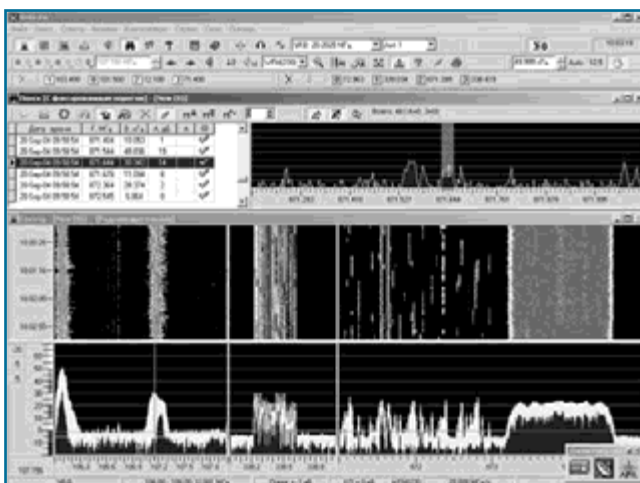


Рис. 2. Окно программы СМО-ПАИ в режиме «Спектр»

пазона частот: 106 – 108 МГц, 338 – 339 МГц и 871 – 875 МГц.

В нижней части экрана находится окно «Спектр». На нем отображаются текущие и накопленные спектры сигналов, а также частотно-временная диаграмма. Текущие спектры показаны темным цветом, накопленные спектры белым цветом. График накопленного спектра состоит из максимальных по амплитуде спектральных составляющих, которые появлялись в текущем спектре за время анализа. Такой вид графика фиксирует все участки анализируемых диапазонов частот, где хотя бы однократно наблюдался выход радиостанции в эфир.

В средней части окна «Спектр» выводится частотно-временная диаграмма (ЧВД) загрузки радиодиапазонов. Гра-

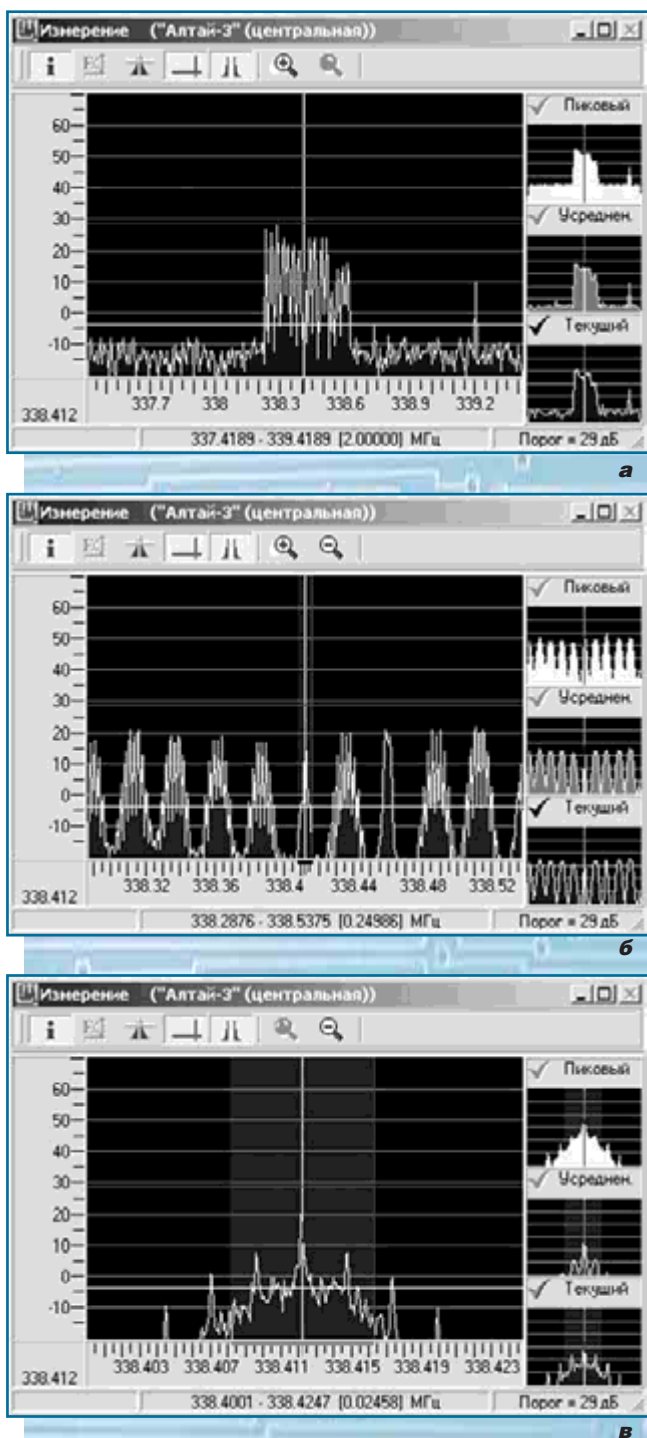


Рис. 3. Спектр сигнала системы «Алтай»:
в полосе 2 МГц (а); в полосе 250 кГц (б);
в полосе 25 кГц (в)

фик частотно-временной диаграммы отображает загрузку диапазонов частот источниками радиоволн. На ЧВД фиксируется изменение во времени уровней «сигнальных» спектральных составляющих, превышающих пороги обнаружения. По горизонтали в ЧВД откладывается частота, а по вертикали – время. Уровни спектральных составляющих отображаются в виде областей, цвет которых соответствует цветовой маркировке уровней оси ор-

динат текущего спектра. Если уровень сигнала меньше значения порога обнаружения, то участок ЧВД закрашивается цветом, соответствующим минимально возможному амплитудному значению. Частотно-временная диаграмма записывается в файл спектральных и пеленгационных данных (СПД) в целях последующего анализа в программе СМО-АСПД.

В режиме «Спектр» любой участок диапазона можно просмотреть в полосе 2 МГц. Более высокие спектральные разрешения можно получить в режиме «Измерение», где имеется возможность детализации. В качестве примера на рис. 3 показан спектр сигнала системы «Алтай» для полос наблюдения 2 МГц, 250 кГц и 25 кГц.

В режиме «Спектр» на экране ПЭВМ выше частотно-временной диаграммы располагается окно «Поиск», предназначенное для поиска и обнаружения новых источников радиоизлучения.

Поиск источников радиоизлучений

В режиме «Спектр» программы СМО-ПАИ имеется возможность автоматического поиска активных станций (каналов). Канал считается активным, если его спектр превышает порог обнаружения. Полоса канала определяется как зона, внутри которой спектральные составляющие больше порога.

Диапазоны частот поиска определяются выполняемым заданием. Параметры найденных каналов сохраняются в базе данных и отображаются в таблице окна «Поиск». В ходе спектрального анализа значения параметров найденных каналов корректируются. При этом фиксируются максимальные полосы и амплитуда спектральных составляющих, которые наблюдались в канале.

Для автоматического поиска активных каналов в программе предусмотрена возможность использования нескольких алгоритмов:

- с фиксированным порогом;
- с плавающим порогом;
- по накопленному спектру;
- по превышению эталонного спектра.

Алгоритм «с фиксированным порогом» использует порог обнаружения, отображаемый на экране в виде красной горизонтальной линии. Канал считается активным, если спектральные отсчеты текущего спектра превысили порог обнаружения. Полоса канала определяется как частотная область, где амплитуда спектральных составляющих превышает порог. Как только отсчет спектра превысил порог – фиксируется левая граница канала, как только отсчет спектра становится меньше порога – фиксируется правая граница канала.

Алгоритм «с плавающим порогом» использует порог обнаружения, вычисляемый отдельно для каждого интерва-

ла частот, равного полосе пропускания приемника. Для панорамного измерительного приемника АРК-Д1ТР этот интервал равен 2 МГц. Значение порога вычисляется по текущему спектру как сумма оценки значения шумовых составляющих спектра в полосе пропускания и параметра обнаружения.

Достоинством алгоритма с фиксированным порогом является его наглядность. Пользователь сам может установить порог обнаружения в нужное положение. Однако если поиск ведется в широком диапазоне, то в его отдельных областях шумовые составляющие спектра могут иметь разное значение. И выставленное фиксированное значение порога обнаружения для одних областей может оказаться завышенным – будет наблюдаться пропуск слабых станций, а для других заниженным – шумовые выбросы будут приниматься за сигналы станций. Поэтому для диапазонов с неравномерным спектром шумовых составляющих целесообразно использовать алгоритм «с плавающим порогом», поскольку в этом алгоритме порог обнаружения подстраивается под спектральные значения шума. Однако следует быть внимательным при выборе параметра обнаружения. Чем больше значение параметра обнаружения, тем меньше чувствительность алгоритмов, и, наоборот, чем меньше значение, тем больше становится чувствительность, что может привести к ложному обнаружению. Обычно значение параметра обнаружения устанавливается в пределах 10 – 15 дБ.

Алгоритм «по накопленному спектру» для поиска каналов использует не текущий, а накопленный спектр. В алгоритме используется фиксированный порог обнаружения, как и в алгоритме с фиксированным порогом. Использование накопленного спектра приводит к тому, что ширина полос найденных каналов в ходе поиска может только увеличиваться, что иногда приводит к слиянию соседних каналов. Алгоритм целесообразно использовать для занесения в базу данных всех станций, которые хотя бы один раз выходили в эфир.

Алгоритм «по превышению эталонного спектра» использует в качестве критерия обнаружения сигналов превышение текущего спектра над эталонным спектром. В качестве эталонного спектра может быть использован накопленный спектр, сохраненный в файле или текущий накопленный спектр (программа предложит использовать его в случае, если в момент включения поиска эталонный спектр не был загружен из файла). В качестве порога обнаружения используется сумма значений эталонного спектра на этой частоте и параметра обнаружения. Кривая порога обнаружения отображается на графике спектра. Данный алгоритм целесообразно использовать для поиска новых станций. Для корректировки эталонного спектра в программе имеется редактор эталонного спектра.

В процессе поиска центральные частоты и полосы каналов динамически корректируются. Для коррекции используется алгоритм рекуррентного усреднения значений левой и правой границы каналов. Если соседние частотные каналы перекрываются, то в дальнейшем они принимаются за один канал. В качестве времени обнаружения такого канала принимается время обнаружения канала, найденного первым.

Во всех режимах поиска доступен режим фонового сканирования обнаруженных сигналов. Если выполняется режим поиска и включено фоновое сканирование, то при обнаружении очередного нового канала процесс поиска прерывается, аппаратура переходит в режим сканирования и производит однократное сканирование на частоте обнаруженного канала. При фоновом сканировании в качестве ответов, возвращаемых аппаратурой, можно задать запись спектра обнаруженного источника, запись звука в течение заданного времени и запись временной выборки сигнала для последующего технического анализа. После однократного сканирования найденного канала поиск каналов продолжается.

Если включена опция «Циклическое сканирование активных каналов», то сканирование каналов, превышающих порог обнаружения, будет циклически повторяться. Но следует отметить, что если в системе имеется один приемник, то его постоянные переходы в режим сканирования будут существенно снижать скорость поиска новых каналов.

При переходе в режим «Сканирование» каналы из таблицы «Поиск» переходят в таблицу частот задания на сканирование.

Измерение напряженности поля

В режиме «Измерение» программы СМО-ПАИ имеется возможность измерения напряженности электрического поля. В [6] рассмотрены режимы измерения напряженности поля приемником АРК-Д1ТР по энергетическим спектрам сигналов.

Значение напряженности поля вычисляется с учетом кривой калибровки измерительной антенны, а также потерь в кабеле снижения. Узловые точки кривых калибровки хранятся в специальном текстовом файле. Недостающие значения калибровочных кривых восполняются с помощью сплайн-интерполяции.

В программном обеспечении СМО-ПАИ вычисление напряженности поля в заданной полосе можно осуществлять как по спектру, так и по временной выборке с помощью пикового, квазипикового и среднеквадратического детектора.

Детекторы реализованы программным методом. Они работают по временной выборке сигнала на промежуточной

частоте. Для выполнения требований [7] перед тем, как подвергнуть сигнал детектированию, он фильтруется в полосовом цифровом фильтре. Полосу цифрового фильтра можно задавать из списка, в том числе имеются полосы пропускания 9 и 120 кГц, рекомендованные государственным стандартом.

Предусмотрена возможность изменения постоянных времени заряда и разряда для квазипикового детектора. Для этого инерционная часть квазипикового детектора реализована в виде цифрового фильтра первого порядка с передаточной функцией первого порядка:

$$K(p) = \frac{1}{p\tau + 1}, \quad (1)$$

где p – комплексная переменная, τ – постоянная времени фильтра. При использовании интегрирования по методу трапеций передаточная функция дискретного фильтра будет иметь вид

$$K(z^{-1}) = \frac{1}{\frac{2}{T_d} \cdot \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \tau + 1} = \frac{\frac{T_d}{T_d+2\tau} + \frac{T_d}{T_d+2\tau} z^{-1}}{\frac{T_d-2\tau}{T_d+2\tau} z^{-1} + 1}, \quad (2)$$

где z – комплексная переменная, T_d – период дискретизации сигнала промежуточной частоты, τ – постоянная времени. Разностное уравнение такого цифрового фильтра:

$$y[k] = \frac{T_d}{T_d+2\tau} (x[k] + x[k-1]) - \frac{T_d-2\tau}{T_d+2\tau} y[k-1], \quad (3)$$

где $x[k]$ – отсчет сигнала на входе фильтра, $y[k]$ – отсчет сигнала на выходе детектора, k – номер временного отсчета. Период следования временных отсчетов равен T_d . Если входной сигнал $x[k]$ растет, то используются коэффициенты фильтра, рассчитанные по постоянной времени заряда, если сигнал $x[k]$ убывает, то используются коэффициенты фильтра, рассчитанные по постоянной времени разряда.

Результаты измерения напряженности поля выводятся на экран ПЭВМ, что иллюстрирует *рис. 4*, на котором представлена зависимость напряженности поля от частоты сигнала CDMA (Code Division Multiplexing Access). В левой части окна «Измерение» выводится гистограмма распределения измерений напряженности поля, а текущее значение напряженности отображается в информационном окне в верхней части экрана справа.

В программе предусмотрено протоколирование результатов измерений напряженности поля в текстовом файле. В том случае, если к ПЭВМ подключен приемник GPS, то в файл выводятся также географические координаты мо-

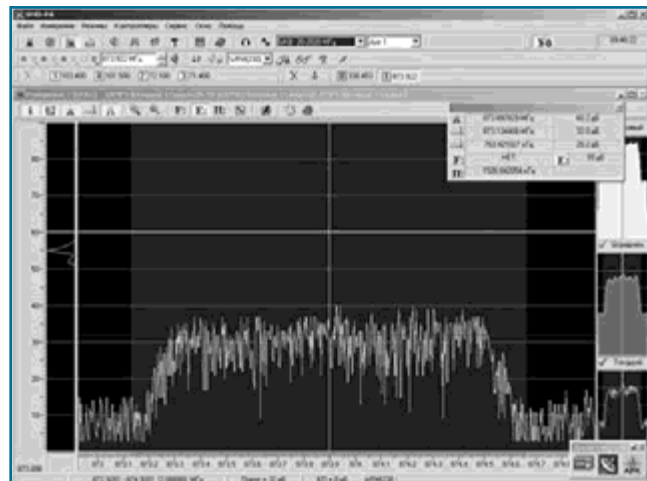


Рис. 4. Измерение напряженности поля сигнала CDMA



Рис. 5. Отображение распределения напряженности электромагнитного поля на местности в программе СМО-КН1

бильной станции. Это позволяет формировать протокол измерений зоны покрытия сигналом передатчика с привязкой к географическим координатам. В текстовый файл протокола измерений выводятся номер измерения, дата, время, широта, долгота, достоверность геодезических данных, скорость и направление движения, частота и полоса сигнала (в МГц), наиболее вероятное значение уровня сигнала.

Если имеется картографическое приложение СМО-КН1, то по сети с протоколом TCP/IP результаты измерения напряженности поля передаются в это приложение для обработки и отображения распределения напряженности электромагнитного поля на местности, как показано на *рис. 5*.

Измерение параметров излучений ИРИ и технический анализ

Измерение параметров излучений ИРИ осуществляется в режиме «Измерение». Режим обеспечивает:

- точное измерение частоты для сигналов с типовыми видами модуляции;
- измерение полосы сигнала и разноса его спектральных составляющих;
- автоматическое определение типа и параметров модуляции радиосигналов.

В качестве исходных данных для измерения частоты сигнала используется временная выборка сигнала промежуточной частоты. Алгоритм вычислений включает в себя полосовую цифровую фильтрацию, преобразование Гильберта, взвешивание комплексного сигнала окном, частотный сдвиг взвешенного сигнала, преобразование Фурье и, наконец, оценку частотного положения максимума спектра. Алгоритм обеспечивает точную оценку частоты сигнала, спектр которого симметричен и имеет один максимум. Ошибка измерения частоты численно соответствует нестабильности опорного кварцевого генератора приемника АРК-Д1ТР.

В режиме измерения полосы реализованы два метода оценки ширины полосы частот – метод «beta/2» и метод измерения ширины полосы частот по уровню «Х дБ».

В соответствии с международным регламентом радиосвязи и ГОСТ 23611.79 под шириной занимаемой полосы частот понимается такая полоса частот, за нижним и верхним пределом которой излучаемые средние мощности составляют заданные части (определенный процент beta/2) от всей средней мощности излучения. Обычно излучаемые мощности за пределами занимаемой полосы полагают одинаковыми и равными от всей мощности излучения. На практике обычно оказывается, что область частот, где производится непосредственное интегрирование мощности, содержит фоновые помехи, что ухудшает точность измерений. Влияют также флуктуации сигнала на трассе распространения, постоянные времени измерительных приборов.

Поэтому в рекомендациях соответствующих международных организаций, в частности МСЭ-Р, для возможности сравнения результатов измерения различными станциями радиоконтроля предлагается также применять метод оценки ширины полосы на уровне «Х дБ».

В этом случае за ширину полосы частот излучения принимается зона, за пределами которой любая дискретная составляющая спектра или непрерывная спектральная плотность мощности измеряемого сигнала, по крайней мере, на Х дБ меньше предварительно заданного опорного уровня 0 дБ.

Наиболее удобно использовать данный метод для измерения ширины контрольной полосы частот. Под контрольной полосой частот понимается частотная зона, за пределами которой любая составляющая спектра меньше уровня, приравненного к 0 дБ, на 30 дБ.

Основная сложность при использовании метода «Х дБ» состоит в установке нулевого уровня, относительно которого отсчитывается измерительный уровень. Методика установки нулевого уровня для различных классов излучения рассмотрена в нормативных документах по радиоконтролю.

Реализованный в программе алгоритм измерений позволяет устанавливать нулевой уровень двумя способами: автоматически или вручную. Если выбран автоматический способ, то нулевой уровень устанавливается автоматически с заданным смещением относительно максимума спектра в измерительной зоне. Если смещение равно 0 дБ, то нулевой уровень будет соответствовать максимальной составляющей спектра.

Методика измерения при автоматической установке нулевого уровня сводится к перемещению вертикального маркера F1 в зону спектра исследуемого сигнала и подаче команды «Измерить ширину спектра». После окончания расчетов вертикальный маркер F1 займет положение в середине полосы сигнала, горизонтальный маркер A1 переместится на нулевой уровень, горизонтальный маркер A2 переместится на уровень Х дБ, а ширина измерительной зоны примет значение полученной ширины спектра. Численное значение измеренной полосы отображается на информационной панели. Значение будет подсвечено зеленым фоном, как показано на рис. 6.

Следует отметить, что метод «Х дБ» дает правильные результаты в том случае, если спектр исследуемого сигнала превышает уровень шумов более чем на Х дБ. Точность метода повышается с увеличением разрешающей способности спектральной линзы.

При измерении по методу «beta/2» за ширину занимаемой полосы принимается такая полоса частот, за нижним и верхним пределами которой каждая из излучаемых средних мощностей равняется определенному проценту beta/2 от всей средней мощности данного излучения. Зна-

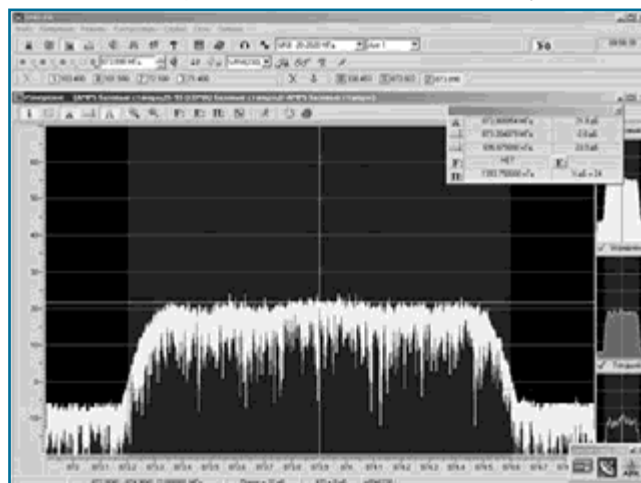


Рис. 6. Вид экрана в режиме «Измерение». Измерение ширины спектра



Рис. 7. Экспертная система автоматического распознавания вида модуляции

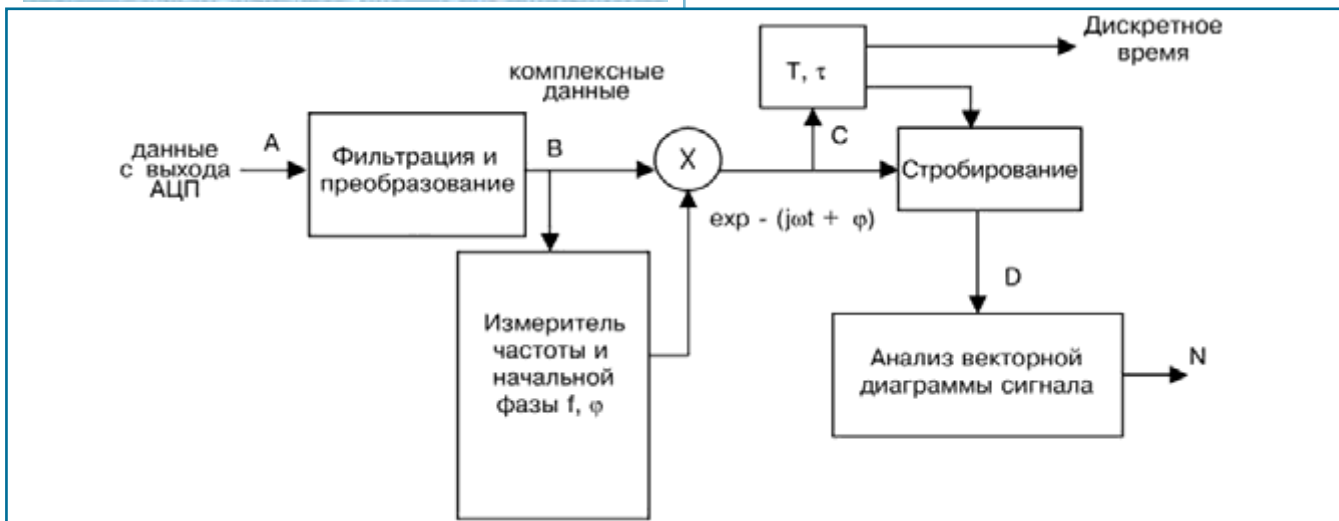


Рис. 8. Структурная схема анализа цифрового сигнала BPSK

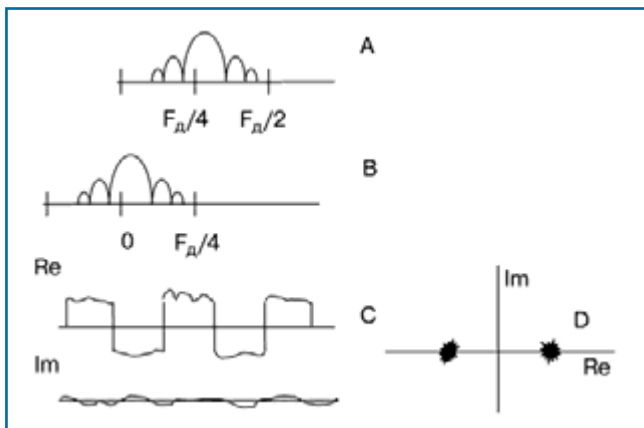


Рис. 9. Частотные и временные диаграммы в различных точках схемы распознавания BPSK

чения спектральной плотности мощности устанавливаются в 0, если мощность превышает уровень шума менее, чем на Y дБ. Для большинства сигналов в условиях окружающей среды значение $Y = 6$ дБ обеспечивает хорошие результаты. Значение $\beta/2$ следует брать равным 0,5%, в случае если для соответствующего класса излучений нет указаний по выбору этого параметра.

В программе СМО-ПАИ встроена экспертная система, которая позволяет автоматически определять вид модуляции и измерять ее параметры. Эта система используется

при решении задач радиоконтроля, связанных как с постоянным или выборочным контролем известных радиостанций, так и с поиском незарегистрированных источников, где существенным моментом является определение типа модуляции радиостанции. Автоматическое распознавание типа модуляции также может помочь правильно и быстро выбрать соответствующее декодирующее устройство.

Функция автоматического распознавания реализована с использованием технологии экспертных систем. приме-

няемая экспертная система может быть отнесена к интерпретирующему типу. В самом общем виде такая экспертная система может быть представлена в виде, показанном на рис. 7.

Система фреймов представляет собой упорядоченную структуру модулей-описаний различных сигналов с отдельными полями (слотами), которые предназначены для хранения конкретных значений существенных характеристик сигналов.

Распознавание сводится к сопоставлению значений полей фреймов с характеристиками наблюдаемого объекта (радиосигнала) и последующему логическому анализу по определенным правилам.

Для ускорения процедуры фреймы упорядочены в виде дерева. При этом распознавание идет от общих признаков класса сигналов к более специфическим. Процесс считается завершенным или при достижении границы – успешном сопоставлении характеристик сигнала с записями в полях последнего фрейма (листа) на конкретной ветке дерева, или при отсутствии совпадения на следующем, более низком иерархическом уровне.

Существенно увеличить быстродействие и правильность определения типа сигнала за счет сужения набора и диапазона значений ключевых параметров позволяет база знаний о конкретных радиостанциях.

Функционирование системы рассмотрим на примере бинарной фазовой манипуляции. Структурная схема распознавания приведена на *рис. 8*, частотные и временные диаграммы в различных точках системы на *рис. 9*.

Исследуемый сигнал с выхода ПЧ поступает на аналого-цифровой преобразователь. Полученные вещественные цифровые данные (точка А) преобразуются в комплексную форму с одновременной фильтрацией в полосе, определенной оператором, с последующим переносом на нулевую частоту (точка В). Производится оценка несущей частоты и начальной фазы сигнала по методу анализа спектральных линий [9]. Полученные значения служат для синхронизации по частоте и фазе (точка С). Далее осуществляется тактовая синхронизация для последующего стробирования и определения наличия дискретных посылок в сигнале и измерения скорости передачи информации. Для того чтобы строб-импульс располагался в середине отдельного информационного символа, измеряются период тактовой частоты и начальная задержка последовательности импульсов. После стробирования анализируется векторная диаграмма сигнала (точка D).

В случае сигнала BPSK (бинарная фазовая манипуляция) фрейм может иметь следующий вид

Фрейм	BPSK
Дискретность по времени	Да
Количество позиций вектора сигнала	2
Скорость манипуляции	2400

Первое поле содержит название, выводимое пользователем. Дискретность и количество позиций вектора сигнала являются существенными свойствами, по которым принимается решение о виде модуляции сигнала. В процессе сопоставления они играют главную роль. Скорость манипуляции является информационным параметром.

На данный момент экспертная система позволяет распознавать следующую номенклатуру как аналоговых, так и цифровых сигналов.

На несущей частоте система распознает следующие типы модуляции:

- телевизионный сигнал;
- простую несущую;
- амплитудную модуляцию (AM);
- амплитудную манипуляцию (ASK);
- балансную модуляцию (DSB);
- бинарную фазовую манипуляцию (BPSK);
- квадратурную модуляцию (QM);
- квадратурную фазовую манипуляцию (QPSK);
- минимальную манипуляцию (MSK);
- частотную модуляцию (FM);
- частотную манипуляцию (FSK);
- дифференциальную квадратурную фазовую манипуляцию со сдвигом, кратным $\pi/4$ ($\pi/4$ DQPSK).

На поднесущей частоте система распознает:

- тон;
- стандарты стереорадиовещания OIRT (русский) и CCIR (европейский);
- быструю частотную манипуляцию (FFSK);
- квадратурную фазовую манипуляцию со сдвигом частоты (OQPSK).

Кроме распознавания вида модуляции производится измерение ряда параметров сигналов: частоты несущей, частоты поднесущей, ширины полосы, параметров модуляции (в том числе коэффициента модуляции, девиации и скорости передачи для цифровых видов модуляции).

Что особенно важно, описанная экспертная система является открытой, она позволяет добавлять новые фреймы – описания новых сигналов без изменения своей общей структуры, сохраняя преемственность при расширении возможностей.

Достоинство подобной экспертной системы состоит в том, что она не имеет жестко определенного способа обработки и для каждого вида модуляции последовательность операций может быть своей.

На *рис. 10* показан пример работы экспертной системы по определению типа и параметров модуляции радиосигнала системы «Алтай».

Для более подробного технического анализа радиосигналов используется программа СМО-СТА, описание которой дано в [8].

Автоматизированный контроль сигналов выявленных источников

Автоматизированный контроль сигналов выявленных источников радиоизлучения осуществляется в режиме «Сканирование» программы СМО-ПАИ. Этот режим предназначен для автоматического наблюдения за одной или группой радиочастот (источников) и обеспечивает следующие возможности:

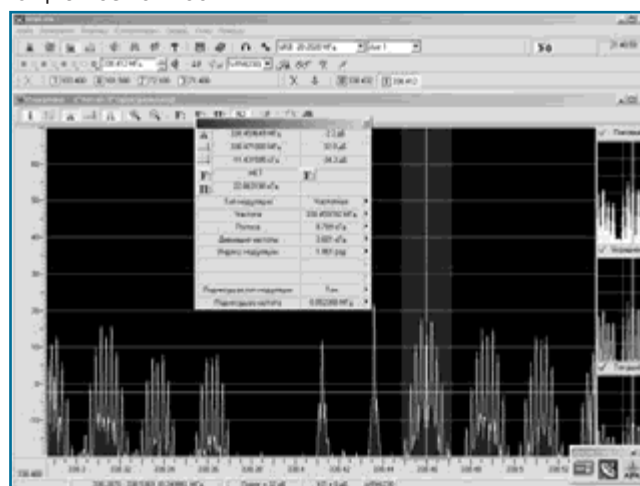


Рис. 10. Режим «Измерение». Автоматическое определение вида модуляции

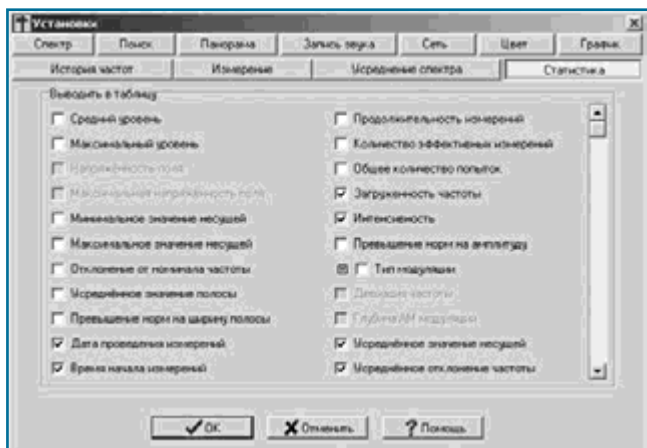


Рис. 11. Страница «Статистика» окна «Установки»

- обнаружение появления станции в эфире, регистрацию в базе данных времени выхода и амплитуду сигнала;
- сохранение в базе данных изображения (фотографии) панорамы спектров в момент обнаружения станции;
- сохранение в файле данных временной выборки сигнала;
- запись в звуковой файл радиопередачи обнаруженного источника;
- просмотр базы данных ранее обнаруженных источников;
- расчет статистических параметров по результатам сканирования.

Работа режима «Сканирование» осуществляется в соответствии с заданием, которое состоит из списка частот с указанием параметров обнаружения и регистрации источников. Список частот может формироваться вручную либо автоматически по частотам, найденным в ходе поиска в режиме «Спектр».

Для формирования сводной статистической таблицы с результатами сканирования вызывается страница «Статистика» окна «Установки», показанная на рис. 11. Отмеченные параметры будут заноситься в таблицу окна «Статистика» режима «Сканирование».

Просмотр базы данных производится путем перемещения по таблице результатов сканирования с помощью мыши или клавиатуры.

После запуска сканирования обнаруживаемые радиостанции будут появляться в таблице ответов окна «Сканирование». В таблице ответов отображается идентификатор (номер) записи в базе данных, номер контроллера, которым получен данный результат, дата и время обнаружения сигнала, значение частоты в соответствии с заданием, амплитуда и пеленг сигнала. В последнем столбце таблицы указываются компоненты ответа (результатов), полученные от контроллера. В ответе могут содержаться фотография спектра сигнала, звук и временная реализация сигнала.

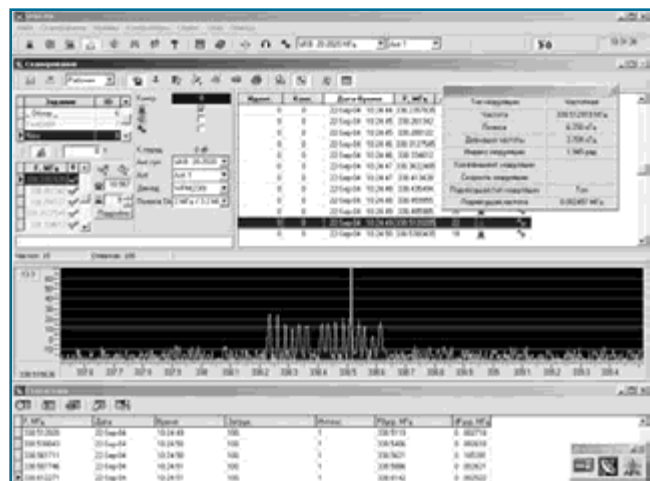


Рис. 12. Окно «Сканирование» программы СМО-ПАИ

В режиме «Сканирование» имеется возможность автоматического определения типа и параметров модуляции радиосигналов по короткой временной выборке, получаемой при сканировании, аналогично режиму «Измерение». Кроме того, имеется возможность статистической обработки результатов сканирования в целях вычисления необходимых параметров, например, вычисления отклонения несущей частоты от номинального значения и определения загрузки радиодиапазона.

На рис. 12 показан экран ПЭВМ в режиме «Сканирование».

Формирование и статистический анализ файла загрузки радиодиапазонов

Для воспроизведения результатов спектрального анализа и их статистической обработки используется программа СМО-АСПД. Программа отображает спектральные данные в виде диаграмм текущего спектра, накопленного спектра и частотно-временной диаграммы с регулируемым разрешением по частоте и по времени. С ее помощью можно производить поиск сеансов связи, оценку интенсивности радиосвязи и загруженности различных радиоканалов, а также расчет средней длительности сеансов связи в радиоканалах.

Исходным материалом для работы программы СМО-АСПД служат файлы спектральных (пеленгационных) данных (СПД), записанные программой СМО-ПАИ.

В основе статистической обработки информации лежит разбиение оси частот на радиоканалы. В ходе анализа для каждого канала собираются сведения о наблюдавшихся в нем сеансах связи. Это позволяет рассчитывать такие показатели радиоканалов, как загруженность и интенсивность использования канала, а также среднюю длительность сеансов связи. Благодаря тому, что обрабатываемые СПД-файлы, как правило, содержат результаты широкополосного контроля за радиообстановкой, программа СМО-АСПД

позволяет оценивать параллельно статистические свойства сотен и тысяч радиоканалов. Сетка частот, определяющая разбиение оси частот на радиоканалы, должна быть известна до начала процедуры анализа.

Сведения о разбиении оси частот на радиоканалы и параметры обработки разных каналов хранятся в базе данных программы. Эти сведения включают:

- 1 данные о центрировании и ширине радиоканалов, определяющие разбиение оси частот на анализируемые отдельно частотные поддиапазоны;
- 2 минимально возможную длительность сигналов, позволяющую подавить случайные всплески спектральной активности, возникающие из-за неточности установки порога или переходных процессов в аппаратуре;
- 3 минимальную длительность паузы, позволяющую предотвратить учет временного пропадания сигнала (например, вследствие замираний) в качестве завершения предыдущего и начала нового сеанса связи.

Статистическая обработка производится в два этапа. На первом этапе происходит выявление количества и временной привязки сеансов связи. Для повышения достоверности выявления сеансов связи используется априорная информация о возможной продолжительности сигналов и пауз в радиоканалах. На втором этапе производится расчет итоговых показателей для радиоканалов.

Первый этап стартует сразу после загрузки нового СПД-файла. Руководствуясь заданным разбиением оси частот на радиоканалы, программа производит анализ изменения во времени интенсивности сигналов в каждом из каналов с целью определить наиболее достоверное распределение сигналов и пауз. Этап выявления временных границ активности радиоканалов завершается созданием таблицы обнаруженных сигналов.

Программа СМО-АСПД ориентирована на широкополосный анализ радиообстановки, поэтому детальный отчет о свойствах всех проанализированных радиоканалов может оказаться излишне объемным. В связи с этим на втором этапе программа предлагает следующие две основные формы представления итогов анализа:

- 1 графические информационные диаграммы, отражающие наиболее общие свойства анализируемой совокупности радиоканалов;
- 2 детальные табличные отчеты, составляемые для заранее заданного списка контрольных частот (радиоканалов).

На рис. 13 представлено главное окно программы СМО-АСПД с результатами статистического анализа радиосигналов системы NMT-450.

В нижней части окна изображен текущий спектр, в средней части окна частотно-временная диаграмма, в верхней части построена диаграмма накопленного спектра и график средней загрузки радиоканалов.

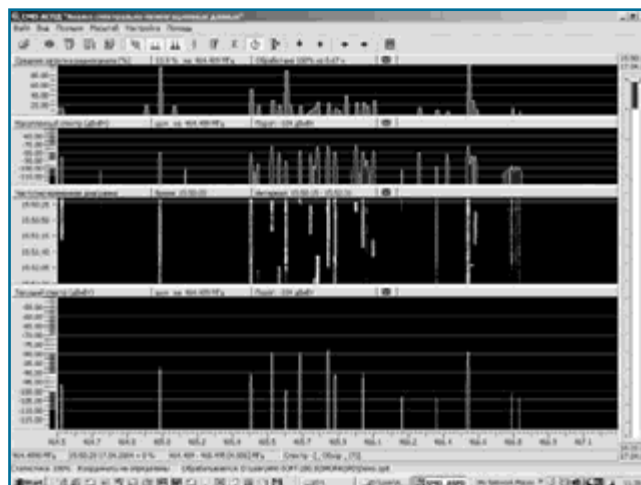


Рис. 13. Окно программы СМО-АСПД

В заключение необходимо отметить, что приемник АРК-Д1ТР является не только сертифицированным устройством, способным решать отдельные измерительные задачи, но также средством, на базе которого могут строиться сложные автоматизированные измерительные системы радиоконтроля. С

Литература

1. Ашихмин А.В., Сергеев В.Б., Сергиенко А.Р. Радиоприемные тракты комплексов автоматизированного радиоконтроля: особенности, решения и перспективы. /Специальная техника, 2002, Специальный выпуск, с. 57 – 64.
2. Сергеев В.Б., Сергиенко А.Р., Переверзев С.Б. Приемник панорамный измерительный АРК-Д1ТР. /Специальная техника, 2004, №3, с. 50 – 57.
3. Рембовский А.М., Ашихмин А.В., Козьмин В.А. Наземные мобильные станции автоматизированного радиомониторинга. ИНФОРМОСТ радиоэлектроника и телекоммуникации, 2003, №6 (30), с. 29 – 35.
4. Сертификат № 13618 Госстандарта России от 03.12.2002 г. о внесении приемника панорамного измерительного АРК-Д1ТР в реестр средств измерения РФ под № 23924-02.
5. Сертификат № 17735 Госстандарта России от 04.06.2004 г. о внесении конверторов выносных АРК-КНВ4И в реестр средств измерения РФ под № 26994-04.
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, 2003, Специальный выпуск, с. 9 – 18.
7. ГОСТ Р_51319-99 «Приборы для измерения промышленных радиопомех». Госстандарт России, Москва. 1999.
8. Беляков А.А., Быковников В.В., Трембачев А.В. Аппаратура и программное обеспечение для автоматизированного технического анализа радиосигналов. /Специальная техника, 2003, Специальный выпуск, с. 20 – 26.
9. Скляр Бернард. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003, 1104 с.