НОСИМЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАДИОМОНИТОРИНГА

Рембовский Анатолий Маркович, доктор технических наук,
Ашихмин Александр Владимирович кандидат технических наук,
Сергиенко Александр Ростиславович

За последние годы были достигнуты определенные успехи в создании многофункциональных мобильных и портативных комплексов радиоконтроля и выявления технических каналов утечки информации повышенной производительности. Разработаны и серийно производятся комплексы третьего и четвертого поколения АРК-Д1Т и АРК-Д7М со скоростью панорамного анализа 150 и 2100 МГц/с [1]. Наряду с несомненными достоинствами подобных средств - многофункциональностью, высоким быстродействием, надежностью обнаружения сигналов, помехозащищенностью - они имеют основной недостаток: сравнительно большие габариты, вес и энергопотребление, невозможность работать при перемещении оператора . Даже комплексы из класса портативных, как правило, занимают объем кейса средней величины и функционируют только на временных или стационарных постах. Поэтому скрытная транспортировка подобных комплексов весьма затруднительна, скрытное применение - практически невозможно. В то же время, в некоторых условиях, например, при выявлении и локализации нелицензионных передатчиков, выполнении задач оперативно-розыскной деятельности (ОРД) или при проведении контртеррористических операций в силу известных причин имеется потребность именно в скрытном применении средств радиоконтроля с возможностью функционирования "на ходу". Кроме того, работа в полевых условиях накладывает жесткие требования на габариты, вес, энергопотребление комплекса, время его развертывания и запуска.

Концепция построения носимых комплексов (НК) автоматизированного радиомониторинга (АРМ) была представлена в [1]. Там же были определены основные варианты использования НК (скрытно носимый, открыто носимый, в стационарных условиях), исполнения (унифицированные по габаритам модули, допускающие размещение в папке, в разгрузочном жилете, в наплечной сумке) и управления (автономно без участия оператора, с частичным управлением оператором, отложенная обработка данных под управлением ПЭВМ на временных и стационарных постах).

В данной статье в соответствии с концепцией [1] представлены результаты разработки семейства носимых средств радиомониторинга АРК-НК на основе вновь созданных цифровых радиоприемных устройств (ЦРПУ) серии АРГАМАК.

1. ЦИФРОВОЕ РАДИОПРИЕМНОЕ УСТРОЙСТВО АРГАМАК

Ядром любого средства АРМ является цифровое РПУ, обеспечивающее возможность реализации требуемых функций. Можно выделить следующие основные функции АРМ, необходимые для решения широкого круга задач по выявлению и оценке параметров источников радиоизлучения (ИРИ) [2]:

- Поиск новых сигналов на основе быстрого панорамного анализа и сравнения полученной совокупности спектральных отсчетов с порогом, "эталонной" панорамой или со спектральными компонентами идентичного "опорного" тракта;
- Определение направления на ИРИ на основе корреляционно-интерферометрического метода;
- Регистрация радиосигналов в векторной форме для последующего технического анализа и определения параметров модуляции и передач;
- Измерение (оценка) и регистрация напряженности поля, уровня и параметров сигнала.

Производимые в настоящее время ЦРПУ АРК-ЦТ1, АРК-ЦТ2 (третьего поколения), АРК-ЦТ3 (четвертого поколения), позволяют решать перечисленные задачи. Параметры данных устройств приведены в таблице 1.

Таблица 1

	АРК-ЦТ1	**АРК-ЦТ3 (2 канала)**
Рабочий диапазон частот базового комплекта	20 МГц - 2020 МГц	9 кГц - 3000 МГц
Рабочий диапазон частот в максимальной конфигурации	9 кГц - 18 ГГц	9 кГц - 18 ГГц
Входной аттенюатор, дБ	10, 20, 30	10, 20, 30
Максимальное допустимое напряжение на входе	23 дБм	23 дБм
Коэффициент шума по входу: в диапазоне 25 - 1000 МГц свыше 1000 МГц	 не более 14 дБ не более 16 дБ	 не более 14 дБ не более 16 дБ
Нестабильность частоты опорного генератора	$1x10^{-6}$	$1x10^{-6}$
Относительная погрешность установки частоты (-20° С …+50° С)	$5x10^{-6}$	$1x10^{-6}$
Время настройки синтезатора, не более	10 мс	3 мс
Фазовый шум гетеродина при расстройке на 10 кГц	- 95 дБс/Гц	- 95 дБс/Гц

Избирательность и нелинейные искажения		
Ослабление помехи промежуточной частоты, не менее	70 дБ	70 дБ
Избирательность по зеркальному каналу	70 дБ	70 дБ
Динамический диапазон по интермодуляции 3 и 2 порядка	70 дБ	75 дБ
Неравномерность коэффициента передачи в рабочем диапазоне частот, не более	3 дБ	3 дБ
Сигнал промежуточной частоты		
Частота аналогового сигнала ПЧ	10,7 МГц	41,6 МГц
Полоса пропускания по выходу ПЧ	2 МГц	5 МГц
Дискретность установки частоты демодулятора	1 Гц	1 Гц
Рабочая температура, вес, габариты, энергопотребление		
Интервал рабочих температур	-10° С …+60° С	-20° С …+50° С
Напряжение питания	24 ... 30 В	24 ... 30 В
Потребляемая мощность, ВА, не более	18	50
Размеры (ширина х высота х глубина)	300 х 65 х 255 мм	450 х 140 х 300 мм
Масса	не более 4 кг	не более 6.5 кг

По своим конструктивным и массогабаритным параметрам данные изделия не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к носимым средствам. Учитывая опыт разработки и производства портативных пеленгаторов АРК-МК7 и аппаратуры ручного пеленгования АРК-РП1, а также размещения аппаратуры на различных носителях наземного и воздушного базирования, в т.ч. мобильной станции радиомониторинга и пеленгования Аргумент, были сформированы следующие основные требования к семейству ЦРПУ АРГАМАК, на базе которого должно строится семейство носимых средств:

- обеспечить его выполнение в виде сочетания двух автономно независимых конструкций - выносного ВЧ-ОВЧ-СВЧ тюнера АРГАМАК-Т с дистанционным управлением и модулей аналого-цифровой обработки;
- за основу построения принять аналоговый одноплатный тюнер диапазона 9 кГц-3 ГГц. Обеспечить рабочий диапазон частот базового комплекта 9 кГц - 3000 МГц с возможностью расширения верхней границы до 18 ГГц на основе серийно производимого тюнера АРК-КНВ4 [3];
- для обработки данных целесообразно использование двух модулей аналого-цифровой обработки с полосами одновременного анализа - 2 и 5 МГц, отличающихся функциональным назначением, быстродействием и, соответственно, энергопотреблением;
- обеспечить возможность использования ЦРПУ без доработки в многоканальных когерентных системах приема и обработки;
- конструктивное исполнение каждого из модулей должно позволять потенциальным потребителям использовать их для встраивания в свою аппаратуру. В качестве базового размера платы принять размер 100х160 мм, являющийся мировым стандартом для промышленного оборудования.

В основу технических требований к ЦРПУ положены требования, предъявляемые к аппаратуре класса В [5] при ограничениях по потребляемой мощности - аналоговый тюнер не более 6 Вт, модуль цифровой обработки сигнала не более 9 Вт. Выбор параметров класса А для носимых комплексов представляется нецелесообразным из-за габаритных и энергетических ограничений, предъявляемых к этому типу аппаратуры. Кроме того, предъявлены следующие специфические требования:

- возможность объединения нескольких ЦРПУ без доработки в систему с когерентными гетеродинами для построения многоканальных комплексов пеленгования;
- возможность использования внешнего опорного генератора с повышенной стабильностью частоты для измерительной модификации изделия АРГАМАК-И;
- наличие аналоговых выходов ПЧ с шириной полосы не менее 2 и 5 МГц для различных систем радиомониторинга.

1.1. ВЫНОСНОЙ ВЧ-ОВЧ-СВЧ ТЮНЕР АРГАМАК-Т

В результате проработки различных решений и моделирования был сделан выбор в пользу приведенной на рис 1. функциональной схемы аналогового тракта.

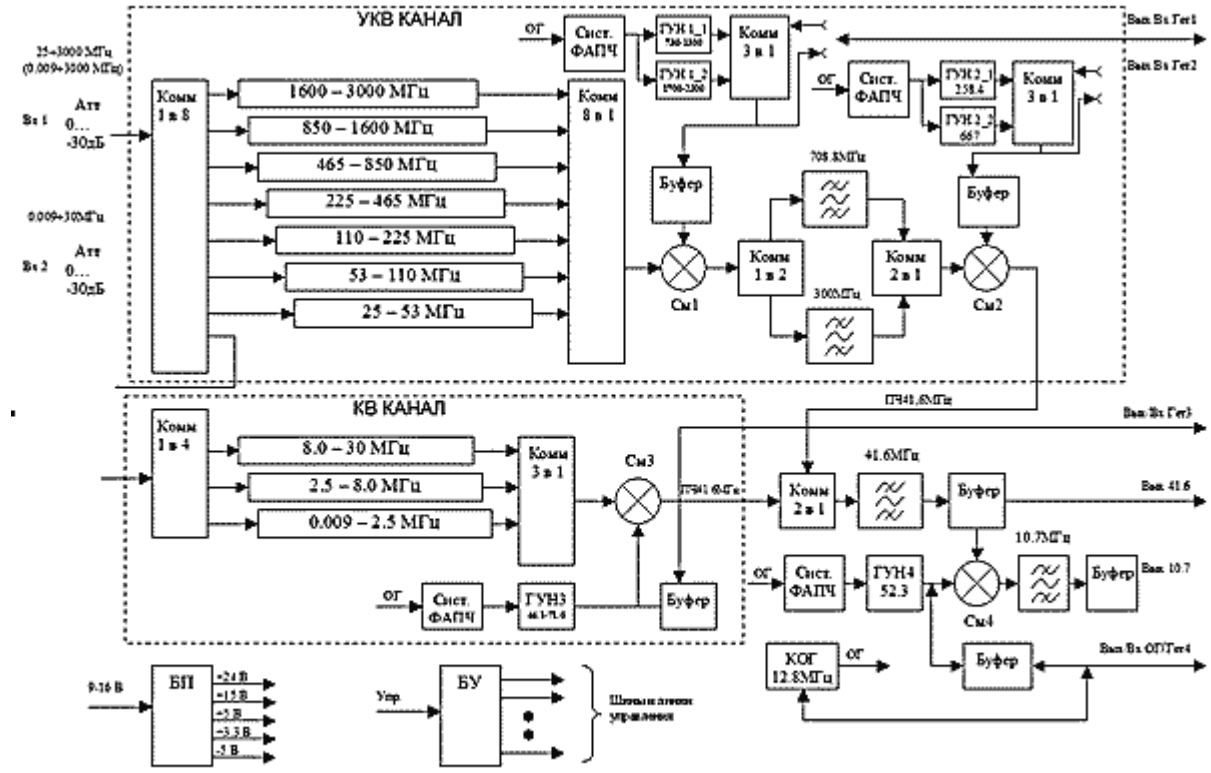

Рис 1. Функциональная схема аналогового тракта ЦРПУ АРГАМАК

К особенностям тюнера АРГАМАК-Т следует отнести применение следующих решений:

- использование в тракте преселекторов перестраиваемых фильтров позволило уменьшить потери прохождения сигналов при сохранении приемлемой избирательности по побочным каналам, что, в сочетании с применением высокоуровневых буферных усилителей с малым коэффициентом шума, позволило получить приемлемые показатели по нелинейности (IP_3 = 0дБм) при сравнительно небольшом коэффициенте шума ($F_ш$=12 дБ)
- для настройки фильтров использовано управление варикапами от цифро-аналоговых преобразователей, управляемых посредством микропроцессора. Индивидуальные настройки для каждого экземпляра тюнера сохраняются в энергонезависимом ЗУ, что позволяет получить малую неравномерность коэффициента передачи, как в полосе пропускания, так и во всем рабочем диапазоне частот;
- для синтезаторов 1-го гетеродина использованы системы ФАПЧ с "виртуальным" питанием, что позволяет реализовать широкие диапазоны перекрытия (700-1300 МГц, 1700-2300 МГц) и высокую скорость перестройки Т
- для когерентной работы нескольких тюнеров АРГАМАК-Т в составе многоканальных комплексов предусмотрена возможность использования любого из них в качестве источника сигналов гетеродинов, при этом остальные могут использовать эти сигналы в качестве своих гетеродинов.

Следует отметить, что достижение поставленной цели было достигнуто за счет комплекса мер, основными из которых можно считать:

- использование лучших современных компонентов ведущих мировых производителей;
- применение современных материалов и технологии, в частности многослойной печатной платы на материале "DURAVER® -E-Cu quality 104 ML", что позволило значительно сократить уровень потерь и влияние паразитных цепей. Достигнута плотность поверхностного монтажа около 10 эл/см^2, общее количество элементов устанавливаемых на плату порядка 1500.
- системное моделирование радиотракта позволило сбалансировать параметры его узлов.

Полученные характеристики тюнера приведены в таблице 2. Внешний вид печатной платы тюнера АРГАМАК-Т представлен на рис. 2, 3, вид на переднюю и заднюю панели тюнера - рис. 4.

Рис. 2. Печатная плата тюнера без экранов в технологическом исполнении для регулировки

Рис. 3. Печатная плата тюнера для установки в готовое изделие

Рис. 4. АРГАМАК-Т - вид на переднюю и заднюю панели

Таблица 2

Общие параметры:	
Рабочий диапазон частот базового комплекта	9 кГц - 3 ГГц
Рабочий диапазон частот в максимальной конфигурации	9 кГц - 18 ГГц
КСВН по входу	< 3
Дискретность настройки ВЧ тюнера по частоте	100 кГц
Входной аттенюатор	10, 20, 30 дБ
Максимальное допустимое напряжение на входе	23 дБм
Коэффициент шума по входу:	
в диапазоне 25 - 500 МГц	не более 12 дБ (тип.11)
в диапазоне 500 - 3000 МГц	12 - 14 дБ (тип.13)
Нестабильность частоты опорного генератора за сутки	$1x10^{-6}$
Относительная погрешность установки частоты при температуре от -20°С до +50°С	$1x10^{-6}$
Время настройки синтезатора, не более	3 мс
Фазовый шум гетеродина при расстройке на 10 кГц:	
в диапазоне 25 - 1000 МГц	-95 дБс/Гц
в диапазоне 1000 - 3000 МГц	-85 дБс/Гц
Избирательность и нелинейные искажения:	
Ослабление помехи промежуточной частоты	70 дБ
Избирательность по зеркальному каналу	70 дБ
Динамический диапазон по интермодуляции 3 и 2 порядка	75 дБ
Точка пересечения интермодуляции (IP_3) третьего порядка по входу, не менее	±1 дБм
Неравномерность коэффициента передачи в рабочем диапазоне частот базового состава, не более	±3 дБ
Сигнал промежуточной частоты:	
Частота аналогового сигнала ПЧ	10.7 МГц, 41.6 МГц
Полоса пропускания по выходу ПЧ 10,7 МГц	2 МГц
Полоса пропускания по выходу ПЧ 41,6 МГц	5 МГц
Рабочая температура, вес, габариты энергопотребление:	
Интервал рабочих температур:	
вариант 1	-20°С … +50°С
вариант 2	-40°С … +30°С
Напряжение питания	9 … 16 В
Потребляемая мощность, не более	6 ВА
Размеры (ширина х высота х глубина)	106х32х200 мм
Масса рабочего комплекта, не более	1 кг

Особое внимание при проектировании и разработке тюнера АРГАМАК-Т уделялось возможности обеспечения синхронной работы нескольких устройств в моноимпульсных систем радиомониторинга. Для организации синхронной работы гетеродинов приемника в составе комплекса из нескольких изделий АРГАМАК-Т на его плате размещены четыре разъема. Реализована возможность следующих режимов синхронизации:

- полностью автономная работа от внутреннего опорного генератора частотой 12,8 МГц и точностью $\pm 1x10^{-6}$;

- автономная работа синтезаторов частоты от внешнего опорного генератора, сигнал которого подается на один из четырех разъемов синхронизации (повышение точности установки частоты и возможность частотной синхронизации комплекса из нескольких изделий АРГАМАК-Т);
- автономная работа от внутреннего опорного генератора с выдачей сигнала опорной частоты на один из четырех разъемов синхронизации для частотной синхронизации комплекса из нескольких изделий АРГАМАК-Т;
- работа синтезаторов частоты от внутреннего опорного генератора с выдачей сигналов гетеродинов на четыре разъема для обеспечения синхронизации частот нескольких изделий АРГАМАК-Т с точностью до фазы (например, работа в составе пеленгаторных комплексов);
- режим полностью ведомых по частотам гетеродинов с отключенными внутренними опорным генератором и синтезаторами частоты для обеспечения синхронизации частот нескольких изделий АРГАМАК-Т с точностью до фазы (например, работа в составе пеленгаторных комплексов).

Во всех указанных режимах настройка преселекторов и других узлов обеспечивается по шине управления независимо для каждого изделия АРГАМАК-Т в соответствии с текущими задачами.

Управление тюнером осуществляется по последовательному порту с физическим протоколом RS485. Данный выбор обусловлен необходимостью обеспечения управления на расстоянии до нескольких сотен метров, например, при построении распределенных систем дистанционного радиомониторинга с функциями, аналогичными комплексу АРК-Д3Т, АРК-Д9 [6].

Система команд состоит из двух наборов. Первый набор предназначен для настройки на частоту и задания режимов работы, второй обеспечивает эффективную работу при потоковом управлении, которое возникает, например, в задачах снятия спектральной панорамы в широком диапазоне частот.

1.2 МОДУЛИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ

Рассмотренный выше аналоговый тюнер АРГАМАК-Т позволяет получить радиосигнал на промежуточной частоте, но конечной целью является создание универсальных носимых средств радиомониторинга, позволяющих вести обнаружение, контроль, технический анализ и пеленгование различных источников. В полном объеме данные задачи решаются путем специализированной обработки сигналов на современных цифровых сигнальных процессорах. Выделим особенности подхода использованные при проектировании модуля аналогово-цифровой обработки сигналов.

- Наличие в модуле аналоговых фильтров, позволяющих однозначно представлять сигнал в цифровой форме.
- Демодуляция сигнала для слухового контроля должна осуществляться программно-аппаратной реализацией, что позволяет наращивать количество допустимых видов модуляции и снизить массогабаритные размеры модуля.
- Возможность регистрации сигналов в векторной форме для последующего технического анализа.
- Модуль должен обеспечивать одновременную работу в режиме панорамного анализа и демодуляции сигнала.
- Модуль должен позволять производить когерентную обработку сигналов по двум каналам, в случае использования двухканального аналогового тюнера.
- Модуль должен обеспечивать максимальную производительность для задач пеленгования, демодуляции и записи радиосигнала в векторной форме.
- Модуль должен обеспечивать возможность генерации специализированных тестовых звуковых сигналов, используемых при специальных исследованиях помещений.
- Модуль должен быть связующим звеном в системе управления комплексом радиомониторинга, обеспечивающим обмен между ПЭВМ или другим управляющим устройством, процессорами ЦОС, аналоговым тюнером и дополнительным оборудованием.

В результате учета вышеизложенных требований было спроектирован модуль аналогово-цифровой обработки сигналов функциональная схема которого представлена на рис. 5.

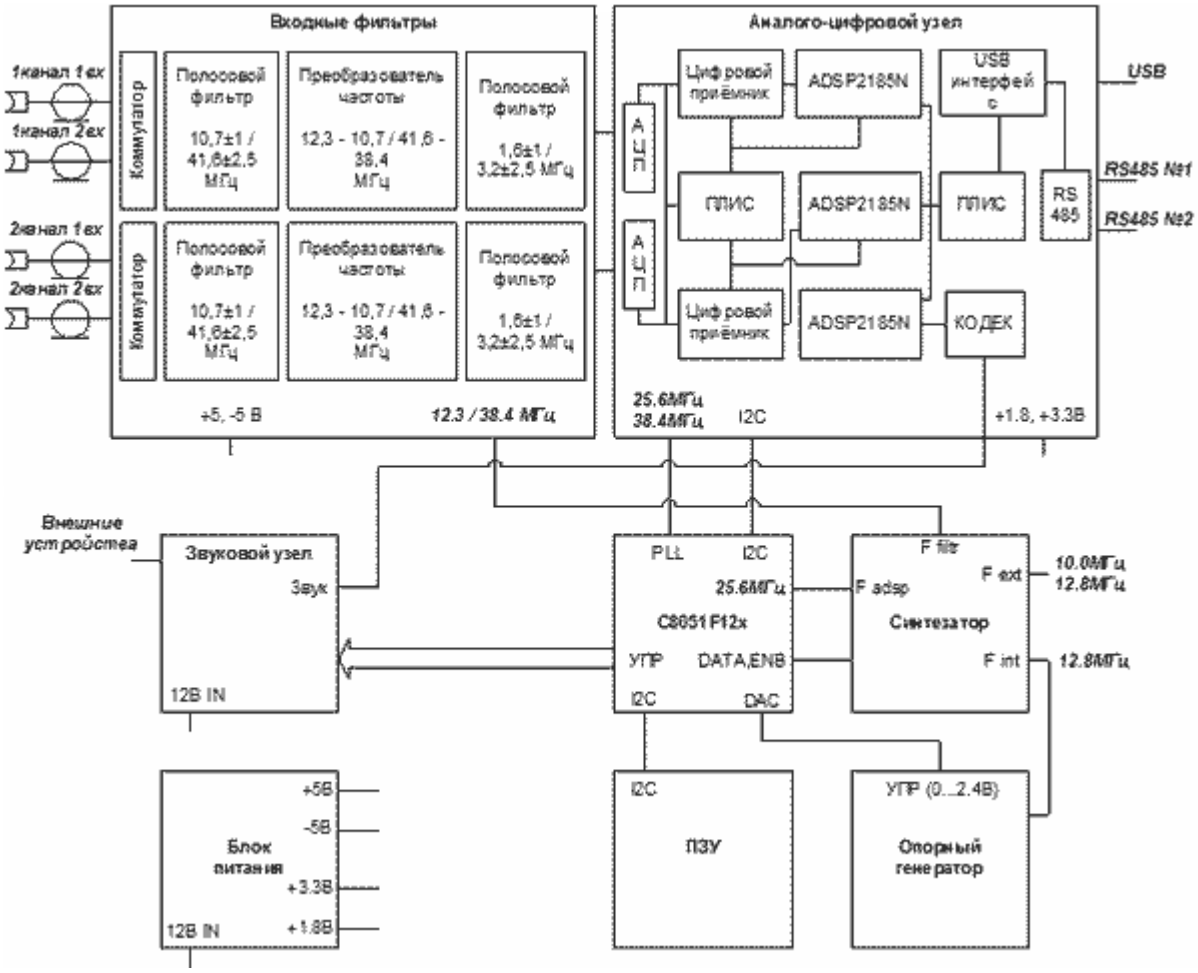

Рис. 5. Функциональная схема модуля аналогово-цифровой обработки сигналов

Данный модуль содержит три цифровых сигнальных процессора AD2185 фирмы "Analog devices" и два управляющих процессора с ядром Intel 8051 для контроля звука и обмена данными между ПЭВМ, цифровыми процессорами и аналоговым тюнером. Выбор типов процессоров ЦСП обусловлен необходимостью снижения потребляемой мощности и уровня помех, создаваемых этими электронными устройствами. К особенности модуля следует отнести наличие встроенного синтезатора тактовой частоты. Данное решение обеспечивает возможность подключения внешнего высокостабильного опорного генератора для повышения стабильности тактовой частоты при оцифровке сигнала и, соответственно, позволяет повысить точность измерения несущей частоты радиосигнала. Для осуществления демодуляции сигнала или векторного анализа сигнала используются цифровые приемники AD6620, по одному на каждый канал. На рис 6, 7 представлены фотографии данного модуля. Для уменьшения уровня помех плата после регулировки подвергается тщательной экранировке.

Рис. 6. Модуль аналогово-цифровой обработки сигналов в технологическом исполнении для регулировки

Рис. 7. Модуль аналогово-цифровой обработки сигналов для установки в готовое изделие

Предполагается три основных режима обмена с модулем ЦОС - автономная работа с выносными пультами управления, работа под управлением ПЭВМ посредством подачи пакетов команд по интерфейсу USB (поддерживаются спецификации 1.1 и 2.0), работа в качестве удаленного поста с управлением по последовательному порту с интерфейсом RS485. Последняя возможность предназначена для построения сети комплексов, объединенных радиомодемной связью.

Полученные характеристики модулей цифровой обработки приведены в таблице 3.

Таблица 3

Дискретность установки центральной частоты настройки	1 Гц
Функции модулей	настройка на заданную частоту, быстрый поиск новых сигналов, выбор демодулятора, вычисление спектра, уровня и полосы принимаемого сигнала, работа под управлением внешней ПЭВМ
Функции измерения уровня сигнала с выхода демодулятора	линейно усредненная, пиковая, квазипиковая, логарифмическая, среднеквадратическая
Детектирование, виды модуляции	АМ, ЧМ, ОБПв, ОБПн, непрерывное излучение, частотная телеграфия
Динамический диапазон измерения уровней входного сигнала	0...+90 дБ/мкВ
Скорость панорамного анализа (с дискретностью 3 кГц) при использовании:	
базового модуля с полосой 2 МГц	250 МГц/с
дополнительного модуля с полосой 5 МГц	1000 МГц/с
Вход, выходы, интерфейс дистанционного управления и передачи данных:	
Низкочастотный выход звука	есть
Выход звука на наушники	есть
Работа под управлением внешней ПЭВМ:	
последовательный интерфейс (опционально)	RS485
последовательный интерфейс	USB
Рабочая температура, вес, габариты энергопотребление:	
Интервал рабочих температур:	
базовый вариант	-20°C ... +50°C
вариант 2	-40°C ... +30°C
Напряжение питания	9 ... 16 В
Потребляемая мощность, не более	9 ВА
Размеры (ширина х высота х глубина)	108 х 42 х 200 мм
Масса рабочего комплекта, не более	1.5 кг

2. ПРИЕМНИК ПАНОРАМНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ АРГАМАК-И

Особенности построения измерительного тракта (тюнера АРГАМАК-Т и модуля аналого-цифровой обработки) связаны с необходимостью обеспечения основных параметров, определяющих его точностные характеристики - погрешности измерения частоты, уровня сигнала и ширины спектра, неравномерность амплитудно-частотной характеристики. Возможность получения требуемых для измерительных трактов характеристик обеспечивается минимизацией чувствительности к разбросу параметров компонентов в селективных цепях при проектировании, а также использованием цифровых технологий коррекции параметров тракта. Так, введение изменяемой первой промежуточной частоты позволяет существенно уменьшить количество пораженных частот при панорамном анализе. Стабильность абсолютного коэффициента передачи тракта достигается коррекцией коэффициента передачи в преселекторах с учетом рабочей температуры. Применение термостатированного внутреннего задающего генератора позволила обеспечить стабильность его частоты не хуже $5x10^{-7}$. Кроме того имеется возможность подстраивать генератор посредством специального программного обеспечения, что позволяет устранять эффект старения.

Перечень основных заявленных параметров изделия АРГАМАК-И для утверждения типа измерительного средства приведен в таблице 4.

Таблица 4

Диапазон рабочих частот	25 - 3000 МГц
Чувствительность (при полосе пропускания 3 кГц и соотношении сигнал/шум 10 дБ) в диапазоне рабочих частот, не более	1 мкВ
Ослабление зеркальных каналов приема, не менее	70 дБ
Ослабление сигналов частот, равных промежуточным, не менее	70 дБ
Динамический диапазон по интермодуляции 3 и 2 порядка в полосе пропускания 3 кГц, не менее	75 дБ
Полоса пропускания по выходу ПЧ	2000±4 кГц
Неравномерность АЧХ в полосе пропускания по входу ПЧ, не более	±1 дБ
Дискретность установки частоты в режиме измерения	1 Гц

Пределы допустимой относительной погрешности измерения частоты:	
от внутреннего опорного генератора	$F_{изм} \cdot 2 \cdot 10^{-6}$ Гц
от внешнего опорного генератора	определяется параметрами внешнего опорного генератора
Предел допустимой абсолютной погрешности измерения уровня синусоидального сигнала:	
без калибровки	±3 дБ
с калибровкой	±1.5 дБ
Разрешающая способность по различению двух равноуровневых сигналов:	
при полосе обзора 2 МГц, не более	7 кГц
при полосе обзора 1 МГц, не более	7 кГц
при полосе обзора 250 кГц, не более	500 Гц
при полосе обзора 120 кГц, не более	200 Гц
при полосе обзора 50 кГц, не более	200 Гц
при полосе обзора 25 кГц, не более	100 Гц
при полосе обзора 9 кГц, не более	50 Гц
при полосе обзора 6 кГц, не более	30 Гц
Потребляемая мощность, не более	15 ВА
Напряжение питания	9 ... 16 В

3. НОСИМЫЕ КОМПЛЕКСЫ АРМ

Особенности построения семейства носимых комплексов на основе ЦРПУ семейства АРГАМАК проиллюстрированы на примере носимых комплексов радиомониторинга и пеленгования АРК-НКЗ, АРК-НКЗИ, ручных пеленгаторов АРК-РП3, АРК-РП4.

3.1. НОСИМЫЕ КОМПЛЕКСЫ АРК-НКЗ, АРК-НКЗИ

Изделия АРК-НКЗ, АРК-НКЗИ должны обеспечивать выполнение следующих задач:

- оценку (измерение) параметров радиосигналов и напряженности электромагнитного поля;
- автоматизированный радиомониторинг и контроль радиосигналов;
- запись радиосигналов и передач;
- пеленгование и определение местоположения ИРИ.

В их функции входит:

- **под управлением с наручного пульта** (при перемещении оператора с аппаратурой) - панорамный анализ с визуальным отображением, пеленгование ручное (скрытное или открытое). Оператор имеет возможность визуального контроля панорамы в полосе 2 МГц и 0.5 МГц с дискретностями 12 кГц и 3 кГц, соответственно. В сочетании с использованием направленных антенных модулей реализуется возможность ручного пеленгования (открытого и скрытного). Для более точного определения направления на ИРИ может быть использовано оборудование для автоматического фазового пеленгования с повышенной точностью в ограниченном диапазоне углов;
- **под управлением карманного персонального компьютера (КПК)** (на остановках) - измерение напряженности электромагнитного поля и параметров радиосигналов, контроль радиочастотного плана, побочных излучений, пеленгование ручное (скрытное или открытое), визуальный анализ спектра радиосигнала. При измерении используются калиброванные антенны (на штативе);
- **под управлением внешней ПЭВМ** (на временных и стационарных постах) - измерение напряженности электромагнитного поля и параметров радиосигналов, полномасштабный радиомониторинг, в том числе, панорамный и технический анализ в режимах реального времени и отложенной обработки; автоматизированный радиоконтроль, запись обнаруженных радиосигналов в векторной форме, демодулированных передач и служебных параметров, воспроизведение демодулированных передач и служебных параметров.

Изделия АРК-НКЗ и АРК-НКЗИ имеют одинаковое конструктивное оформление и практически не отличаются по функциям и параметрам, они выполнены на основе малогабаритных ЦРПУ АРГАМАК, АРГАМАК-И. Их главным отличием является то, что комплекс АРК-НКЗИ в качестве ядра содержит сертифицированное цифровое панорамное измерительное радиоприемное устройство АРГАМАК-И и дополнительный конвертор АРК-КНВ4 [3] на диапазон 3 - 18 ГГц со встроенной направленной антенной системой. Основные технические характеристики АРК-НКЗ и АРК-НКЗИ приведены в таблице 5. Внешний вид данных изделий представлен на рис. 8 - 10.

Таблица 5

Общие параметры	
Диапазон частот в режиме приема:	
базовый комплект	9 кГц - 3000 МГц
в максимальной конфигурации	9 кГц - 18 000 МГц
Динамический диапазон по интермодуляции 3 и 2 порядка	75 дБ
Дискретность установки частоты РПУ	1 Гц
Диапазон рабочих температур	-20°С ... +50°С
Размеры, не более	240 x 120 x 150 мм
Масса базового комплекта	5 кг
Питание от:	
аккумулятора	12 В
сети переменного тока	90 - 250 В
автомобильной бортовой сети	10.6 - 13.6 В
Под управлением с наручного пульта, при перемещении и остановке	
ПЕЛЕНГОВАНИЕ	
Методы пеленгования	амплитудный, фазовый
Диапазон частот при пеленговании:	
базовый комплект	25 - 3000 МГц
в максимальной конфигурации	1.5 - 18 000 МГц
Чувствительность в режиме пеленгования (для базового состава):	
при открытом пеленговании	20…50 мкВ/м
при скрытном пеленговании	50...200 мкВ/м
Пределы оценки уровня сигнала (с учетом аттенюаторов)	120 дБ
Инструментальная точность пеленгования (для базового состава):	
при открытом пеленговании	7° -15°
при скрытном пеленговании	10° - 20°
ПАНОРАМНЫЙ АНАЛИЗ	
Полоса одновременного анализа (с дискретностью 12 кГц / 3 кГц)	2 МГц / 0,5 МГц
Скорость	20 МГц/с / 8 МГц/с
Чувствительность	1 мкВ
Отображение информации:	
полоса отображаемых частот	2 МГц, 0.5 МГц
режимы отображения спектра	мгновенный, усредненный, накопленный
отображение частоты настройки приемника	цифровая
индикация полосы спектра сигнала	цифровая
отображение уровня сигнала	графическое и цифровое
ИЗМЕРЕНИЯ	
Перечень параметров определен в таблице 4. Параметры приемного тракта соответствуют ТТХ цифрового РПУ "АРГАМАК-И"	

Рис. 8 Базовый комплект АРК-НКЗИ (9 кГц - 3 ГГц) с ЦРПУ "АРГАМАК-И" в малогабаритном кейсе

Рис. 9. Конвертор АРК-КНВ4

Рис. 10. АРК-НКЗИ в вариантах для открытого и скрытного пеленгования и автоматизированного радиомониторинга

4. НОСИМЫЕ РУЧНЫЕ ПЕЛЕНГАТОРЫ АРК-РП3, АРК-РП4

Особенности построения ручных пеленгаторов и используемых в них направленных антенных модулей изложены ранее [7]. Данные модули использованы при построении ручного пеленгатора АРК-РП3 и носимых комплексов АРК-НК3 (рис 8).

Рис. 11. Базовый комплект ручного пеленгатора АРК-РП4

Ниже представлены результаты разработки ручного пеленгатора АРК-РП4 широкополосных сигналов используемых в протоколах Blue Tooth, IEEE 802.11 и некоторых других, получивших в настоящее время достаточно широкое использование при построении протяженных сетей передачи данных и в ряде других применений. Базовый комплект АРК-РП4 (рис 11) предназначен для работы в диапазоне 2.3 - 3 ГГц. Его основные режимы работы - автономный и под управлением КПК. При построении ВЧ тракта использован тюнер АРГАМАК-Т.

Основные технические характеристики приведены в таблице 6.

Таблица 6

Рабочий диапазон частот:	
базовый комплект	2300 - 3000 МГц
в максимальной конфигурации	2300 - 18 000 МГц
Антенна	активная
Коэффициент шума антенны	3.5 дБ
Коэффициент усиления	26 дБ
Динамический диапазон приемного тракта, не менее	60 дБ
Коэффициент шума приемного тракта	14 дБ
Чувствительность по полю, не хуже	10 мкВ/м
Полоса одновременного обзора	8 МГц
Скорость панорамного анализа:	
в полосе 128 МГц (дискретность 800 кГц)	4 ГГц/с
в полосе 8 МГц (дискретность 50 кГц)	8 ГГц/с
Дискретность установки частоты	100 кГц
Диапазон рабочих температур	-20°С ... +50°С
Размеры, не более	240 x 120 x 150 мм
Масса базового комплекта	5 кг
Питание от:	
аккумулятора	12 В
сети переменного тока	90 - 250 В
автомобильной бортовой сети	10.6 - 13.6 В

Основные режимы работы и полученные параметры:

1. Панорамный анализ в полосах 32, 64 или 128 МГц с дискретностью спектрального отсчета 800 кГц, отображение спектра 1 раз в секунду на табло. Скорость обзора 4 ГГц/с. Запоминание максимального уровня до сброса оператором.
2. Панорамный анализ в полосе 8 МГц с дискретностью спектрального отсчета 50 кГц, отображение спектра 1 раз в секунду на табло. Скорость обзора 8 ГГц/с. Запоминание максимального уровня до сброса оператором.
3. Обнаружение кратковременного сигнала в полосе 8 МГц с помощью следующей циклограммы - 1.25 мкс накопление временной выборки, 3.75 мкс расчет мощности. Отображение максимальной мощности 1 раз в секунду. Запоминание максимальной мощности до сброса оператором.
4. Обнаружение кратковременного сигнала в полосе 8 МГц с повышенным частотным разрешением. После обнаружения сигнала в режиме 3 берется более длинная выборка и осуществляется обработка по пункту 2.
5. Построение кривой уровня сигнала ИРИ от поворота антенны. Для измерения уровня используются один из алгоритмов 1-4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авторы статьи надеются, что рассмотренные принципы построения, особенности и перспективы развития ЦРПУ позволят пользователям и разработчикам новых комплексов более пристально рассмотреть возможности применения приемного устройства АРК-ЦТ и комплексов, построенных на его основе, для решения своих задач. Следует отметить, что проектирование всех узлов ЦРПУ, комплексов и серийное производство аппаратуры осуществляется в едином технологическом цикле. В сочетании с единой технической политикой и внедрением системы качества по стандарту ISO9001 это позволяет создавать аппаратуру по качеству и характеристикам, способную занять достойное место среди мировых производителей аналогичной техники.

ЛИТЕРАТУРА.

1. **Рембовский А.М. Автоматизированный радиоконтроль излучений - задачи и средства.** СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА, Специальный выпуск, 2002 г., стр. 2-6
2. **Рембовский А.М. Задачи и структура средств автоматизированного радиоконтроля.** СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА, Специальный выпуск, 2003 г., стр. 2-7
3. **Конвертор выносной АРК-КНВ4. Сертификат Госстандарта России об утверждении типа средств измерений RU.E.33.018.A № 17735 от 04.06.2004**, зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под № 26994-04.
4. **Ашихмин А. В., Жуков А. А., Козьмин В. А., Стопкин В. М., Шадрин И. А. Локализация источников радиоизлучения и измерение напряженности поля с помощью мобильной станции радиоконтроля**, СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА, Специальный выпуск 2003 г.
5. **Отраслевой документ РД45.193-2001 "Оборудование станций радиоконтроля. Общие технические требования"**
6. **Ашихмин А. В., Рембовский А.М. Дистанционный радиомониторинг помещений - методы и средства**, СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА, Специальный выпуск 2003 г.
7. **Ашихмин А. В., Жуков А. А., Козьмин В. А., Шадрин И. А. Выявление источников электромагнитных волн в объектах с помощью мобильного комплекса радиоконтроля и пеленгования**, СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА, Специальный выпуск 2003 г
8. **Ашихмин А. В., Рембовский А. М. Носимые пеленгаторы источников радиоизлучений.**, СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИКА, Специальный выпуск 2003 г.