



Модернизация систем безопасности с помощью устройств сверхширокополосной радиолокации

Н.А. Махутов

д.т.н., проф., заместитель академика-секретаря отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН, руководитель РГ «Риск и безопасность» при президенте РАН, член-корр. РАН

Л.В. Балановский

генеральный директор НП «Объединение организаций по электрической, электромагнитной, информационной безопасности и совместимости»

В.Л. Балановский

вице-президент проблемного отделения «Электромагнитная безопасность» Академии проблем качества РФ, действительный член АПК

А.Д. Зеркаль

начальник отделения сверхширокополосных технологий ОАО «Конструкторское бюро опытных работ»

В.М. Рухлинский

д.т.н., председатель комиссии по связям с ИКАО, международными и межгосударственными организациями Межгосударственного авиационного комитета (МАК), действительный член АПК

Модернизация существующих систем комплексной безопасности объектов транспортной инфраструктуры может осуществляться с использованием высокоточных и интеллектуальных систем ближней радиолокации. На базе сверхширокополосных (СШП) технологий в настоящее время разработаны высокоточные интеллектуальные системы ближней радиолокации на основе сверхкоротких импульсов пикосекундной длительности. Важной областью применения сверхширокополос-

ных технологий является разработка оборудования для работы в составе систем комплексной безопасности критических объектов, какими являются объекты транспортной инфраструктуры.

В настоящее время существуют датчики обнаружения людей, действующие на радиолокационном и других физических принципах, однако отсутствуют датчики, работа которых основана на сверхкоротких импульсах сигналов. Их использование ранее сдерживалось дороговизной, сложностью, большими размерами и значительным потреблением энергии, что исключало возможность создания автономных систем. Предлагаемая здесь система ближней радиолокации во многом преодолевает вышеперечисленные ограничивающие факторы, это позволит ей конкурировать с имеющимися на рынке продуктами. Система имеет следующие особенности и преимущества:

- сверхширокий диапазон частот (0,5...4 ГГц или 1...9 ГГц) и низкая средняя излучаемая мощность, что дает возможность вторичного освоения частотного диапазона и скрытности работы практически на уровне шумов (не обнаруживается радио-сканером);
- длительное время работы от аккумуляторов;
- высокая помехоустойчивость;
- всепогодность и всесуточность;
- высокая информативность отраженного сигнала, высокая разрешающая способность и возможность распознавания объектов обнаружения;
- возможность обнаружения неподвижного объекта;
 - определение расстояния до объекта с высокой точностью;
 - определение скорости движения объекта;
 - раздельное наблюдение близко расположенных объектов;
 - компактность;
 - маскируемость.

Система ближней радиолокации имеет преимущества перед радиолокационными датчиками, основанными на эффекте Доплера, за счет скрытности работы, возможностей обнаружения неподвижного объекта, объекта, движущегося с малой скоростью, распознавания объектов (например, различения человека и животного) и более широкого набора измеряемых характеристик. В отличие от датчиков обнаружения, действующих на других

физических принципах (сейсмических, инфракрасных, оптических и др.) система ближней радиолокации практически не зависит от условий внешней среды.

Разработки в области сверхширокополосной радиолокации также служат основой для создания портативных радаров ближнего действия для обнаружения людей за преградами, под завалами, датчиков для дистанционного мониторинга параметров дыхания и сердцебиения человека, измерительных антенн, автономных компактных высокоинтеллектуальных датчиков движения и присутствия для систем охраны объектов особой важности, портативных радаров для измерения глубины снега и льда, георадаров.

При разработке продукции для использования в системах безопасности объектов транспортной инфраструктуры применяется математическое, функциональное, схемотехническое, электродинамическое моделирование в системе автоматизированного проектирования на всех стадиях разработки для получения заявленных технических параметров и с учетом специфики использования сверхкоротких импульсов сигналов, которые значительно отличаются от традиционных узкополосных.

Перечень базовых разработок:

- унифицированный приемопередающий модуль на основе сверхкоротких импульсов, с возможностью работы в диапазонах частот 0,5...4 ГГц или 1...9 ГГц;
- набор малогабаритных микрополосковых сверхширокополосных антенн на печатных платах;
- сверхширокополосные усилители мощности;
- специальное программное обеспечение для обработки сигналов.

Ниже приведены области применения для систем комплексной безопасности транспортной инфраструктуры датчиков, использующих сверхширокополосную радиолокацию.

1. Сигнализационный датчик движения для охраны вышек и других подобных объектов от несанкционированного проникновения за охранный заграждение.

Сигнализационный датчик срабатывает при обнаружении движения на защищаемом участке территории (рис. 1). Для предотвращения ложных тревог важно, чтобы защищаемый участок территории, контролируемый данным охранным датчиком, не выходил за пределы периметра охраны. При размещении сигнализационного датчика на высоте 5...10 м над землей диаграмма направленности антенн формирует область срабатываний точно в пределах периметра охраны. Кроме того, в самом датчике устанавливается диапазон даль-

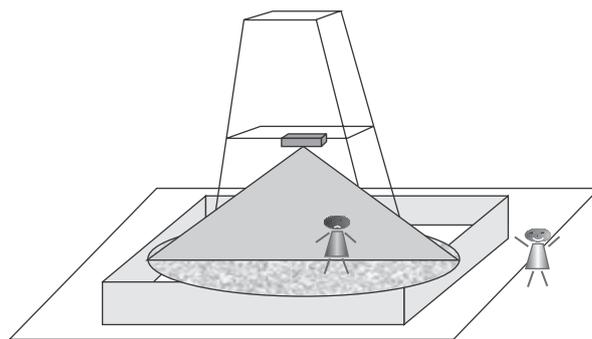


Рис. 1. Охраняемая вышка и периметр охраны, ограниченный забором

ностей срабатывания. Таким образом, при появлении случайного прохожего рядом с забором датчик не сработает по нему и исключит ложную тревогу. Если нарушитель проникнет через забор непосредственно к охраняемой вышке, датчик сработает, начнет отслеживать дальность до нарушителя, скорость его передвижений, относительную амплитуду, количество нарушителей. После обработки данной информации в блоке обработки датчик сделает вывод о типе нарушителя (человек, животное, движение листвы и т.д.) и передаст сигнал срабатывания оператору. Сигнализационный датчик является маскируемым, заключенным в защитный корпус с небольшими габаритными размерами. Питание датчика стационарное от сети.

2. Сигнализационный датчик движения для охраны периметров.

В случаях, когда охраняемый периметр представляет собой изогнутую кривую, и применение радиоволновых средств охраны нецелесообразно, можно использовать секторы охраны, перекрывающие охраняемый периметр (рис. 2). Для этого хорошо подходят датчики движения, действующие на основе сверхширокополосных сигналов. Они имеют дальность действия 0...50 м и более. При этом возможно оставлять полосу в секторе срабатывания, где срабатывание не происходит (например, для организации полосы обхода охраной). Для устранения «мертвых зон» необходимо близкое расположение датчиков друг от друга – примерно 30 м. При появлении нарушителя в зоне охраны датчик сработает по нему, начнет отслеживать дальность до нарушителя, скорость его передвижений, относительную амплитуду, количество нарушителей. После обработки ин-

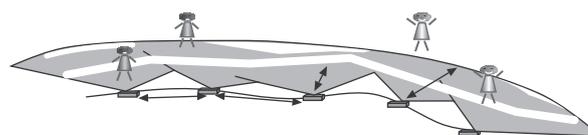


Рис. 2. Схема применения сигнализационного датчика для охраны периметра



формации в блоке обработки датчик сделает вывод о типе нарушителя (человек, животное, движение листвы и т.д.) и передаст сигнал срабатывания оператору. Сигнализационный датчик – маскируемый, заключен в защитный корпус с небольшими габаритными размерами и может располагаться с внутренней стороны периметра охраны, что сохраняет его от возможных повреждений нарушителем. Питание датчика стационарное от сети.

3. Сигнализационный датчик движения для временной охраны периметров с автономным питанием.

Для охраны ценного груза и т.д. применяется несколько сигнализационных датчиков автономного действия (рис. 3). Достоинством такой системы является быстрота развертывания на местности, последующего демонтажа и скрытность действия (особенно ночью). При появлении нарушителя в зоне охраны датчик сработает по нему, начнет отслеживать дальность до нарушителя, скорость его передвижений, относительную амплитуду, количество нарушителей. После обработки информации в блоке обработки датчик сделает вывод о типе нарушителя (человек, животное, движение листвы и т.д.) и передаст сигнал срабатывания по радиоканалу. Сигнализационный датчик – маскируемый, заключен в защитный корпус с небольшими габаритными размерами. Питание датчика автономное от батарей.

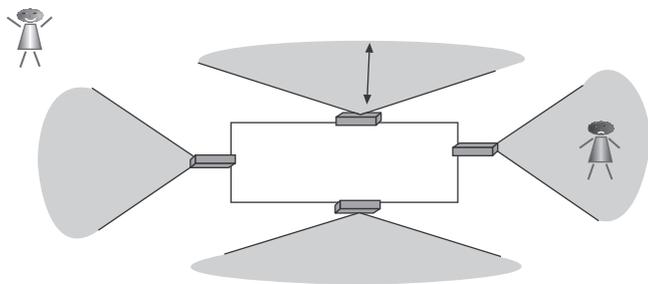


Рис. 3. Схема применения сигнализационного датчика для временной охраны периметра

4. Сигнализационный датчик движения кругового обзора с автономным питанием.

Для организации скрытной охраны участка территории может использоваться маскируемый автономный сигнализационный датчик кругового обзора. (рис. 4) Дальность его действия ограничена радиусом до 20 м из-за малой излучаемой мощности и потерь сигнала в сплиттере и ненаправленной антенне. Возможна организация круговых зон, где датчик не срабатывает. При появлении нарушителя в зоне охраны датчик сработает по нему, начнет отслеживать дальность до нарушителя, скорость

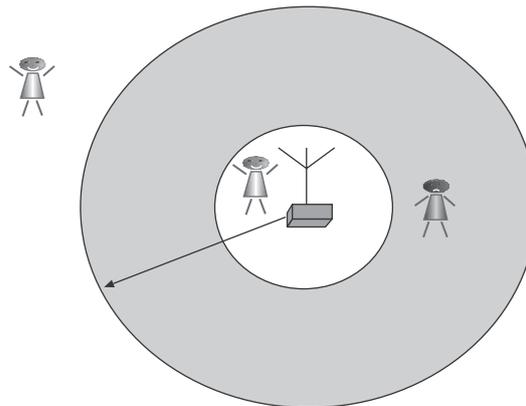


Рис. 4. Схема применения сигнализационного датчика кругового обзора

его передвижений, относительную амплитуду, количество нарушителей. После обработки информации в блоке обработки датчик сделает вывод о типе нарушителя (человек, животное, движение листвы и т.д.) и передаст сигнал срабатывания по радиоканалу. Сигнализационный датчик – маскируемый, возможно закапывание корпуса датчика в почву. Питание датчика автономное от батарей.

5. Сигнализационный датчик движения кругового обзора с автономным питанием, встроенный в транспортную систему.

Для организации скрытной охраны техники и ценных грузов в местах стоянки или временной дислокации может использоваться датчик кругового обзора (рис. 5). При появлении нарушителя в зоне охраны датчик сработает по нему, начнет отслеживать дальность до нарушителя, скорость его передвижений, количество нарушителей. После обработки информации в блоке обработки датчик сделает вывод о типе нарушителя (человек, животное, движение листвы и т.д.) и выведет информацию на дисплей. Питание осуществляется от внутренней электросети аппарата.

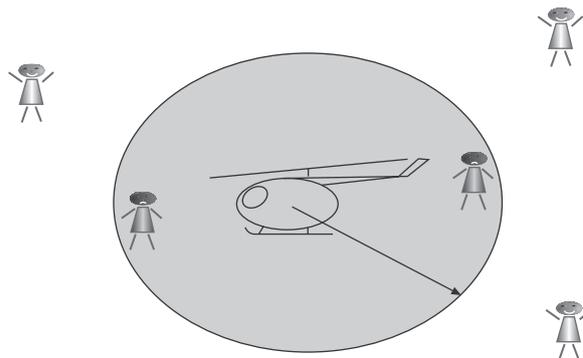


Рис. 5. Схема применения датчика движения кругового обзора с питанием от бортового аккумулятора

6. Сигнализационный датчик движения ближнего действия, интегрируемый в систему видеонаблюдения.

Система позволяет устойчиво обнаруживать движение человека на открытой местности на расстоянии 30...40 м (рис. 6) и в лесу с редким кустарником на расстоянии 20...30 м (рис. 7).



Рис. 6. Обнаружение человека на открытой местности



Рис. 7. Обнаружение человека в лесу

При организации системы видеонаблюдения часто возникает вопрос о компромиссе между количеством камер и количеством мертвых зон. Если видеосредств слишком много, то увеличивается нагрузка на оператора и заметно снижается качество его работы, а при ослаблении внимания оператора и вовсе очень трудно зафиксировать важное событие. Данная система позволяет заметно улучшить качество работы и автоматизацию системы видеонаблюдения: наводить камеру на движущийся объект (рис. 8) и осуществлять его сопровождение, проводить селекцию целей и выводить оператору изображение только с тех камер, где зафиксировано движение. При отказе или поломке системы видеонаблюдения датчик движения дублирует ее действие.

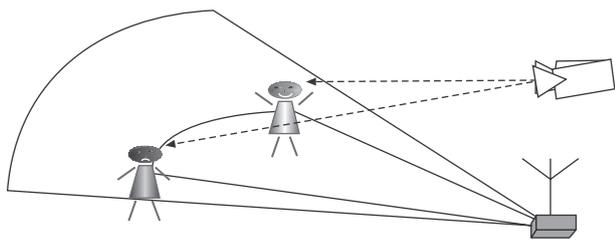


Рис. 8. Схема интеграции сигнализационного датчика в общую систему видеонаблюдения

7. Сигнализационный датчик автономной охраны помещений.

Одним из важнейших преимуществ датчиков, основанных на СШП-локации, является возможность их скрытного размещения за материалами строительных конструкций (рис. 9). При этом область охраны может быть выставлена таким образом, что датчик сработает при приближении человека вплотную к объекту или попытке прикоснуться к нему и не будет срабатывать при обычном осмотре объекта.



Рис. 9. Датчик охраны объекта, скрытый за стеной

8. Датчик движения за оптически непрозрачными преградами ближнего действия.

В системах безопасности объектов транспортной инфраструктуры на границах зон свободного доступа для пресечения актов незаконного вмешательства необходимо применять датчики для дистанционного измерения и контроля параметров дыхания и сердцебиения потенциального нарушителя. Это возможно в случае успешной бесконтактной оценки и мониторинга физиологического и психоэмоционального его состояния (рис. 10). Решение этой биоинженерной задачи производится с помощью радиолокационных методов дистанционного зондирования малых перемещений биологических структур, в частности, двигательной активности, дыхания, сокращений сердца и артериальных сосудов (рис. 11). Такую систему ближней радиолокации упрощенно можно представить как датчик малых перемещений, реагирующий на смещения отражающей мишени относительно приемной антенны.

Для обнаружения людей, скрывающихся за неметаллическими, оптически непрозрачными преградами (стенами различной толщины, внутри объектов транспорта) наиболее пригодны системы

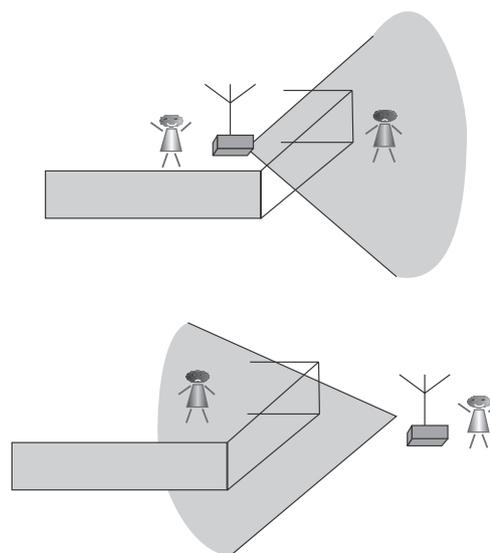


Рис. 10. Схема применения датчика движения для обнаружения движения за пределами помещения

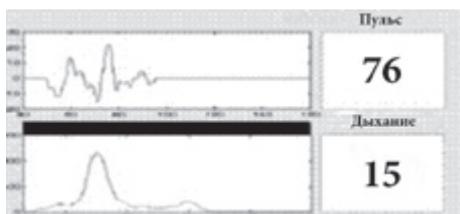


Рис. 11. Интерфейс программного обеспечения для дистанционного измерения пульса и дыхания

ближней радиолокации на основе сверхкоротких импульсов сигналов. Малая длительность сигнала обеспечивает высокую точность определения местоположения человека за преградой и устойчивую работу радара в условиях многократных отражений от окружающих предметов.

Движение человека обнаруживается за двумя кирпичными стенами толщиной 20 см, между которыми расположено другое помещение, на расстоянии 6 м. Физически это производится на основании разностной обработки отраженного сигнала при превышении установленного порога срабатывания.

9. Обнаружение людей под завалами при работе в условиях чрезвычайной ситуации.

Для систем обнаружения людей под завалами строительных конструкций или под слоем снега при сходе снежных лавин на объектах транспортной инфраструктуры используется портативный радар, действующий на основе сверхкоротких импульсов сигналов. Он позволяет устойчиво обнаруживать человека по его дыханию и небольшим движениям под несколькими железобетонными плитами (рис. 12). При этом погрешность обнаружения места нахождения человека не превышает одного метра, а дальность обнаружения вглубь завала составляет около 3 метров. Под двумя-тремя железобетонными плитами человек обнаруживается по небольшим движениям (шевелениям рукой-ногой) с вероятностью практически 100%, по дыханию с вероятностью 50%. Радар обладает помехозащищенностью – работающие рядом радиолокационные приборы влияния на его работу не оказывают.

Отдельным направлением использования СШП-локации является создание для транспорт-



Рис. 12. Полевые испытания по обнаружению людей под завалами, проводимые МЧС

ных средств (например, для вертолетов) высокоточных систем позиционирования ближнего пространства с помощью бортовых сверхширокополосных радиолокаторов.

Предотвращение аварий при посадке является весьма актуальным. Анализ безопасности полетов на вертолетах за период 2003–2012 гг., проведенный Г.А. Ячменевым (МАК) (рис. 13), показывает, что 42 авиа-происшествия из 128 (т.е. каждое третье авиа-происшествие) происходит при посадке.

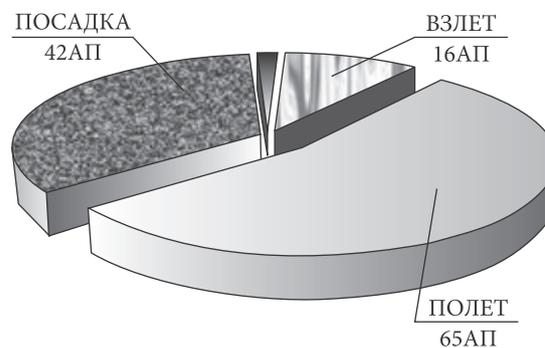


Рис. 13. Анализ безопасности полетов на вертолетах за период 2003–2012 гг.

Разрушение вертолета вызывается опрокидыванием его при посадке и происходит при попадании одной из опор в яму, на грязь или снег и ее последующем проваливании (рис. 14).



Рис. 14. Разрушение вертолета при посадке

Проблемой также является «слепая посадка в снежном вихре», когда затруднено точное определение расстояния от вертолета до земли. Это приводит к «жесткой посадке», а часто поломкам и разрушению вертолета (рис. 15).



Рис. 15. Жесткая посадка вертолета

Эти примеры показывают, как важно в процессе посадки проводить мониторинг обстановки в нижней полусфере вертолета с помощью высокоточных высотомеров. Экипаж вертолета должен не

просто знать свою высоту относительно земли, как это делается в настоящее время, но и расстояние от каждой опоры до твердой поверхности. Разность высот от каждой опоры до земли для каждого вертолета имеет определенные предельные значения в продольном и поперечном направлении, с учетом которых экипаж и принимает решение о возможности осуществления посадки. Для решения этой задачи могут применяться приемопередающие модули сверхширокополосных устройств малой дальности (0...0,5 м), конструктивно выполненные в одном блоке с малогабаритными антеннами.

Такие высокоточные высотомеры для мониторинга обстановки в нижней полусфере вертолета представляют собой малогабаритные (10×10×5 см) изделия с автономным питанием от аккумуляторов. При установке этих изделий на стойках рядом с каждым из колес они способны измерять расстояние до земли с точностью до 1 см и передавать информацию пилоту в требуемом виде для принятия решения о посадке в данной точке. Обработка сигналов осуществляется внутри изделия. В случае посадки на нетвердую поверхность (рыхлый снег, вода, высокая трава и т.п.) высотомер позволяет определять границы раздела сред (например, глубину снежного покрова). Такой высотомер для мониторинга обстановки в нижней полусфере вертолета является всепогодным, помехозащищенным изделием и не создает помех бортовым системам.

Перспективным представляется решение весьма актуальной проблемы защиты вертолета от столкновений с малоразмерными препятствиями впереди, сзади и по бокам. Небольшие препятствия, например провода ЛЭП – причину частых аварий, можно также обнаруживать посредством СШП-локации. Высокоточная система позиционирования ближнего пространства вертолета с помощью бортового СШП-радиолокатора значительно повысит безопасность полетов вертолетов, особенно в стесненных условиях (плохая видимость, туман, ущелья, городская застройка). Это позволит освободить пилота от постоянной оценки дистанций до малоразмерных препятствий и других летательных аппаратов. Необходимо учитывать, что требуемая дальность локации при времени реакции (времени исполнения маневра для облета препятствия) не менее 5 с и при скорости вертолета 50 м/с составляет 250 м, ее достижение является непростой задачей. Дополнительную проблему при этом представляет отстройка СШП-локатора от движения вертолета, его маневров и вибрации, а также необходимость обнаружения малозаметных целей на фоне подстилающей земной или водной поверхности.

Все описанные аппаратно-программные комплексы и технические компоненты систем ком-

плексной безопасности, разработанные на высоких технологиях с использованием сверхширокополосной локации, позволяют значительно усовершенствовать существующие системы комплексной безопасности объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств. В настоящее время они могут и должны разрабатываться и внедряться на этих государственно значимых объектах.

Литература

1. Иммореев И.Я. Сверхширокополосная локация: основные особенности и отличия от традиционной радиолокации. – Электромагнитные волны и электронные системы, № 1, том 2, 1997 г., С. 81-88.
2. Радзиевский В.Г., Трифонов П.А. Обработка сверхширокополосных сигналов и помех. – Москва: Радиотехника, 2009 г., С. 7-28.
3. Зеркаль А.Д. Рациональное построение приемопередающего модуля с импульсным сверхширокополосным сигналом. – Системы и средства радиосвязи, телевидения и радиовещания, № 1, 2, 2011 г., С. 137.
4. Симаков В.В., Зеркаль А.Д. Принципы построения приемо-передающего модуля на основе сверхкоротких импульсов с малым энергопотреблением. – Сборник докладов V Всероссийской научно-технической конференции «Радиолокация и радиосвязь», С. 340.
5. Техническое описание приемо-передающего модуля «Пикор-1» // [Электронный ресурс]: интернет-сайт производителя ОАО «КБОР». URL: http://www.uwbs.ru/shop?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=2&category_id=1.
6. Техническое описание приемо-передающего модуля PulsON 400 MRM // [Электронный ресурс]: интернет-сайт производителя Time Domain Corp. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.timedomain.com/datasheets/320-0299A-%20P400%20MRM%20Data%20Sheet.pdf>.
7. Серегин Г.М. Проектирование компактных сверхширокополосных антенн для радиоэлектронных систем на основе импульсных сверхширокополосных сигналов. – «Системы и средства радиосвязи, телевидения и радиовещания», № 1, 2 2011 г., с.139.
8. Техническое описание сверхширокополосной антенны Антрад-4 // [Электронный ресурс]: интернет-сайт производителя ОАО «КБОР». Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://uwbs.ru/images/files/antrad4_DS_1.pdf.
9. Анищенко Л.Н. Разработка технологии и программно-аппаратного комплекса биорадиолокационного мониторинга двигательной активности, дыхания и пульса: Автореферат диссертации на соискание степени к.т.н. – М., 2009 г., 18 с.