

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРАГЕРЦОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

Р. П. Быстров¹, И. Л. Масленникова², А. В. Соколов¹, Г. К. Чистова²

¹Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН

²Пензенский государственный университет

Получена 12 апреля 2010 г.

Аннотация. Обоснованы требования и методика к параметрам радиолокационных устройств (датчиков) обнаружения наземных объектов (человек, автомобиль) на длинах волн 1,3 мм; 0,98 мм и 0,88 мм. Такие радиолокаторы перспективны в охранных системах с оптикоэлектронными средствами. Исследуются характеристики радиолокационных систем в активном и пассивном режимах в условиях плохой оптической видимости.

Ключевые слова: радиолокация, охранные системы, пассивные и пассивно-активные радиолокационные датчики (РЛД-П и РЛД-ПА).

Основной задачей средств охранной сигнализации является своевременное обеспечение обнаружения и распознавания (классификации) всякого рода внешних воздействий на охраняемый объект (человека и техники). Целью нейтрализации охранной системы в процессе несанкционированного воздействия, как правило, является попытка снижения её рабочей эффективности, а также частичное или полное разрушение охраняемого объекта [1-4].

Если площадь охраняемого объекта имеет большие пространственные размеры (до нескольких сотен метров, а иногда и больше), то для предупреждения о нарушении системы охраны в настоящее время применяются сейсмические и акустические приборы (датчики). Указанные датчики обеспечивают выдачу информации (сигналов) факта появления объекта-нарушителя, что дает возможность последующего обнаружения и

распознавания его на определенных дальностях с помощью оптико-электронных средств (ОЭС). Однако необходимо отметить, что высокая эффективность такой системы обеспечивается, когда имеет место хорошая оптическая видимость. Если оптическая видимость низкая, когда появляются сильные туманы (дальность видимости - 20-50 м), дымовые или пылевые помехи, то эффективность оптической системы в значительной степени снижается, а иногда работа её просто срывается [5,6].

Опыт разработки и совершенствования технических средств обслуживания работы охранных систем показывает, что выполнение такой объемной задачи в условиях плохой оптической видимости на расстояниях невозможно без применения радиолокационных систем – датчиков (РЛД). И, поскольку, дальности действия системы могут быть не более 150-200 м, то возможно применение в таких системах короткой части миллиметровых волн или даже в длинноволновой части субмиллиметровых волн [7,8].

Становится очевидным, что важной и актуальной научно-технической задачей является задача по разработке моделей и методик обоснования и оценки параметров, создаваемых радиолокационных активных и пассивных устройств на охраняемых территориях (административные и учебные здания, специальные площадки) в условиях плохой видимости за счет применения техники более информационного СВЧ диапазона волн. Датчики должны быть малогабаритными, иметь высокие разрешающие способности по дальности и угловым координатам, а также обеспечивать высокий уровень вероятности правильного обнаружения (распознавания) наземных объектов.

В данном случае предполагается для создания РЛД более информативного СВЧ диапазона (короткая часть миллиметровых и длинная часть субмиллиметровых) радиоволн. В современной технической литературе данный диапазон радиоволн стал именоваться терагерцовым (ТГц) [9-16].

Обоснование требований к основным параметрам радиолокационных устройств (датчиков) обнаружения наземных объектов (человек, автомобиль) на длинах волн 1,3 мм; 0,98 мм и 0,88 мм.

Для исследования возможностей использования радиоволн ТГц диапазона в РЛД обнаружения наземных объектов, прежде всего, был проведен анализ результатов исследований молекулярного поглощения в атмосфере и гидрометеорах исследуемых радиоволн, и сделаны следующие выводы.

1. Особенности распространения радиоволн в атмосфере, в том числе и в гидрометеорах (дождь, туман, снег) является то, что в ТГц диапазоне имеется целый ряд участков спектра (1,3 мм; 0,98 мм и 0,88 мм). Ослабление для указанных длин волн составляет: 2 дБ/км, 7 дБ/км и 13 дБ/км соответственно, что позволяет использовать эти участки спектра в радиолокации малой дальности действия.

2. Ослабление в туманах в ТГц диапазоне волн при водности $0,1 \text{ г/м}^3$, по сравнению с дождями, невелико и не превышает 2 дБ/км.

3. Ослабление распространения ТГц волн в снеге не поддается строгой теоретической оценке. Однако известно, что оно примерно вдвое меньше, чем в дождях с интенсивностью менее 5 мм/ч.

4. Удельные ЭПР (отражения от среды гидрометеоров) в указанных «окнах» радиоволн оказывается в 2-10 раз больше, чем в миллиметровом диапазоне радиоволн.

Особое внимание было уделено исследованию и оценке ослабления радиоволн в пыледымовых помехах (ПДП).

В работе [17] приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований распространения волн короткой части ММ (длина волны 1,3 мм) и длинноволновой части СБММ (длина волны 0,98 мм) в дымах и пылевых помехах в сравнении с оптическим диапазоном.

Анализ, полученных результатов исследований показал, что ослабление ТГц радиоволн в дымах военно-химических смесей с оптической дальностью видимости до $S = 2 \text{ м}$ не превосходит величины $0,1 \text{ дБ/км}$. Также в результате

анализа многократных измерений установлено, что ослабление СБММ и ММ волн в дымах военно-химических смесей при указанных выше плотностях задымления трассы практически отсутствует.

Таким образом, проведенный анализ особенностей распространения радиоволн показывает, что в ТГц диапазоне (в районах волн 1,3 мм; 0,96 мм и 0,88 мм), где ослабление не достаточно велико и для малых дальностей действия радиотехнических систем (до 500 м) вполне пригодно. При этом средние значения затухания в течение времени года с вероятностью 0,8 в указанных “окнах прозрачности” не превышают значения соответственно: 3 дБ/км; 8,5 дБ/км и 10 дБ/км.

Был проведен *анализ отражательных характеристик наземных объектов* в ТГц диапазоне радиоволн. В качестве исследуемых объектов нами использовались автомобильная техника, люди. Получены следующие результаты.

1. Оказалось, что для подвижных объектов на длинах волн меньше 3 см ЭПР незначительно возрастает, и имеют тот же порядок, что и в сантиметровом диапазоне радиоволн. Так, с вероятностью 0,9 в короткой части диапазона ММ радиоволн ($\lambda \leq 3,3$ мм) среднее значение ЭПР бронированного объекта $\sigma \approx 10$ м², а на длине волны 8 мм – $\sigma \approx 9$ м²;

2. Для таких подвижных объектов, как человек или группа людей дальности действия по ним в сравнении с автомобильной техникой снижается примерно в 3-4 раза;

3. В исследуемом диапазоне радиоволн появляется превосходная возможность обнаружения неподвижной техники с работающим двигателем (в значительной степени увеличивается, не менее чем 30 дБ, амплитудные пульсации отраженного сигнала);

4. При обнаружении неподвижных объектов на фоне подстилающей поверхности радиолокационные системы в исследуемом диапазоне радиоволн имеют преимущество перед системами СМ и ММ диапазонов волн за счет более высокого значения радиоконтраста.

Поскольку авторы предполагают, что в качестве радиолокационных датчиков (РЛД) охранных систем могут найти применение и пассивные системы (основанных на приеме собственного радиоизлучения), то проводился также анализ характеристик радиоизлучения наземных объектов.

Результаты исследований в диапазоне длин волн от 1 мм до 3 мм, позволили сделать следующие выводы.

1. При малых углах визирования (до 4-5 °) радиоконтрасты наземных объектов на расстояниях до 1000 м на длинах волн 2 мм и 3 мм, при различном состоянии подстилающей поверхности, имеют значения от единиц до десятков градусов. При этом для вертикальной и на горизонтальной поляризации у них одинаковый порядок.

2. Наблюдались различия в характере распределения уровней радиоконтрастов наземных объектов на различных длинах волн. Полученные распределения радиоконтраста объекта на длинах волн 2 мм и 3 мм показывают, что максимальные значения радиоконтрастов не превышает 80–90 К, при чем абсолютные значения радиоконтраста объекта на длине волны 3 мм в 1,5–2 раза превышают значения, полученные для длины волны 2 мм.

3. Металлические объекты при наблюдении их под отрицательными углами наблюдения $\sim (-25 \dots 30^\circ)$ характеризуются величиной радиоконтраста, примерно в 1,5 раза большей, чем при наблюдении этих же объектов при малых углах наблюдения $\sim (0 \dots 1,5^\circ)$.

4. При движении объекта со скоростью 15 км/ч сигнал уменьшался примерно на 25%, а при скорости 25 км/ч уменьшался в 2 раза по сравнению с сигналом от неподвижного объекта.

5. Применение маскировочных средств и многослойных дымовых завес несколько ослабляет величину радиоконтраста объекта.

6. Выявлено достоинство пассивного радиовидения в диапазоне волн 1 и 2 мм в сравнении с длинноволновой частью ММ волн, заключающееся в достаточно легком узнавании наблюдаемых объектов, в том числе и при

использовании активной локации, где объект выглядит, как хаотическая система блестящих точек [17-20] .

Таким образом, в [17,18] на основе анализа возможных вариантов технического оснащения современных охранных систем (сейсмические, акустические, магнитные, оптико-электронные, телевизионные средства), исследований особенностей распространения радиоволн ТГц диапазона, отражательных и излучательных характеристик малоразмерных наземных объектов, а также изучения состояния и перспектив развития элементной базы этого диапазона были обоснованы (сформулированы) следующие основные требования к радиолокационным датчикам (РЛД) обнаружения наземных объектов на охраняемых территориях:

для обеспечения более эффективной работы охранных систем, и в частности, при обнаружении и распознавании объектов-нарушителей на небольших дальностях действия (до 500 м) и в условиях плохой оптической видимости РЛД должны иметь высокое разрешение по дальности и угловым координатам;

используемые диапазоны длин волн РЛД в зависимости от дальности наблюдений могут быть: для дальностей несколько сотен метров - в короткой части миллиметрового (длины волн 1,3; 2 и 3 мм) и для маленьких дальностей, не более 100 м - в длинноволновой части субмиллиметрового (длины волн 0,88 мм и 0,96 мм);

для обеспечения дальности действия от 50 до 500 м по малоразмерным объектам (в зависимости от статуса охранной системы) требуется разрешающая способность по дальности в пределах 0,5 ... 1 м (длительность импульса должна быть не более - 50 нс);

обеспечение обнаружения объектов (человек, автомат-робот, легковой и грузовой автомобиль) как малоподвижных (в том числе и неподвижных), так и движущихся в различных направлениях;

сектор обзора площадного участка со стороны охраняемого параметра на дальности до 500 ... 1000 м по азимуту должен быть в пределах $60^\circ (\pm 30^\circ)$ и по углу места - от $+5^\circ$ до -30° ;

обнаруживать наземные объекты на фоне земной поверхности с высокой вероятностью (не ниже 0,9) при вероятности ложной тревоги $\sim 10^{-5}$ при любых погодных условиях, включая дожди интенсивностью до 16 мм/ч;

иметь небольшие массу и габариты.

Оценка основных характеристик датчиков в активном и пассивном режимах работы в условиях плохой оптической видимости.

Для оценки основных характеристик и эффективности функционирования РЛД в активном и пассивном режимах и условиях плохой оптической видимости был разработан ряд математических моделей и методик (с соответствующим программно-алгоритмическим обеспечением) [17,18].

Анализ результатов последних работ по радиолокационной технике, позволяет заключить, что в качестве типовых РЛД могут быть системы, работающие как в активном, так и пассивном режиме. В отдельных случаях могут применяться и комплексированные системы – пассивно-активные, когда обнаружение объекта производится в пассивном режиме, а для определения дальности и скорости движения объектов может применяться на короткое время активный режим. Такие комплексированные системы в последнее время находят применение для обнаружения неподвижных (замаскированных и укрытых) объектов [18,20].

Активные РЛД

В качестве *активного РЛД* была рассмотрена радиолокационная система обнаружения наземных объектов – РЛД-А с дальностью действия 500-700 м.

Для оценки *энергетических возможностей активных РЛД-А* обнаружения наземных объектов была применена классическая формула определения дальности действия любой радиолокационной системы, D_0 ,

которая через значение мощности передатчика, $P_{пер}$, была преобразована в следующем виде:

$$P_{пер} = \frac{4\pi P_{пр.мин} \lambda^2 D_o^4}{A_{эф} L \sigma_o} \times 10^{-0,2\gamma_a D_o}, \quad (1)$$

где $P_{пр.мин}$ – чувствительность приемника; $A_{эф}$ – эффективная площадь антенны; L – коэффициент потерь в волноводном тракте и за счет неоптимальности обработки сигнала; σ_o – ЭПР объекта; γ_a – коэффициент ослабления радиоволн в атмосфере.

Проведенные расчеты показали, что на длине волны 1,3 мм можно реализовать дальность действия движущихся наземных объектов в благоприятных условиях до 3,5 км и в неблагоприятных условиях (дождь средней интенсивности) до 2-2,5 км как в дневных, так и в ночных условиях. На длине волны 0,88 мм эти дальности снижаются в 5-8 раз.

Анализ полученных результатов показал, что при одинаковых размерах антенн датчики, работающие в ТГц диапазоне радиоволн обеспечивают более высокую вероятность правильного обнаружения объекта по сравнению с радиолокационными системами в более длинноволновом диапазоне (в любых погодных условиях). Это объясняется их более высокими разрешающими способностями по угловым координатам и соответственно меньшими интегральными величинами ЭПР фонов. Однако, достаточно быстрое снижение дальности таких РЛС объясняется большим затуханием радиоволн в атмосфере и тем более в дождях.

В работе была сделана *оценка помехозащищенности РЛД-А*, определяемая, в общем случае, факторами, основными из которых являются *скрытность работы* и *помехоустойчивость*.

Оценка *помехоустойчивости* проводилась по аналогии с другими СВЧ диапазонами, в которых такие станции существуют.

Мощность помехи P_n на входе приемника РЛС определялась по зависимости:

$$P_n = \frac{P_{nep}^{(n)} G_{nep}^{(n)} G_{np} \lambda^2 L^{(n)} L k_{\Delta f}}{4\pi D_n^2} 10^{-0,1\gamma_a D_a} \quad , \quad (2)$$

где $P_{nep}^{(n)}$ – мощность передатчика помех; $G_{nep}^{(n)} \cdot G_{np}$ – коэффициенты усиления антенн станции помех и РЛС соответственно; $L^{(n)}, L$ – потери в трактах станции помех и РЛС; $k_{\Delta f}$ – множитель потерь на расширение полосы, необходимой для определения частоты подавляемого сигнала.

Результаты исследований показали, что имеется явное преимущество в помехоустойчивости РЛС ТГц диапазона по сравнению с РЛС, работающими в диапазоне длин волн 8 мм. Также полученные результаты позволили сделать заключение, что помехозащищенность РЛД-А обнаружения наземных объектов в ТГц диапазоне выше в сравнении с РЛС более длинноволновых диапазонов.

В качестве основных характеристик РЛД терагерцового и для сравнения короткой части миллиметрового диапазонов были получены характеристики на длинах волн: 0,88 мм (РЛД-1А) , 1,3 мм (РЛД-2А) и на длине волны 3,2 мм (РЛД-3А), которые приведены в табл. 1 [17,18].

Для оценки эффективности РЛД-А обнаружения наземных объектов предположено, что все исследуемые РЛД-А обнаружения применяются для обнаружения как групповых, так и одиночных объектов, которые находятся в зоне поиска, математические зависимости со следующими частными критериями:

$$W_i = \frac{\sum_{i=1}^I C_i M\{N_{o.i}\}}{\sum_{i=1}^I C_i N_i} \quad , \quad \text{и} \quad W_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^I C_i M\{N_{cp}\}}{\sum_{i=1}^I C_i N_i} \quad , \quad (3)$$

где W_i - вероятность обнаружения объекта; W_{cp} - вероятность обнаруженных объектов и определения его координат; $M\{N_{o.i}\}$ - математическое ожидание (МОЖ) числа обнаруженных объектов i -го типа из числа, находящихся в зоне наблюдения; C_i - весовой коэффициент, характеризующий важность объекта i -го типа.

Основные параметры РЛС обнаружения наземных объектов

№№ п/п	Параметры РЛС	Варианты РЛС обнаружения		
		РЛС-1А	РЛС-2А	РЛС-3А
1	Дальность действия, км	до 1,3	4,2	7
2	Импульсная мощность, кВт	0,05	0,5	1
3	Средняя мощность, Вт	0,2	2	7
4	Частота повторения, кГц	50	30	20
5	Чувствительность приемника, Вт/Гц	$1,3 \cdot 10^{-11}$	$8 \cdot 10^{-12}$	$3 \cdot 10^{-12}$
6	Длительность импульса, мкс	0,1	0,25	0,3
7	Коэффициент шума приемника, дБ	25	20	15
8	Потери в трактах, дБ	10	10	10
9	Сектор сканирования антенны, град:			
	по азимуту	20	30	30
	по углу места	6	6	15
10	Разрешающая способность, м:	0,5	1	1,5
11	Масса, кг	1-3	2-5	4-7

Алгоритм функционирования РЛС, включая формализованное описание процессов поиска и обнаружения объектов, а также вторичной обработки радиолокационной информации реализован в программах. С этой целью была разработана упрощенная блок-схема математической модели, представленная на рис.1.

Разработанная математическая модель позволила провести оценку эффективности РЛС при выполнении требуемых задач контроля в секторе обзора по критерию обнаружения объекта W_i . Такая модель позволяет воспроизводить в динамике объективную обстановку для типовых случаев функционирования объектов на территории охраны.

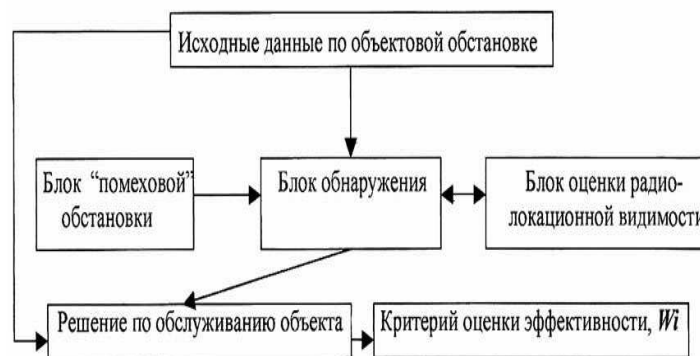


Рис. 1. Блок-схема математической модели

В результате обработки реализаций процесса функционирования РЛД обнаружения были построены зависимости относительного количества обнаруженных объектов с определением координат – W_{cp} в зависимости от дальности действия станций. Такие зависимости в виде графиков функции $W_{cp} = f(D)$ представлены на рис. 2, где под номером 1 приведены кривые для РЛД-2А, а под номером 2 – для РЛС СБР-3 (находящаяся в эксплуатации станция с дальностью действия до 3 км и работающая в короткой части сантиметрового диапазона радиоволн). Здесь же сплошные линии для условия равнинной местности и с крестиками для холмистой местности.

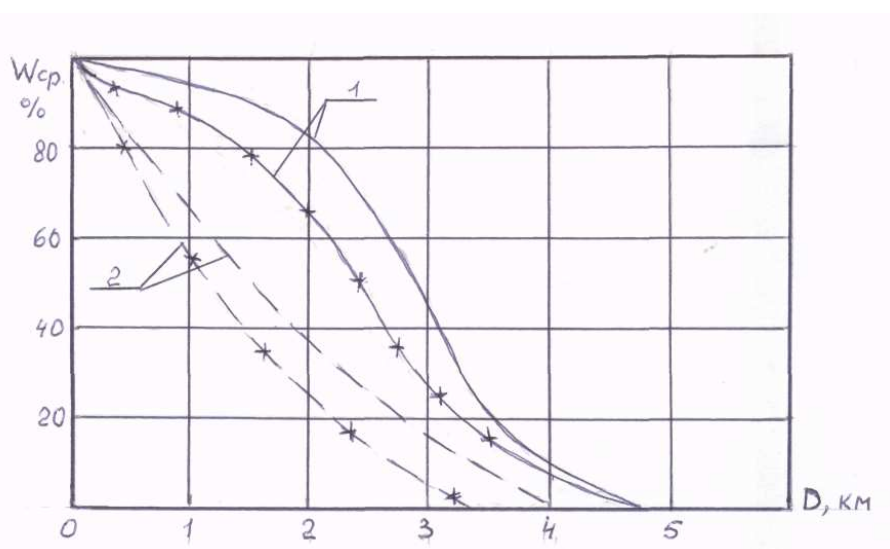


Рис.2. Зависимости функции $W_{cp} = f(D)$

Анализ результатов оценки функциональной зависимости $W_{cp} = f(D)$ показали, что значения относительного количества обнаруженных объектов с определением координат примерно на 10-15% ниже. Это объясняется тем, что для точного определения координат объектов требуется более длительное накопление отраженного сигнала и требуется дополнительное время на его обработку. Также можно видеть, что использование РЛД -2А повышает вероятность обнаружения наземных объектов в сравнении с РЛС типа СБР дальностях до 3-х км от 20 до 40%. Однако, необходимо заметить, что поисковые характеристики РЛС типа СБР в сравнении с РЛД отличаются в лучшую сторону.

Пассивные и пассивно-активные РЛД

Принципиальная возможность создания помехоустойчивых и полностью скрытных локационных систем привело к необходимости поисков новых методов обнаружения. Основой такого нового метода является пассивная радиолокация, когда обнаружение различных объектов без облучения производится по их радиотепловому излучению с использованием пассивного радиолокационного устройства (ПРЛУ), включающего в себя радиометрический приемник и антенную систему.

ПРЛУ обладают следующими преимуществами по сравнению с активными РЛС: *скрытностью действия; высокой помехозащищенностью по отношению к противорадиолокационным отражателям, применяемым для создания помехи обычным активным РЛС; относительной компактностью конструкций, особенно, при применении твердотельных элементов.*

В данной работе путем математического моделирования исследуются основные параметры и эффективность пассивных и пассивно-активных радиолокационных систем (РЛД-П и РЛД-ПА) обнаружения наземных объектов. Исследовались особенности применения в пассивных радиолокационных устройствах обнаружения наземных объектов короткой части ММ и ТГц диапазонов радиоволн, обосновываются основные параметры пассивных и пассивно-активных датчиков (РЛД-П и РЛД-ПА), а также на основе моделирования производится оценка эффективности таких датчиков.

Одним из основных требований к РЛД-П является дальность действия, которую можно определить с помощью преобразованной к удобному виду для расчетов формулы дальности пассивной радиолокации:

$$D_{max} = \sqrt{\frac{\Delta T_o S_o G}{4\pi q_m \Delta T_{np.min}}} \cdot 10^{-0,005\gamma} D_{max}, \quad (4)$$

где ΔT_o – величина радиоконтраста объекта; S_o – площадь объекта; G – коэффициент усиления антенны; q_m – коэффициент различимости,

учитывающий превышение сигнала от объекта на чувствительностью ПРЛУ;
 $\Delta T_{np.min}$ – флуктационная чувствительность приемника.

Были проведены расчеты дальности действия РЛД-П по объекту типа грузовой автомобиль. Расчеты проводились для чувствительности приемника $T_{np.min} = 0,1$ К (что соответствует чувствительности существующих приемников), диаметр антенны принимался равным 1000 мм и 100 мм и для летних и зимних условий.

Для РЛД-П в ТГц диапазоне с диаметром антенны 100 мм дальности действия могут быть в пределах нескольких сотен метров. Такие дальности вполне отвечают требованиям по дальности действия РЛД-П в охранных системах.

Одним из основных достоинств пассивных устройств является скрытность его работы, а недостатком – сложность селекции объекта по дальности. В связи с этим наиболее целесообразно использование ПРЛУ в совокупности с радиолокационными дальномерами.

Использование в одном устройстве пассивного (радиометрического) режимов работы позволило бы скомпенсировать положительные качества и свести к минимуму их недостатки. Такое комплексирование позволяет получить новые положительные качества станции, в частности, в пассивном режиме возможен обзор пространства (без излучения СВЧ энергии), а в активном режиме возможно измерение дальности до обнаруживаемого объекта. Активный радиолокационный дальномер это радиолокационное устройство, которое можно рассматривать как аналог активной РЛС, рассмотренной в во втором разделе настоящей работы. Поэтому в работе большое внимание уделено и пассивно-активным РЛД (РЛД-ПА).

Оценка результатов исследований дальности действия РЛД-ПА обнаружения наземных объектов, работающих в СВЧ диапазоне. Получено, что для таких систем (с дальностью действия до 1 км – в пассивном режиме работы и 1,5 км в активном режиме) может быть использован рабочий диапазон волн в “окнах прозрачности” коротковолновой части ММ диапазонов радиоволн

(длины волн 1,3 и 2,15 мм). На длинах волн (0,96 и 0,88 мм) дальности действия снижаются примерно в 2-3 раза.).

На основе проведенных исследований в работе появилась возможность предложить предполагаемые основные параметры РЛД-ПА обнаружения объектов, которые представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры РЛД-ПА обнаружения объектов

№.№ п/п	Параметры	Режим работы	
		Пассивный	Активный
1	Назначение	Скрытное обнаружение, определение координат наземных объектов.	
2	Рабочий диапазон (длина волны), мм	1,3	1,3
3	Дальность действия (автомашина), км: неподвижная; движущаяся	1 -	- 4
4	Мощность передатчика в импульсе, Вт	-	300
5	Чувствительность приемника	0,01 К	$3 \cdot 10^{-12}$
6	Полоса пропускания на промежуточной частоте, МГц	600	20-40
7	Сектор автоматического сканирования при поиске объекта, град: по азимуту; по углу места	30 6	30-40 6
8	Время наблюдения в секторе поиска, с	30-40	3
9	Диаметр антенны (параболойд), мм	300-500	300-500

Несомненным достоинством такой пассивно-активной системы является обеспечение высокой помехозащищенности. Это достигается как за счет скрытности работы станции при пассивном режиме, так и за счет применения в РЛД-ПА короткой части ММ диапазона или в ТГц диапазоне.

Для оценки скрытности работы пассивно-активной радиолокационной системы проведена сравнительная оценка активной и пассивной РЛС по показателю, характеризующего вероятность обнаружения их средствами радиотехнического обнаружения (разведки) ($P_{обн.ртр}$).

Расчетные данные показывают, что РЛД-ПА при работе средств РТР в течение 1 часа может быть обнаружена с вероятностью ($P_{обн.ртр}$) $\leq 0,1$, т.е.

скрытность такой РЛС будет практически на порядок выше в сравнении с активной РЛС.

Таким образом, комплексирование пассивных РЛС с активными радиодальномерами позволит выполнить задачу измерения дальности до объекта, ее селекцию по дальности, а также появляется возможность существенного повышения помехозащищенности. Кроме того, использование в РЛД-ПА единых системных узлов, например, антенно-фидерной системы, дает возможность уменьшить их вес и габариты, а также улучшить потенциальные возможности по распознаванию неподвижных (в том числе и замаскированных) наземных объектов.

Путем моделирования произведена оценка эффективности РЛД-ПА охранной системы.

В качестве критерия оценки эффективности РЛД-ПА выбрано математическое ожидание (МОЖ) относительного количества своевременно обнаруженных незамаскированных (открыто функционирующих), $W_{нз}$, и замаскированных (малоподвижных), W_z , наземных объектов из общего числа находящегося в зоне поиска. Кроме того, для оценки эффективности модуля РЛД-А использовались дополнительно две модели, основанные на алгоритмах, разработанных в предположении рассмотрения, что функционирование РЛД-ПА проводится в двух основных режимах работы отдельно в активном и пассивном.

Для получения исходных данных в модели по объектовой обстановке применяется пространственно-временная модель возможных эпизодов, так называемая модель обстановки в случае применения РЛД-ПА для обнаружения групповых объектов.

Оценка эффективности РЛД-ПА по предложенной модели показала, что в секторе поиска 30° возможно обнаружение относительного количества открыто расположенных объектов на дальности до 3 км до 50%, а замаскированных на дальности 1,5 км – 35–40 %.

Литература.

1. Заренков В.А., Заренков Д.В., Дикарев В. И.. Доплеровский радиоволновой извещатель для охранной тревожной сигнализации: Пат. 2221260 Россия, МПК⁷ G 01 S 13/56. № 2002115054/09; Заявл. 30.05.2002; Оpubл. 10.01.2004.
2. Дудкин В. А., Шевченко Д. В. Модели сейсмопеленгаторов движущегося нарушителя. Проблемы объектовой охраны: Сборник научных трудов. Вып. 4- Пенз. гос. ун-т. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та. 2004, с. 69-72.
3. Леонтьев В. В., Журавский А. Н. Модель сигнала в радиолокационной системе охраны периметра. Изв. вузов России. Радиэлектроника. 2003, № 2, с. 55-61.
4. Маршалов Т. А., Костенко Е. А. Признаки распознавания радиолокационных сигналов от экипированных нарушителей на основе анализа динамического отражательного портрета. Радиотехника (Россия). 2005, № 3, с. 73-74.
5. Соколов А.В., Сухонин Е.В. Исследование распространения миллиметрового диапазона волн в атмосфере и его применение для связи и локации. –II Всес. школа-семинар по распротр. ММ и СММ волн в атмосфере, Фрунзе, Илим, 1988, с. 3-10.
6. Быстров Р.П., Потапов А.А., Соколов А.В., Федорова Л.В., Чеканов Р.Н. Проблемы распространения и применения миллиметровых волн в радиолокации. – Зарубежная радиоэлектроника, № 1, 1997, с. 4-20.
7. Масленникова Ж.Л., Королев Г.Б., Быстров Р.П. Датчики миллиметрового диапазона волн для охранных систем. / Электромагнитные волны и электронные системы, № 2-3, т.11, 2006. –с. 93-98.
8. Быстров Р.П., Петров А.В. Исследование характеристик применимости техники КЧ ММД в радиолокационных системах обнаружения наземных объектов. Тезисы докл. VII Всерос. школа-семинар"Волновые явления в неоднородных средах", т.2, г. Красновигово Моск.обл.,22-27 мая 2000 г., с.11-13.

9. Борзов А.Б., Быстров Р.П., Дмитриев В.Г., Засовин Э.А., Потапов А.А., Соколов А.В., Чусов И.В. Научно-технические достижения и проблемы развития техники миллиметрового диапазона радиоволн (Развитие элементной базы, военное и гражданское применение). - Зарубежная радиоэлектроника, № 5, 2001 г., с. 3-49.

10. Boh A., Van Rudd J., Decker Joan, Sanchez-Palencia Laurent, Le Hors Lenaic, Whitaker John F., Norris Theodore B. Получение изображений в терагерцовой области с обращением временного сигнала. Time reversal terahertz imaging Ruffin. IEEE J. Quantum Electron. 2002. 38, Ns 8, с. 1110-1119.

11. Hwu R. Jernnifer, Woolard Dwight L Использование терагерцового диапазона частот в армии и структурах безопасности. Terahertz for military and security applications 21 April 2003 Orlando, Florida, USA.. Proc. SPIE. 2003. 5070, с. I-IV, 1-116.

12 Kemp M. C., Taday P. F., Cole B. E., Cluff J. A., Fitzgerald A. J., Tribe W. R. Применение терагерцовой технологии в средствах обеспечения безопасности. Security applications of terahertz technology: Докл. [Conference on "Terahertz for Military and Security Applications", Orlando, Fla, 21 Apr., 2003]. Proc. SPIE. 2003. 5070, с. 44-52.

13. Маршалов Т. А., Костенко Е. А. Признаки распознавания радиолокационных сигналов от экипированных нарушителей на основе анализа динамического отражательного портрета. Радиотехника (Россия). 2005, № 3, с. 73-74.

14. Масленникова Ж.Л., Быстров Р.П., Соколов А.В. Оценка эффективности применения радиолокационных устройств миллиметрового и субмиллиметрового диапазона радиоволн для охранной системы. // Труды XIII Международной конференции по Спиновой электронике и Гировекторной электродинамике. Секция “Радиолокация и связь”, 1-5 декабря 2004, Москва (Фирсановка). – с. 234-235

15. Масленникова Ж.Л., Быстров Р.П., Соколов А.В. Влияние на прохождение миллиметровых и субмиллиметровых волн через пыледымовые

помехи. / Электромагнитные волны и электронные системы, №7, 2006. –с. 43-48.

16. Борзов А.Б., Быстров Р.П., Дмитриев В.Г., Засовин Э.А., Потапов А.А., Соколов А.В., Чусов И.В. Научно-технические достижения и проблемы развития техники миллиметрового диапазона радиоволн (Концептуальные направления, распространение радиоволн, обработка сигналов). - Зарубежная радиоэлектроника, № 4, 2001 г., с. 18-80.

17. Масленникова Ж.Л., Быстров Р.П., Соколов А.В., Чистова Г.К. Обоснование основных характеристик радиолокационных датчиков терагерцового диапазона для охранных систем. / Труды XVI Международной конференции, «Радиолокация и радиосвязь», Москва – Фирсановка, 2008. – с.116-123.

18. Масленникова Ж.Л., Быстров Р.П., Соколов А.В. Методика обоснования требований к основным характеристикам терагерцовых радиолокационных устройств охранной системы. / Труды XVI Международной конференции, «Радиолокация и радиосвязь», Москва – Фирсановка, 2008. – с. 129-134.

19. Масленникова Ж.Л., Быстров Р.П., Соколов А.В., Чеканов Р.Н. Комплекс моделей оценки эффективности РЛС обнаружения наземных объектов в миллиметровом диапазоне радиоволн. // Труды XIII Международной конференции по Спиновой электронике и Гировекторной электродинамике. Секция “Радиолокация и связь”, 1-5 декабря 2004, Москва (Фирсановка). – с.236-237.

20. Пирогов Ю. А. Пассивное радиовидение в миллиметровом диапазоне длин волн: Докл. [4 Всероссийский семинар "Физика микроволн", Нижний Новгород, март, 2003. Ч. I]. Изв. вузов. Радио-физ. 2003. 46, № 8-9, с. 660-670.