

Переверзев Сергей Борисович
Сергеев Виктор Борисович
Сергиенко Александр Ростиславович

Средства панорамного анализа радиочастотного спектра и измерения параметров радиосигналов.

I. Приемник панорамный измерительный АРК-Д1ТР.

Вместе со стремительным ростом количества систем связи и средств передачи данных с использованием радиоканала не менее стремительно растет нагрузка доступного для использования диапазона частот. Существенное препятствие внедрению новых систем связи представляет перегрузка этого диапазона и, как одно из следствий, сложная помеховая обстановка и взаимное влияние радиосредств на качество функционирования друг друга. Следующую серьезную проблему представляет собой несанкционированное или неправильное использование радиопередающих средств, зачастую совместно с другими, гораздо более серьезными, противоправными действиями.

В указанных условиях огромное значение приобретает использование государственными правоохранительными и контролирующими органами, а также техническими службами частных фирм средств панорамного анализа загрузки диапазона, поиска несанкционированных источников излучения, технического анализа и измерения параметров сигналов. Выполнение этих задач в сегодняшних условиях сложной эфирной обстановки требует применения технических средств с соответствующими функциональными возможностями и характеристиками.

Ведущими мировыми производителями задача создания радиоприемных панорамно-измерительных средств нового поколения была решена путем широкого применением в составе изделий быстродействующих цифровых узлов обработки информации, управления и сопряжения с внешними устройствами. Вместе с тем очевидно, что в России до последнего времени присутствовали лишь иностранные образцы подобной техники. Последнее обстоятельство шло вразрез с желанием потенциальных пользователей не только приобрести удовлетворяющее сегодняшним реалиям оборудование, но и сделать это с наименьшими финансовыми затратами, обеспечив к тому же в будущем оперативную техническую поддержку.

Тем приятнее оказался факт сертификации Госстандартом РФ первого панорамного измерительного цифрового приемника российского производства АРК-Д1ТР. Приемник панорамный измерительный АРК - Д1ТР (далее по тексту – приемник) предназначен для визуального наблюдения и измерения параметров спектров радиосигналов в частотном диапазоне от 20 до 2020 МГц в составе комплексов радиомониторинга и выявления технических каналов утечки информации.

Приемник изготавливается в виде переносного прибора настольного типа в составе двух блоков - блока ЦТ1 и блока АЦО1. Внешний вид приемника со стороны задних панелей блоков приведен на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1. – Внешний вид приемника

Приемник является функционально законченным изделием и обеспечивает прием сигнала, его частотную селекцию в диапазоне, оцифровку, обработку с помощью установленного непосредственно в изделии программного обеспечения, и выдачу спектральных данных для дальнейшей обработки и визуализации.

Технические характеристики приемника панорамного измерительного АРК-Д1ТР:

- Диапазон частот входного сигнала 20 ... 2020 МГц. С дополнительными устройствами - 9кГц...18 ГГц.
- Скорость панорамного анализа в рабочем диапазоне 150 МГц/с.
- Стабильность частоты опорного генератора $2 \cdot 10^{-6}$.
- Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения частот:
±3 кГц на частотах от 20 до 1012 МГц;
±6 кГц на частотах свыше 1012 до 2020 МГц.
- Программно переключаемые полосы обзора 2 МГц, 1 МГц, 250 кГц.
- Допускаемая абсолютная погрешность установки полосы обзора ±4 кГц.
- КСВН по входу при номинальном входном сопротивлении 50 Ом не более 3.
- Уровень собственных шумов не более:
минус 116 дБм (минус 9 дБмкВ)^{*)} – на частотах от 20 до 1012 МГц;
минус 113 дБм (минус 6 дБмкВ) – на частотах свыше 1012 до 2020 МГц.
- Односигнальная избирательность по побочным каналам на зеркальных и промежуточных частотах не менее 70 дБ; избирательность по побочным каналам на комбинационных частотах должна быть не менее 70 дБ (кроме участка частот от 1012 до 2020 МГц, на котором избирательность по побочным каналам на комбинационных частотах не нормируется).
- Максимально допустимый сигнал на входе приемника 100 мВ.
- Диапазон измеряемых уровней входного сигнала — от уровня, на 6 дБ превышающего уровень собственных шумов, до минус 7 дБм.
- Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения уровней:
Без дополнительной калибровки - ±3 дБ;
С дополнительной калибровкой - ±1,5 дБ.
- Интермодуляционные искажения 3-го и 2-го порядка не более минус 70 дБ.
- Разрешающая способность по различению двух сигналов не хуже 7 кГц.
- Питание приемника от внешнего источника постоянного тока номинальным напряжением 27 В.
- Допускаемые отклонения напряжения питания от номинального ±3 В.
- Потребляемый ток не более 1,2 А.
- Время установления рабочего режима не более 30 мин.
- Продолжительность непрерывной работы не менее 24 ч.
- Габаритные размеры не более (340 x 260 x 130) мм. При этом габаритные размеры блоков не более:
блока ЦТ1 – (300×255×65) мм;
блока АЦО1 – (300×255×65) мм.
- Масса не более 7,5 кг. При этом масса блоков не более :
блока ЦТ1 - 4,0 кг;
блока АЦО1 - 2,5 кг.
- Средняя наработка на отказ - не менее 10000 ч.
- Средний срок службы не менее 5 лет.
- Вид климатического исполнения – УХЛ3.1 по ГОСТ 15150 при рабочих условиях:
диапазон рабочих температур от +5 до +40 °С;
относительная влажность до 98 % при температуре +25 °С;
атмосферное давление – от 84 до 106,7 кПа.

^{*)} Здесь и далее дБм обозначает дБ относительно 1 мВт, а дБмкВ обозначает дБ относительно 1 мкВ.

Применение современной элементной базы, оригинальность схемотехнических решений, глубокие предварительные исследования межблочной электромагнитной совместимости обусловили низкий уровень собственных шумов приемника и практическое отсутствие пораженных частот. Калиброванный ВЧ-тракт, возможность подключения внешнего высокостабильного генератора частоты определяют высокую точность измерений частоты, полосы и амплитуды сигнала.

Все перечисленные достоинства приемника позволяют говорить о двух его общих областях применения.

Во-первых, приемник может поставляться потребителям исключительно как измерительное средство в составе комплекса радиоконтроля или автономно под управлением ПЭВМ. Причем комплекс также может быть создан самим пользователем на базе имеющегося у него оборудования и написанного им программного обеспечения. При желании пользователя возможны дополнительная поставка измерительных калиброванных антенн на диапазон 9 кГц – 18 ГГц и повышение диапазона рабочих частот панорамного анализа до 6ГГц либо до 18ГГц применением выносных дистанционно управляемых конвертеров частоты АРК-КНВ2, АРК-КНВ4.

Во-вторых, возможно применение приемника в качестве элемента комплекса радиоконтроля и/или поиска технических каналов утечки информации. Так, приемник входит в состав комплектов многофункционального портативного комплекса радиомониторинга и выявления каналов утечки информации АРК-Д1ТИР, сертифицируемого в системе Гостехкомиссии при Президенте РФ, и системы дистанционного радиомониторинга удаленных помещений АРК-Д3Т.

Появление на рынке средств безопасности нового изделия не осталось незамеченным специалистами. В феврале 2003 года приемник панорамный измерительный АРК-Д1ТР был награжден медалью I степени VIII Международного Форума «Технологии Безопасности – 2003».

Структурная схема приемника АРК-Д1ТР приведена на рисунке 1.2.

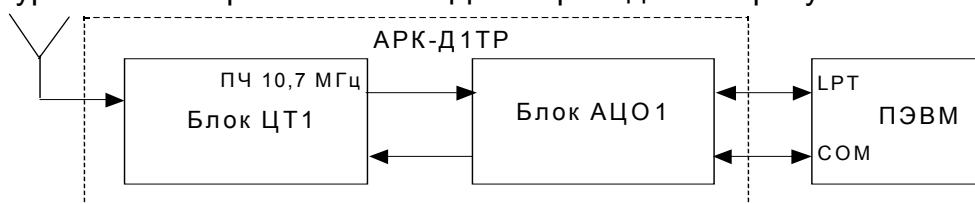


Рисунок 1.2. - Структурная схема приемника АРК-Д1ТР

Блок ЦТ1 предназначен для приема радиосигналов частотой от 20 до 2020 МГц и их преобразование в промежуточную частоту 10,7 МГц.

Структурная схема блока ЦТ1 приведена на рисунке 1.3.

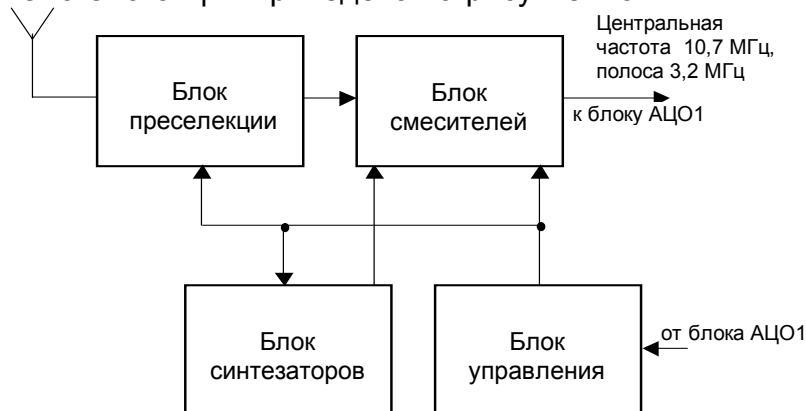


Рисунок 1.3. - Структурная схема блока ЦТ1.

Блок преселекции предназначен для ослабления прохождения сигналов на побочных каналах и снижения динамического диапазона сигнала на входе первого смесителя тюнера. Блок синтезаторов формирует сетку опорных частот для блока

смесителей. В блоке смесителей осуществляется перенос сигналов с радиочастот на промежуточные частоты и подавления внутренних зеркальных каналов.

Блок управления обеспечивает прием команд, передачу данных и питающих напряжений в блоки синтезатора, преселекции и смесителей тюнера, синхронизацию работы блоков ЦТ1 и АЦО1.

Вторая основная конструктивная единица приемника, блок АЦО1, состоит из блока аналоговой обработки (АО), блока цифрового сигнального процессора (ЦСП), контроллера управления и блока питания. Структурная схема блока АЦО1 представлена на рисунке 1.4.

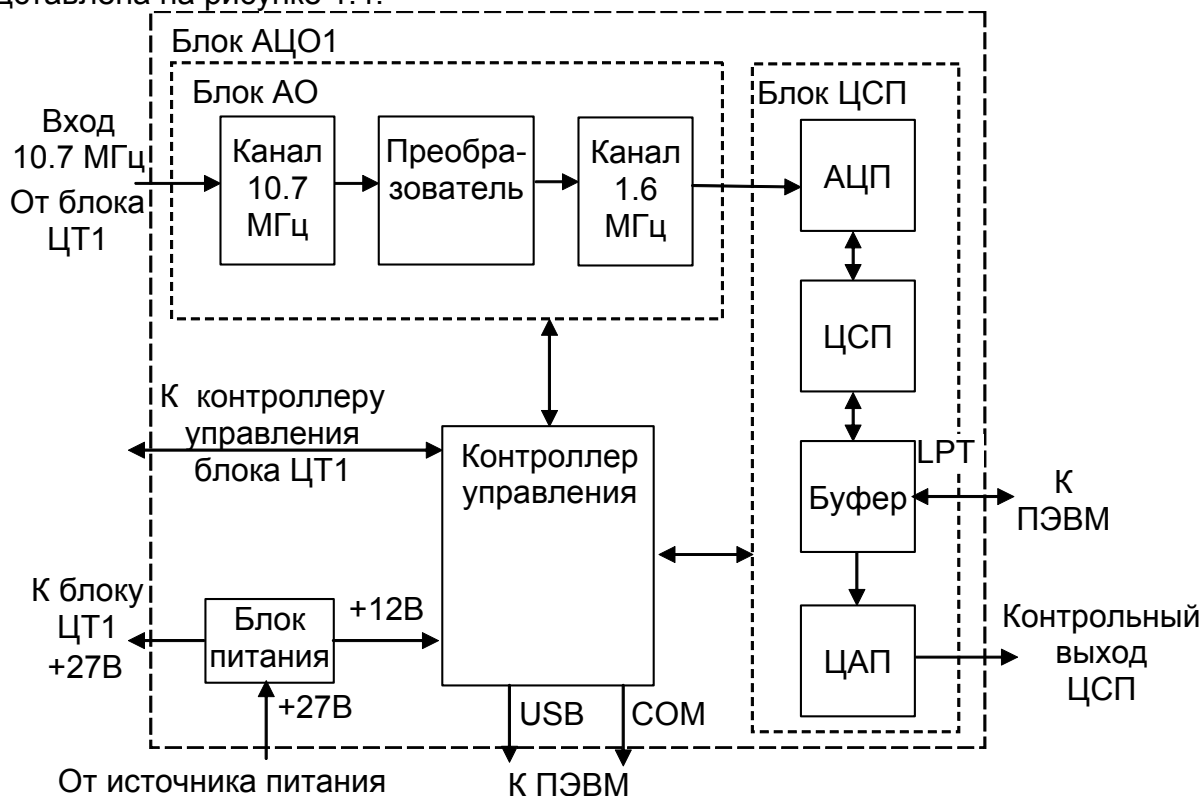


Рис.1.4. Структурная схема блока АЦО1.

Блок АО осуществляет подготовку выходного сигнала тюнера к оцифровке и дальнейшей цифровой обработке в блоке ЦСП. При этом происходит перенос сигнала с промежуточной частоты приемника 10,7 МГц на входную частоту блока ЦСП 1,6 МГц, а также усиление сигнала для нормальной работы ЦСП. Преобразователь содержит смеситель и гетеродин, формирующий опорный сигнал. Полоса пропускания фильтра симметрична относительно входной частоты 10,7 МГц и выходной частоты 1,6 МГц и составляет 3,2 МГц. Блок АО обеспечивает подавление зеркальных каналов не хуже, чем на 70 дБ.

В блоке ЦСП происходит преобразование аналоговых сигналов в цифровой вид для дальнейшей обработки и передачи данных в ПЭВМ. Состоит он из аналого-цифрового преобразователя (АЦП), собственно ЦСП и схем сопряжения с ПЭВМ. Данные от ЦСП поступают через LPT-порт в ПЭВМ для окончательной обработки, сохранения и визуализации в удобной форме.

Контроллер управления предназначен для управления блоком АЦО1, а также для организации обмена информацией с блоком ЦТ1 и с управляющей ПЭВМ. Команды от ПЭВМ поступают в контроллер управления по кабелю последовательного интерфейса. USB порт предоставляет дополнительные возможности связи контроллера управления с ПЭВМ.

Программное обеспечение верхнего уровня установлено на управляющей ПЭВМ и, как уже было сказано, решает задачи управления всеми блоками приемника путем передачи команд контроллеру управления блока АЦО1 и блоку управления в составе ЦТ1. Кроме того, под управлением этого ПО происходит ввод в ПЭВМ данных из

приемника, их сохранение, конечная обработка и отображение в графическом или таблично-числовом виде.

Требования к ПЭВМ относительно невелики, т. к. приемник располагает собственными вычислительными ресурсами и самостоятельно осуществляет первичную обработку эфирных данных. ПЭВМ должна иметь процессор не хуже Pentium 233, ОЗУ объемом не менее 64 Мб, свободные COM и LPT1 порты. Программное обеспечение работает под управлением ОС Windows 95 OSR2, Windows 98.

В зависимости от целей использования приемника в комплект поставки могут входить различные комплекты программного обеспечения. В качестве базовой программы используется программа D1TR_M.

Программа D1TR_M предназначена для управления приемником и отображения в реальном времени результатов быстрого спектрального анализа радиосигналов с управляемым разрешением от 3,125 кГц до 390,625 Гц. Окно программы показано на рисунке 1.5.

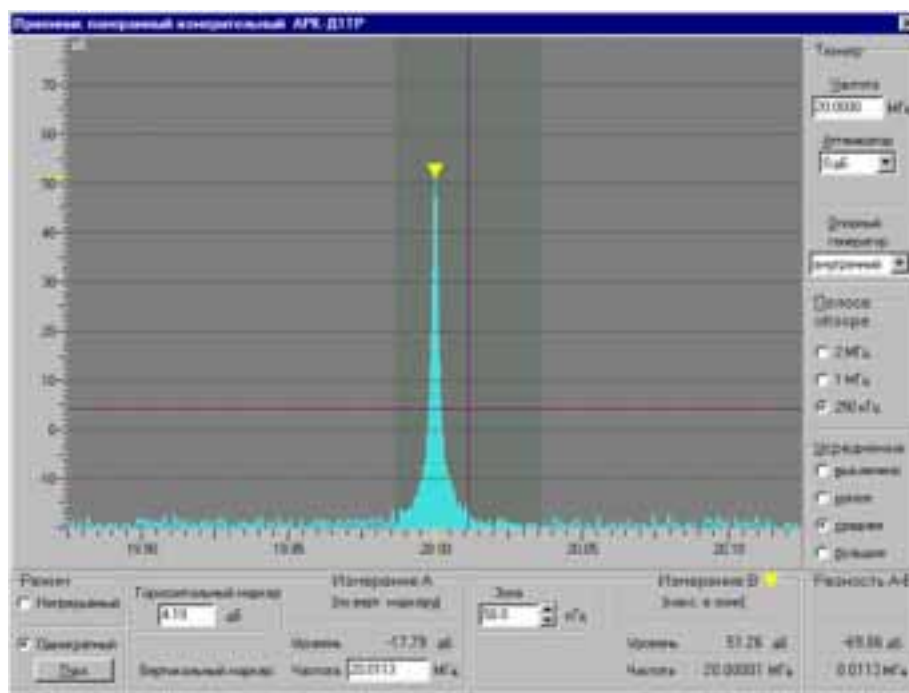


Рисунок 1.5. - Графический интерфейс программы D1TR_M.

В рабочем окне программы спектральные данные отображаются на графике, по горизонтальной оси которого откладываются значения частот в мегагерцах, а по вертикальной оси – уровень в децибелах относительно величины 1 мкВ. Напомню, что предел абсолютной допускаемой погрешности измерения частоты составляет в диапазоне 20...1012 МГц ± 3 кГц на частотах, а в диапазоне 1012...2020 МГц ± 6 кГц, точность установки полосы ± 4 кГц, а предел абсолютной допускаемой погрешности измерения уровня ± 3 дБ.

Как на графике, так и в числовом виде в рабочем окне программы отображены следующие данные и параметры:

- значения уровня и частоты по вертикальному маркеру графика (текущей частоты);
- значения частоты с максимальным уровнем сигнала в зоне измерения и само значение максимального уровня;
- разность между указанными в первых двух пунктах частотами и уровнями соответственно.

В этом же окне задается режим и параметры алгоритма, при которых производится измерение. Среди этих параметров – полоса частот, доступная для одновременного обзора, степень усреднения поступающих спектральных данных,

режим наблюдения спектра.

Меняя полосу обзора, можно получать более детализированную или более широкую картину интересующего участка спектра. Манипуляции степенью усреднения дают мгновенные быстроменяющиеся или статистически сглаженные результаты при отображении спектра. С помощью выбора режима наблюдения спектра можно получить его мгновенную фотографию или наблюдать спектр в динамике. Ширина зоны измерения (симметричной относительно вертикального маркера) также устанавливается пользователем.

II. Многофункциональный портативный комплекс радиомониторинга и выявления каналов утечки информации АРК-Д1ТИР.

Безусловно, ранее рассмотренный панорамный измерительный приемник АРК-Д1ТР является самостоятельным устройством, обладающим широким набором измерительных, исследовательских и поисковых функций. Тем не менее, возможности многофункционального портативного комплекса радиомониторинга и выявления каналов утечки информации АРК-Д1ТИР на базе этого приемника намного выше.

Комплекс АРК-Д1ТИР в основной конфигурации в отличие от приемника АРК-Д1ТР состоит не из двух, а из четырех основных конструктивных единиц. Помимо уже известных блока тюнера (блок ЦТ) и блока аналого-цифровой обработки сигнала (блок АЦО1) в этом изделии присутствуют специализированный блок питания и блок антенных коммутаторов, к антенным входам которого может быть подключен комплект антенн – широкополосная антенна АРК-А2М, опорная наружная антенна АРК-А5 с усилителем АРК-АУ1 и специализированная автомобильная антенна АРК-А7И. Кроме того, к КВ-входам антенного коммутатора могут быть подключены активный и пассивный сетевые пробники АРК-АСП2 и АРК-ПСП2, а к специальному разъему шины управления «Д3» и выделенному антенному входу «АНТ. 4» подключается также выносной модуль АРК-ВМ-К2 с комплектом удаленных антенн АРК-А2А1, АРК-А11А1 и АРК-А11К.

Последнее означает, что, помимо одновременного подключения к аппаратуре комплекса большого количества дополнительных устройств, стала возможной организация более эффективной при поиске источников радиоизлучений распределенной антенной системы, а также системы дистанционного радиомониторинга удаленных помещений. Это достигается с помощью выносных модулей, которые устанавливаются в удаленных помещениях и создают своеобразный «эффект присутствия» аппаратуры в каждом из контролируемых помещений.

Как и в случае с АРК-Д1ТР, управление функционированием изделия осуществляется с помощью IBM - совместимой ПЭВМ посредством обмена данными через LPT-, COM- или USB-порт. Исходя из нужд пользователя, на ПЭВМ могут быть установлены программные пакеты СМО-DX, СМО-ПА, СМО-СТА. Функциональное предназначение этих пакетов различно и включает следующие основные возможности.

Основные функции при работе с программой СМО-DX.

- оперативная оценка радио-обстановки;
- спектральный анализ радиосигналов в режиме реального времени;
- работа в соответствии с различными заданиями, определяемыми пользователем;
- оперативный просмотр получаемой панорамы (одновременно с ее обновлением);
- запись файлов накопленного спектра в базе данных;
- просмотр и работа с ранее накопленной панорамой спектра;
- выявление новых источников радиоизлучений (ИРИ);

- оценка корреляции принимаемого низкочастотного сигнала с акустическим колебанием внутри помещения с использованием различных акустических тестовых сигналов, в том числе по естественному акустическому фону;
- обнаружение радиомикрофонов различных видов, в т.ч. скремблированных и использующих сложные виды модуляции;
- определение местоположения радиомикрофонов в пределах помещения;
- сохранение в базе данных параметров новых и идентифицированных ИРИ;
- работа с базой данных зарегистрированных источников;
- создание отчетов по результатам работы;
- одновременная работа других приложений параллельно с работой данной программы.

Основные функции при работе с программой СМО-ПА

- отображение в реальном времени результатов быстрого панорамного спектрального анализа радиосигналов;
- запись файлов накопленного спектра и частотно-временной загрузки радиодиапазона;
- прослушивание и запись на жесткий диск радиосигналов с аналоговой и цифровой модуляцией;
- работа в режиме спектральной линзы с изменяющимся разрешением от нескольких десятков килогерц до десятков герц;
- измерение напряженности электрического поля (при наличии калиброванных антенн);
- формирование файла с протоколом измерений электрического поля;
- точное измерение частоты и полосы спектра сигнала;
- автоматический поиск активных радиоканалов и сохранение списка найденных частот в базе данных;
- формирование отчетов с результатами поиска активных каналов;
- сканирование заданного списка частот, хранение результатов сканирования в базе данных;
- формирование отчетов с результатами сканирования;
- работа с базой данных зарегистрированных источников.

Основные функции при работе с программой СМО-СТА

- технический анализ радиосигналов в режиме реального времени и режиме отложенной обработки;
- отображение сигналов с масштабированием по времени и амплитуде;
- отображение спектров сигналов с различным разрешением и масштабированием по частоте;
- полосовая фильтрация сигналов;
- сдвиг сигналов по частоте (для более точной настройки и для демодуляции сигналов на несущей);
- детектирование сигналов, передаваемых на несущей (имеется амплитудный, частотный и фазовый детектор);
- определение частотных и временных параметров радиосигналов;
- определение полосы радиосигналов;
- возведение сигналов в квадрат и четвертую степень для распознавания фазовой модуляции;
- отображение временных и амплитудных гистограмм радиосигналов для распознавания цифровых видов модуляции;
- отображение графиков максимальной и минимальной девиации для определения структуры сигналов;
- запись сигналов на жесткий диск.

Основные технические характеристики аппаратуры АРК-Д1ТИР:

Основной диапазон рабочих частот, МГц (входы «АНТ.1»... «АНТ.4»)	20...2020
Дополнительные диапазоны рабочих частот:	
• при наличии сетевого пробника АРК-ВСПМ1, кГц	0,175...10
• при наличии конвертера АРК-КНВ125, МГц (входы «КВ АНТ.1», «КВ АНТ.2»)	0,01...20
• при наличии выносного модуля АРК-ВМ-К2, ГГц (вход «2-6 ГГц» конвертера АРК-ВМ-К2)	2,02...6
Скорость панорамного анализа, МГц/с	150 МГц/с
Пределы допустимой абсолютной погрешности измерения частот, кГц	
• на частотах от 0,175 до 10 кГц	$\pm 0,0003$
• на частотах от 0,01 до 20 МГц	$\pm 0,5$
• на частотах от 20 до 1012 МГц	± 3
• на частотах от 1012 до 2020 МГц	± 6
• на частотах от 2020 до 3000 МГц	± 9
• на частотах от 3000 до 4000 МГц	± 12
• на частотах от 4000 до 5000 МГц	± 15
• на частотах от 5000 до 6000 МГц	± 18
Чувствительность РПУ , ограниченная собственными шумами, при отношении (сигнал + шум)/шум 6 дБ, мкВ, не хуже	1
Пределы допустимой абсолютной погрешности измерения уровней входных сигналов:	
• в основном диапазоне рабочих частот, дБ, не более	± 3
• в дополнительных диапазонах рабочих частот, дБ, не более	± 6
Динамический диапазон РПУ по интермодуляции 3-го порядка, дБ, не менее	
Полоса частот одновременного обзора, МГц	70
Неравномерность частотной характеристики в полосе 2 МГц, дБ, не более	2
	$\pm 1,5$
Питание комплекса:	
Напряжение сети переменного тока, В	220 \pm 22
Постоянное напряжение, В	10...16
Мощность, потребляемая от электрической сети центральным модулем, ВА, не более	60
Масса центрального модуля, кг, не более	15
Габаритные размеры центрального модуля, мм, не более	306x250x255

Устройство и работа комплекса

На рисунке 2.1. представлена функциональная схема комплекса АРК-Д1ТИР. На схеме «Центральным модулем Д1ТИР» названа совокупность блоков панорамного измерительного приемника АРК-Д1ТР, блока антенных коммутаторов и блока питания.



Рисунок 2.2. - Центральный модуль ARK-D1TIP.

При использовании удаленных антенн или расширении частотного диапазона до 6ГГц применяется выносной модуль ARK-ВМ-K2.

На рисунке 2.3. показан внешний вид выносного модуля.



Рисунок 2.3. – Выносной модуль. Вид на переднюю и заднюю панели

На рисунке 2.4. представлена структурная схема выносного модуля. На схеме в кавычках показана маркировка входов и выходов. Блок конвертера КНВ2 выполняет роль преобразователя частоты сигнала, принимаемого в диапазоне 2 – 6 ГГц. ВЧ коммутатор коммутирует сигналы от трех антенн (которые могут быть подключены к выносному модулю) через антенный усилитель на вход «АНТ.4» комплекса ARK-D1TIP.

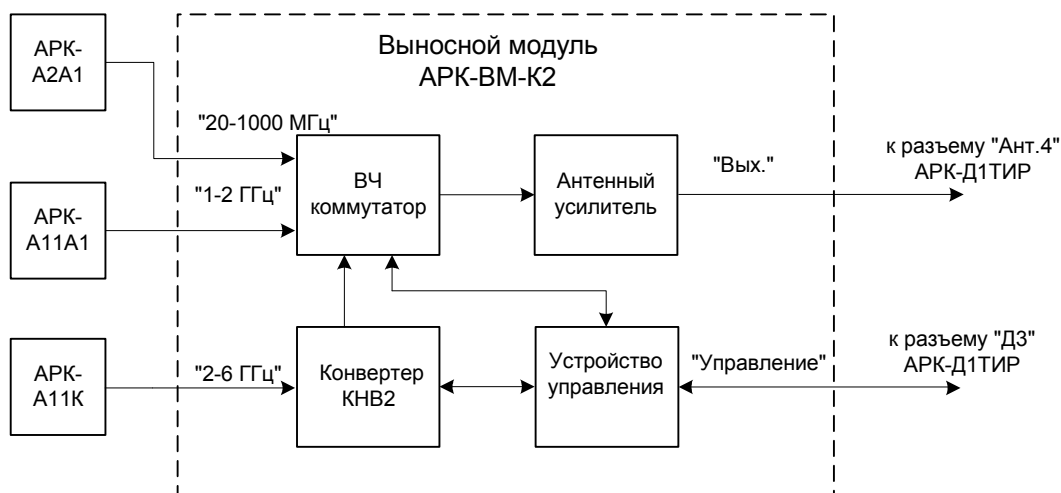


Рисунок 2.4. – Структурная схема выносного модуля ARK-ВМ-K2.

В настоящее время завершается процесс сертификации многофункционального портативного комплекса радиомониторинга и выявления каналов утечки информации ARK-D1TIP в Гостехкомиссии России при Президенте РФ.

Появление изделий ARK-D1TR и ARK-D1TIP на рынке средств безопасности - безусловно, новая ступень развития отечественной техники радиоконтроля и поиска источников радиоизлучения. Подобные факты позволяют российскому пользователю сохранить уверенность в том, что и в будущем при приобретении специализированной техники будет существовать выбор между отечественными и импортными изделиями.