

# Первым делом самолеты, беспилотники потом!

## En Planes First, Drones Later!

**O. A. Vasiliev,**  
PhD (Eng.), General Director  
rsjet@mail.ru

**D. A. Vinogradov,**  
Head Engineer  
rs@radioservice.ru

**S. A. Moiseev,**  
Director  
rs@radioservice.ru

**V. V. Trifonov,**  
PhD (Eng.), Deputy Director  
info@radioservice.ru

Radioservice LLC

The article describes the technical solutions developed by NPF Radioservice LLC for a complex of protection against unauthorized unmanned aerial vehicles.

It has been substantiated the importance of the radio monitoring system for the early detection of UAVs with the determination of the direction to the source. Two structures of the radar with swept-frequency modulation are presented and the operating model of the radar at 9.4 GHz is introduced. The problems of increasing the field of view of the optoelectronic system (OES) are described. A jammer of control and video transmission channels of a UAV with pointing of an OES is displayed. This OES and jammer is situated in the same block on the rotary support.

Keywords: unmanned aerial vehicle (UAV), MIMO, radio monitoring, radar, optoelectronic system, video camera, thermal imager, jamming

В статье описаны технические решения ООО НПФ «Радиосервис» для комплекса защиты от несанкционированных полетов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Обоснована важность системы радиомониторинга для раннего обнаружения БПЛА с определением направления на источник. Предложены две структуры радара с непрерывным линейно-модулированным сигналом и представлен действующий макет радара на 9,4 ГГц. Описываются проблемы увеличения угла зрения оптико-электронной системы. Представлен подавитель каналов управления и передачи видеосигнала БПЛА с наведением оптико-электронной системы, расположенной на общем опорно-поворотном устройстве.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат (БПЛА), радиомониторинг, радар, принцип МИМО, оптико-электронная система, видеокамера, тепловизор, радио-электронное подавление

**Олег Александрович Васильев,**  
кандидат технических наук, генеральный директор  
rsjet@mail.ru

**Дмитрий Александрович Виноградов,**  
главный инженер  
rs@radioservice.ru

**Сергей Александрович Моисеев,**  
директор  
rs@radioservice.ru

**Владимир Викторович Трифонов,**  
кандидат технических наук, заместитель директора  
info@radioservice.ru

ООО НПФ «Радиосервис»

Организация защиты от налета беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) имеет большое значение как в случае ведения боевых действий в вооруженных конфликтах, так и в сфере гражданской безопасности. В последнее время появилось огромное количество специальной и популярной литературы, в том числе

и солидных монографий [1], посвященной различным аспектам этой проблемы. Далее мы не станем касаться БПЛА военного применения, уделив внимание, в основном, коммерческим БПЛА или дронам, если пользоваться употребляемым в обиходе термином. Тем более, что такие могут представлять собой серьезную угрозу не только для гражданских, но и для стратегически важных объектов при злонамеренных действиях отдельных лиц или организаций.

Здравомысленно рассуждая и рассматривая перспективы направлений своей деятельности, мы пришли к заключению, что за 30 лет своего существования компания «Радиосервис» создала основательный задел по разработкам технических средств и технологий, используемых в решении ключевых задач защиты от несанкционированных БПЛА, таких как:

- его обнаружение при различных погодных, временных, полетных и прочих условиях;

- идентификация дрона;
- электронное или физическое воздействие на БПЛА, препятствующее выполнению дроном поставленной задачи.

В последние годы мы модернизировали производимое нашей компанией оборудование для радиомониторинга, в том числе многоканального, и усовершенствовали системы радиоэлектронного подавления (РЭП). Имея большой опыт в разработке приемо-передающего радиотракта для радиолокационных систем различного диапазона, мы вернулись к инициативным разработкам радаров с целью их применения для обнаружения и сопровождения дронов в системах безопасности объектов, например, охраны периметра.

Для решения всего комплекса задач мы стали развивать и направление оптико-электронных систем (ОЭС) с различными алгоритмами обработки видеоконтента для обнаружения и идентификации БПЛА.

В этой статье, написанной к 30-летию нашей компании, мы попробуем вкратце описать основные составляющие или элементы, входящие в систему защиты объектов от угроз со стороны несанкционированных БПЛА, основанную на технических решениях нашей компании, а также представить построенный на их базе полный комплекс защиты объекта от БПЛА.

## Обнаружение малых БПЛА средствами радиомониторинга

В предыдущих статьях, посвященных рассматриваемой тематике [2, 3], мы достаточно подробно останавливались на вопросах организации защиты, и, в первую очередь, на проблеме обнаружения БПЛА. Известные из истории противовоздушной обороны радиосредства используют радиоразведку с целью перехвата радиолиний связи противника с определением направления на источник излучения, а также контролируют окружающее пространство с помощью радиолокационных систем. При обнаружении малых БПЛА на подлете к цели радиолинии могут не использоваться, а наведение дрона осуществляется по системам гло-

бальной спутниковой навигации либо через навигационные системы комплексного характера, интегрирующие данные микромеханических датчиков, электронных карт, видеоконтента и т. д. [1]. В этом случае радары практически незаменимы. Интересующихся оборудованием БПЛА, а также проблемами управления и ориентации, отсылаем к работе [1], где эти вопросы рассмотрены достаточно подробно. Однако именно там автор отмечает, что для подавляющего большинства малых БПЛА основные функции по принятию решений возлагаются на оператора пульта управления (ПУ).

Для проведения радиомониторинга окружающего пространства с целью обнаружения и идентификации командной радиолинии управления (КРУ), радиоканалов передачи телеметрии и видео наша компания предлагает использовать мониторинговый приемник «Радриан», являющийся базовым элементом многоканальной системы мониторинга.

Базовый приемник «Радриан» имеет несколько модификаций с различными опциями для решения соответствующих задач, например, расширение частотного диапазона до 21 ГГц и выше. «Радриан» выполняет функции как мониторингового приемника, так и анализатора спектра реального времени [4]. Ре-

жим анализатора подробно описан в статье [4], познакомиться с которой, как и с работами [2, 3], можно на сайте компании – radioservice.ru.

Базовый приемник содержит две основные части: аналоговый линейный тракт диапазона 30 МГц – 6 ГГц и плату цифровой обработки сигнала (ЦОС). Опционально добавляется плата формирователя опорных частот с термостатированным кварцевым генератором, позволяющая поднимать стабильность синтезаторов на два порядка. Эта же плата дает возможность организовать синхронный двухканальный прием для более точного определения направления на источник сигнала: БПЛА или ПУ.

Уже на протяжении нескольких лет мы поставляем нашим партнерам 6-канальный синхронный конвертер для контроля диапазонов, используемых для командной КРУ БПЛА, в частности: 2,4...2,483 ГГц и 5,725...5,9 ГГц. В системе мониторинга используются встроенные входные коммутаторы на 4, 6, 8 и более каналов для определения направления на источник сигнала при одноканальном приемном тракте. Экономически это наиболее выгодный вариант построения пеленгатора (рис. 1).

Подобная система пеленга легко встраивается либо в систему защиты от БПЛА как таковую, либо в си-



Рис. 1. Мониторинговый приемник «Радриан» со встроенным коммутатором на 4 входа и с четырьмя антеннами диапазона 2,0...6,0 ГГц (4 сектора по 90°)

стему защиты объекта (охраны периметра). Направление на источник может определяться по максимуму сигнала, по точке пересечения диаграмм направленности соседних антенн, либо с использованием корреляционного интерферометра, как например, в аппаратуре компаний Narda или R&S. В нашем случае к антенне, представленной на рис. 1, добавляется всенаправленная антенна. При использовании трех и более достаточно разнесенных в пространстве точек приема можно, используя метод триангуляции, повысить точность определения координат источника излучения, но это ведет к существенному увеличению затрат при сомнительном суммарном эффекте.

Проведенные нами исследования и эксперименты подтверждают приводимые в Интернете, например в [5], показатели предельных расстояний по обнаружению сигналов КРУ в направлении ПУ, а также передачи телеметрии и потокового видео ненаправленной антенной БПЛА. Приведем усредненные величины этих оценок для наиболее распространенного типа коммерческого БПЛА «DJI Фантом-4». Типичными дальностями обнаружения сигналов видеоканала БПЛА можно считать следующие: не менее 1,5...2,0 км для обычных условий использования оборудования обнаружения и не менее 3 км в более благоприятных условиях (в отсутствие помех, препятствий на трассе, при малоэтажной застройке и т. д.). Высота размещения приемных антенн системы обнаружения и высота полета БПЛА не оказывают существенного влияния на дальность обнаружения. Последняя может ухудшаться при использо-

вании диапазона частот 5,8 ГГц или приемника с чувствительностью хуже минус 110 дБм, а также в условиях с особо сложной электромагнитной обстановкой и полетах БПЛА на высотах менее 50 м.

Обычно в коммерческих дронах рабочая частота (диапазон) канала передачи видеоданных (БПЛА – ПУ) во многих случаях совпадает с диапазоном рабочих частот канала управления (ПУ – БПЛА). Используется временное разделение каналов типа полудуплекс, при этом канал БПЛА – ПУ (Downlink) с полосой передачи до 10 МГц может адаптивно менять значение несущей частоты внутри диапазона связи. Сигнал же канала КРУ ПУ – БПЛА (Uplink) часто представляет собой наиболее трудно обнаруживаемый вариант со скачками по частоте (ППРЧ). На рис. 2 приведены спектрограммы сигналов линий связи БПЛА «DJI Фантом-4», снятые с помощью мониторингового приемника «Радиян».

Отметим, что задача обнаружения сигналов ПУ в реальных условиях может быть существенно затруднена, так как почти всегда имеются «слепые зоны» из-за экранирующего влияния предметов на местности: зданий, сооружений, особенностей рельефа. Типичные дальности обнаружения сигналов ПУ: около 500 м для «маловысотного» размещения антенн обнаружения в городских условиях, около 1500 м для размещения антенн обнаружения на крышах зданий или на мачтах.

Улучшить эти показатели можно путем увеличения высоты размещения приемных антенн либо используя направленные или активные антенны, имеющие малощумящий уси-

литель для компенсации потерь в кабеле. Дальность обнаружения сигналов наземного пульта управления может увеличиваться при использовании ПУ, имеющего мощность, превышающую относительно легальных значений (свыше 100 мВт).

## Обнаружение БПЛА радаром

В двух предыдущих статьях [2, 3] основное внимание было уделено радиолокационному обнаружению и сопровождению БПЛА. В них были представлены различные по конструкции, параметрам, диапазонам и т. д. радиолокаторы как зарубежного, так и отечественного производства, главным образом, предназначенные для систем защиты от малых БПЛА. Для краткости будем далее называть их радарам.

Напомним, что радиолокационное обнаружение наименее зависимо от погодных условий и времени суток. В то же время, оно позволяет решать множество дополнительных задач, например, осуществлять селекцию движущихся целей и определять скорость БПЛА по доплеровскому эффекту, использовать радиолокационные сигнатуры (изображения) для идентификации БПЛА и т. д. Наиболее приемлемой структурой такого радара является радар с непрерывным линейно-модулированным сигналом (ЛЧМ), а обычно используемые диапазоны частот – 9,3...9,4 ГГц и 24,0...24,25 ГГц – не требуют лицензирования.

В статье [2] мы уже описывали общие принципы построения ЛЧМ-радаров, здесь же расскажем о наших разработках и дадим ссылки на наиболее интересные, по нашему мнению, решения для диапазона 24,0...24,25 ГГц. Доступность коммерческих интегральных микросхем и чипов, совмещающих сверхвысокочастотную часть с предварительной цифровой обработкой, для миллиметрового диапазона волн дала ощутимый толчок развитию ближней радиолокации, главным образом, в целях контроля и безопасности дорожного движения, безопасности полетов тех же дронов, в робототехнике, медицине и множестве иных областей. В качестве примеров

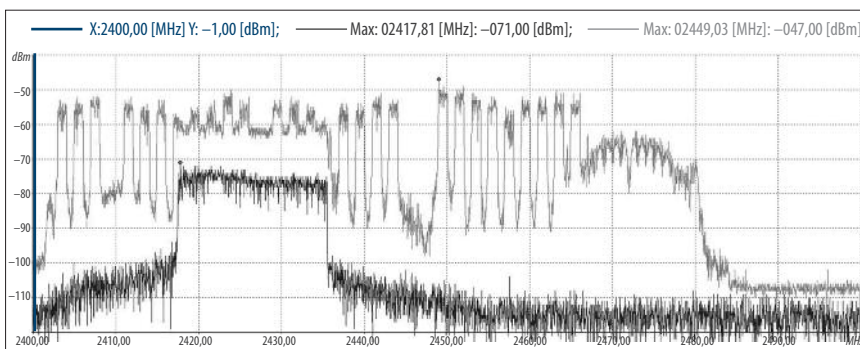


Рис. 2. Спектрограмма сигнала КРУ (ППРЧ) и канала передачи видео БПЛА «DJI Phantom-4» с анализатора спектра «Радиян»

подобных радаров отсылаем читателя к источникам [7, 8].

В настоящее время наша компания ведет в этом направлении две разработки, находящиеся на стадии макетного конструирования.

Классический вариант ЛЧМ-радара разрабатывается для диапазона частот 9,3...9,4 ГГц. Выбраны основные параметры для достижения требуемых характеристик, разработана антенная система из передающей и приемной решеток (8×8 патч-элементов) и изготовлен макетный вариант радара, представленный на рис. 3. Ведутся работы по модернизации системы ЦОС и программному обеспечению обработки радиолокационной информации. Для сканирования окружающего пространства предполагается использование опорно-поворотного устройства (ОПУ) PTR-440НМ, аналогичного применяемому в ОЭС. Габаритные размеры и масса радара с антенной системой позволяют располагать его на одном ОПУ вместе с ОЭС или с системой радиомониторинга (рис. 4). В принципе, радар может быть смонтирован и на одном ОПУ с системой подавления каналов КРУ и глобальной спутниковой навигации.

Что касается второй разработки – радара диапазона 24,0...24,25 ГГц – для ускорения процесса и проведения экспериментов за основу была

взята обучающая плата (*Evaluation Board*) EV-RADAR-MMIC2\_UG-866 компании Analog Devices. Практически все радары этого диапазона имеют антенную систему, построенную по принципу МИМО (*Multiplied In Multiplied Out*). Например, выбранная нами плата имеет два передающих канала и четыре синхронных приемных тракта, аналоговые сигналы с которых поступают на плату ЦОС, формирующую поток цифровых данных для передачи в компьютер. Отработанные алгоритмы могут быть в последующем использованы для реализации в специальных вычислителях на базе программируемых матриц (FPGA).

В более простых вариантах разработчики используют готовые решения, например, на элементарном Arduino [8]. В основе принципа МИМО лежит использование создаваемой искусственно многолучевости при распространении радиоволн, и задача состоит в оптимизации приема множества каналов (в нашем случае  $2 \times 4 = 8$  каналов) по какому-либо статистическому критерию. Если параметры каналов нестационарны, то поиск решения существенно затрудняется. МИМО не требует антенной решетки, но реализация данного принципа весьма проблематична для многих радиолокационных задач [7].

## Обнаружение БПЛА оптоэлектронными системами

Вопрос обнаружения БПЛА оптоэлектронными системами (оптоэлектронная разведка, ОЭР) был подробно освещен в статье [2], где приводилась в качестве примера ОЭС, состоящая из комбинации видеокамеры и тепловизора, размещенных на ОПУ типа PTR-440НМ и защищенных термокожухом. При этом используется цифровая PTZ (*Pan-tilt-zoom*) видеокамера с разрешением не ниже FULL HD (2K) – 1920×1080 пикселей и чувствительностью 0,01 люкс, имеющая 30-кратный трансфокатор. В качестве тепловизора выступает ОЭС, работающая в инфракрасном (ИК) диапазоне 8...14 микрон с неохлаждаемым микроболометрическим приемником излучения размерностью 640×480 пикселей и чувствительностью 50 мК. Дальность действия ОЭС является результатом комбинации многих факторов, включая размер цели, фокусное расстояние объектива, атмосферные условия, время суток и т. д. Выводы и рекомендации по результатам проведенных совместно с АО «Сканда» экспериментов по обнаружению БПЛА с использованием тепловизоров различного ИК-диапазона представлены на сайте нашей компании [6].



Рис. 3. Макет радара 9,4 ГГц с антенными решетками (8×8 патч-элементов)



Рис. 4. Система радиоэлектронного подавления с наведением ОЭС

На рис. 4 представлена система блокирования каналов КРУ, телеметрии и видео, а также сигналов глобальной спутниковой навигации, совмещенная с видеокамерой указанного выше типа. Тепловизор устанавливается опционально. Используется упомянутое ранее ОПУ PTR-440НМ, производства компании «БИК-информ». Управление системой с видеонаведением на цель осуществляется по Ethernet 1 Гбит.

Общим для всех каналов средств ОЭР является возрастание дальности обнаружения малых БПЛА при повышении оптического увеличения канала. Однако очевидно, что при росте оптического увеличения будет снижаться вероятность обнаружения цели по причине сужения поля зрения канала. При этом снижается эффективность средств ОЭР в целом.

Одним из путей разрешения данного противоречия является применение многоканальных (многосекторных) панорамных оптико-электронных приборов (ПОЭС). В ПОЭС кругового обзора каждый самостоятельный канал отвечает за свой сектор обзора, а все вместе – за реализацию требуемых угловых полей обзора. Пространственное разрешение определяется количеством телевизионных или тепловизионных камер и массивом чувствительных элементов (ЧЭ) в каждом из каналов. Многоканальный принцип построения оптического звена ПОЭС позволяет реализовать одновременно высокое однородное угловое разрешение по всему полю обзора и высокую чувствительность при сохранении скорости (частоты) обновления получаемых изображений.

Часто вместо ОЭС кругового обзора более эффективными оказываются многоканальные секторные ОЭС (СОЭС) смотрящего типа с высоким пространственным разрешением и угловыми полями 120° и 180°. Комбинация из трех и, соответственно, двух таких систем дает тот же самый круговой обзор, но при этом появляется возможность пространственно разнести каналы СОЭС.

Существенно более сложной задачей является реализация необходимой скорости обработки всей со-

вокупности видеосигналов, то есть потока видеоданных, поступающих от телевизионных или тепловизионных камер. Основная проблема здесь связана с потенциальными возможностями существующих в настоящее время средств цифровой обработки видеoinформации. Многоканальность и высокое быстродействие обуславливают значительный рост информационных потоков, что требует применения высокоскоростных и, как следствие, весьма дорогих средств обработки видеосигналов. Использование оптоэлектронных датчиков машинного зрения с высоким разрешением (свыше 20 000 ЧЭ в каждом телевизионном канале) также существенно увеличивает стоимость системы.

Ключевым фактором, позволяющим сочетать высокое оптическое увеличение с приемлемой скоростью обзора пространства и обнаружением МБЛА, является наличие внешнего целеуказания, например, от системы радиомониторинга и радара, входящих в состав комплекса «Антидрон-RS».

### Система радиоэлектронного воздействия на БПЛА

В данном разделе мы не будем рассматривать способы физического воздействия на БПЛА, остановимся только на системе радиоэлектронного подавления, разработанной нашей компанией специально для блокирования каналов КРУ коммерческих БПЛА (см. рис. 4). Подробное описание системы приведено в [2], здесь же мы лишь напомним основные параметры аппаратуры и ее достоинства (преимущества).

Программируемый подавитель сигналов управления, передачи видео и глобальной навигации для систем защиты от БПЛА **RS-6000/AD** способен подавлять до 12 частотных полос шириной до 125 МГц, каждая из которых может быть выбрана в диапазоне частот от 400 до 6000 МГц, с отдельной регулировкой выходной мощности в каждом канале.

Система содержит три 4-канальных модуля, состоящих из четырех DDS-формирователей, FPGA и коммуникационного контроллера. У каж-

дого модуля есть собственный IP-адрес, что позволяет осуществлять дистанционный контроль и задавать нужные полосы частот и уровни мощности, используя Ethernet или Wi-Fi-соединения. Антенны установлены на программно управляемом ОПУ.

Технические характеристики системы:

- диапазон частот передатчика: 400 МГц – 6,0 ГГц;
- максимальная полоса сигнала в канале: 125 МГц;
- количество частотных каналов (диапазонов): 8 или 12;
- подавление внеполосных излучений: не менее 40 дБ;
- максимальная выходная мощность одного канала: 50 Вт;
- максимальная мощность в непрерывном режиме: 120 Вт;
- регулировка мощности отдельно в каждом канале: 30 дБ;
- коэффициент усиления антенн: 7...18 дБ.

Для формирования высокоэффективного сигнала блокирования используются DDS-технология синтеза сигналов и мультиплексирование каналов во времени. При максимальной непрерывной мощности в канале до 50 Вт эквивалентная мощность в режиме мультиплексирования достигает 500 Вт. 12 программируемых каналов подавления позволяют решать множество пользовательских задач.

Как указывалось выше и в [5], для подавления канала передачи видео и телеметрии необходимо определить направление на наземный ПУ. Эта задача может оказаться весьма трудной, и ее решение во многом связано с наличием в комплексе защиты от БПЛА системы радиомониторинга, а подавитель (система РЭП) должен иметь дополнительный канал с отдельно управляемой направленной антенной.

Сделаем одно важное замечание прежде, чем перейти к выводам и описывать систему в целом. Прежде всего, коснемся вопроса точности определения координат БПЛА, наземного ПУ, установления скорости и направления (сопровождения) полета, а также ограничения времени на требуемые вычисления и приня-

тие решения. Точно так же, как в ОЭС, здесь большое значение имеет соотношение угла зрения и оптического усиления. В радиосистемах угол радиобзора сильно зависит от ширины диаграммы направленности используемых антенн: чем более широкополосной является антенна, тем меньше ее направленность. Потери в коэффициенте усиления антенны приходится компенсировать усилением мощности сигнала подавателя. Однако ширина диаграммы направленности антенн системы РЭП по уровню  $-3$  дБ в районе  $30^\circ$  не требует высокой точности определения направления, скажем, в  $1-2^\circ$ . В случае применения радара при определении координат БПЛА по тем же причинам также допускается некоторое снижение требований к точности локализации.

## Выводы

В заключение обратим внимание на тот факт, что для каждого кон-

кретного случая реализации комплекса защиты от угроз проникновения несанкционированных БПЛА в охраняемую зону требуется тщательный подбор составляющих его элементов. Бессмысленно «городить» все подряд в единую конструкцию на общем ОПУ, поскольку любая система со временем может развиваться и модернизироваться. Кроме того, многие элементы системы (скажем, радар) иногда встраиваются в уже существующую охранную структуру. Необходимо учитывать и затратные характеристики устанавливаемого оборудования, например, достаточно высокую стоимость радаров и оптико-электронных систем. Выбирайте с умом!

## ЛИТЕРАТУРА

1. Макаренко С. И. Противдействие беспилотным летательным аппаратам. – СПб.: Научно-технические технологии. – 2020. – 204 с.
2. Васильев О. А., Трифонов В. В. Полеты в небе и наяву // Защита информации. Инсайд. – 2021. – № 1 (97). – С. 34–39.

3. Васильев О. А. Тихий дрон // Защита информации. Инсайд. – 2020. – № 1 (91). – С. 26–32.
4. Васильев О. А. Тайны реального времени // Защита информации. Инсайд. – 2019. – № 1 (85). – С. 30–34.
5. Общие сведения о каналах управления и передачи данных БПЛА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://specintek.ru/media/uav/uav\\_detection/](http://specintek.ru/media/uav/uav_detection/)
6. Оптико-электронная система обнаружения малых БПЛА [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://radjoservice.ru/publikacii/> (дата обращения: 07.12.2021).
7. Tero Kiuru and Henrik Forstun, Design of a mmWave MIMO Radar VTT Technical Research Centre of Finland Ltd., Espoo, Finland [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.cfmediaview.com/lp1.aspx?v=25\\_90042066\\_4783\\_20/](https://www.cfmediaview.com/lp1.aspx?v=25_90042066_4783_20/) (дата обращения: 14.12.2021).
8. 24 GHz Radar Works With Arduino and Raspberry Pi // uRAD, Navarra, Spain [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.cfmediaview.com/lp1.aspx?v=25\\_90042066\\_4783\\_11/](https://www.cfmediaview.com/lp1.aspx?v=25_90042066_4783_11/) (дата обращения: 14.12.2021).

## СЕЛЕКТИВНЫЙ ИНДИКАТОР ПОЛЯ RAKSA-120



Предназначен для обнаружения и поиска радиопередающих устройств негласного съема информации: радиомикрофонов с аналоговой, цифровой и широкополосной модуляцией, телефонов стандартов GSM 850/900E/1800/1900, UMTS 850/900/1800/1900/2100 (3G), CDMA 450 (A-H)/800/1900, DECT, устройств Bluetooth и Wi-Fi, беспроводных видеокамер, радиомаяков систем слежения и др.

### Технические характеристики:

- диапазон измеряемых частот ..... 40 ÷ 3800 МГц;
- время цикла сканирования ..... не более 1,5 с;
- динамический диапазон ..... 50 дБ;
- размеры ..... 77×43×18 мм.

### Отличительные особенности:

- обнаружение сигналов на фоне значительных помех;
- прослушивание сигналов через динамик;
- журнал событий тревоги;
- бесшумная индикация тревоги (вибровознок).



### ООО «РАКСА»

117186, Москва, ул. Нагорная, д. 22, корп. 3, оф. 53,  
тел./факс: +7 (495) 997-04-15,  
e-mail: info@raksa.ru, <http://www.raksa.ru>