

УДК: 623

DOI: 10.53816/20753608_2021_3_90

**ВОЕННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВ
СИСТЕМ ВЫСОКОТОЧНОГО ОРУЖИЯ
ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА РАДИОВОЛН**

**MILITARY TECHNICAL EVALUATION OF RADAR INSTALLATION SYSTEM
HIGH-FIDELITY AMMUNITION OF THE TERAHERTZ RANGES RADIO WAVES**

По представлению академика РАН В.В. Панова

А.В. Волков, А.Е. Гвоздев, Р.П. Быстров, А.В. Немцов

3 ЦНИИ МО РФ

A.V. Volkov, A.E. Gvozdev, R.P. Bystrov, A.V. Nemtsov

В статье приводятся результаты оценки вариантов радиолокационных устройств (РЛУ) для использования их в конкретных системах высокоточного оружия (ВТО): обнаружения движущихся и неподвижных объектов; активные, пассивные и активно-пассивные на летательных аппаратах; прицельные модули (датчики) с высоким разрешением (радиоуправляемые противотанковые устройства); обеспечения стрельбы стрелкового оружия и средств ближнего боя; датчики для комплексов разведывательно-сигнализационных средств (КРСС); головки самонаведения артиллерийских снарядов и ракетных систем. Представляются направления современного видения перспектив развития РЛУ в конкретных радиолокационных системах управления и наведения ВТО в терагерцовом (ТГц) диапазоне радиоволн в сравнении с миллиметровым (ММ) диапазоном радиоволн, а в отдельных случаях и с сантиметровым (СМ) диапазоном радиоволн.

Ключевые слова: терагерцовый диапазон, миллиметровые волны, радиолокационное устройство, обнаружение, наведение, система управления, высокоточное оружие, прогноз.

In article estimates the results of radar devices (RLU) for their use in concrete systems of precision weapons (WTO): detection of moving and motionless objects; active, passive and active and passive on aircraft; aim modules (sensors) with high resolution (radio-controlled anti-tank devices); ensuring firing with means of near fight; sensors for the complexes of prospecting and signaling means (CPSM) and a head of homing of artillery shells and missile systems. The directions of modern vision of prospects of development of RSU in concrete radar-tracking systems of management and targeting of the WTO are presented to TGTs the range of radio waves in comparison with the millimetric (MM) range of radio waves, and in some cases with centimetric (CM) ranges of radio waves.

Keywords: terahertz range, millimetric waves, radar device, detection, targeting, control system, precision weapons, forecast.

Современное видение перспективных направлений развития радиолокационных устройств (РЛУ) предопределяет широкое использование терагерцового диапазона радиоволн в системах управления и наведения высокоточного оружия.

Наиболее типовыми вариантами РЛУ терагерцового диапазона радиоволн в современных системах ВТО являются: РЛС обнаружения движущихся и неподвижных объектов (активные, пассивные и активно-пассивные); прицельные модули (датчики) с высоким разрешением

(противотанковые локационные комплексы); РЛС обеспечения стрельбы стрелкового оружия и средств ближнего боя; датчики для комплексов разведывательно-сигнализационных средств (КРСС); головки самонаведения артиллерийских снарядов и ракетных систем.

Анализ тенденций развития радиоэлектронных систем военного назначения [1] показал, что основными достоинствами РЛУ коротковолновой части диапазона радиоволн (миллиметрового и терагерцового диапазонов) являются их высокая информативность и помехозащищенность.

Особенности использования терагерцового диапазона радиоволн в РЛУ конкретных систем ВТО, прежде всего, обуславливаются техникой генерирования, излучения, приема, обработки и условиями распространения радиоволн.

Учитывая перспективность использования терагерцового диапазона радиоволн, военно-техническая оценка возможности создания и использования РЛУ является своевременной и целесообразной.

Военно-техническая оценка РЛУ, работающих в данном диапазоне радиоволн, проводилась на основе результатов теоретических и экспериментальных работ, полученных в ведущих научно-исследовательских учреждениях (НИУ), Российской академии наук, Министерстве обороны РФ, и опыта использования ТГц диапазона радиоволн за рубежом [1–7].

Активные и пассивные радиолокационные устройства обнаружения наземных объектов

Для сравнительной оценки в качестве альтернативных образцов радиолокационных устройств обнаружения наземных объектов систем ВТО выбраны активные и пассивные РЛУ различной дальности действия, работающие в ТГц диапазоне радиоволн. В качестве исходной взята длина волны 1,3 мм, как наиболее освоенная по сравнению с длинами волн 0,96 и 0,88 мм (с прогнозом возможностей и для более коротких волн). Конкурирующими выбраны радиоволны 2,15 и 3,3 мм. При рассмотрении возможностей создания РЛУ обнаружения наземных объектов систем ВТО обоснованы их параметры: дальность действия, возможности обнаружения, точности пеленгования и сопровождения объектов, а также их скрытность и помехоустойчивость,

которые и определяют эффективность работы любой радиолокационной системы.

Приведем основные выводы обоснования параметров РЛУ обнаружения наземных объектов систем ВТО.

Для активных радиолокационных устройств обнаружения по объекту типа «автомашина» (с эффективной площадью рассеивания (ЭПР) на уровне 0,9 равной 10 м²), в атмосферных условиях без осадков и при заданных величинах порогового отношения сигнал/шум 10 дБ для подвижных и неподвижных объектов на длинах волн: 2,15; 1,3 и 0,88 мм, — получены дальности действия до 7,2 (5), 4,2 (3) и 1,3 (0,7) км, соответственно (для неподвижных объектов — данные в скобках). В случае использования в станциях когерентного сигнала и когерентной обработки требуемая средняя мощность передатчиков должна приблизительно составлять 0,2; 2,5 и 7 Вт, соответственно. Указанные дальности обнаружения движущихся наземных объектов обеспечиваются за счет доплеровской обработки системой селекции движущихся объектов, а медленно движущихся и неподвижных объектов — за счет повышения разрешающей способности по дальности не менее 0,5 м.

Другие параметры РЛУ систем ВТО на длине волны 1,3 мм могут быть следующие: импульсная мощность — 1 кВт, частота повторения — 20 кГц, длительность импульса — 0,35 мкс, чувствительность — $3 \cdot 10^{-12}$ Вт/Гц, сектор поиска: по азимуту — 30°, по углу места — 6°.

Точности определения координат наземных объектов с применением РЛУ ТГц диапазона в сравнении с сантиметровым диапазоном радиоволн повышается в 1,5–2 раза, также является явное преимущество в помехоустойчивости РЛУ в ТГц и коротковолновой части миллиметрового диапазонов радиоволн по сравнению с РЛУ, работающими в диапазоне длин радиоволн 8 мм.

Проведенная сравнительная оценка эффективности функционирования РЛУ обнаружения систем ВТО, работающих в ТГц и СМ диапазонах, показала, что при использовании активной РЛС на длине волны 1,3 мм в сравнении с РЛС (СБР-3) СМ диапазона радиоволн, вероятность обнаружения наземных объектов на дальностях до 3 км повышается от 20 до 40 %. При этом необходимо отметить, что поисковые характеристики

РЛС типа СБР в сравнении с РЛС ТГц диапазона отличаются в лучшую сторону.

Дальности действия пассивных радиолокационных устройств по объекту типа грузовой автомобиль, при чувствительности приемника $T_{пр.мин} = 0,1$ К, диаметра антенны 100 мм могут быть в пределах 400–600 м. Величина ширины полосы пропускания по низкой частоте в пассивном РЛУ обратно пропорциональна времени накопления сигнала, причем при обзоре в секторе поиска пассивного РЛУ по азимуту $\sim 30^\circ$ время накопления сигнала (время наблюдения объекта) зависит от скорости обзора и ширины диаграммы направленности антенны (ДНА) и составляет для существующих приемников в пределах 0,1–1 с [2].

Исследования рабочих диапазонов пассивно-активных радиолокационных датчиков (РЛД-ПА) обнаружения наземных объектов показывают, что в системах дальности действия до 1 км — в пассивном режиме работы и 1,5 км — в активном режиме, — целесообразно использовать ТГц диапазон радиоволн (длина волны 1,3 мм) и короткую часть ММ диапазона радиоволн (длина волны 2,15 мм) [3].

Анализ возможностей скрытности работы РЛД-ПА показал, что РЛД-ПА при работе средств радиотехнической разведки (РТР) в течение 1 часа может быть обнаружен с вероятностью $P_{обн.ртр} \leq 0,1$, т.е. скрытность такого РЛУ будет практически на порядок выше в сравнении с активным РЛУ системы ВТО.

Оценка эффективности РЛД-ПА показала, что РЛД-ПА в секторе поиска 30° позволяет обнаружить в условиях плохой оптической видимости открыто расположенные объекты на дальности до 3 км не менее чем 50 %, а замаскированные — на дальности 1,5 км до 35–40 % объектов. Это является достаточно эффективным показателем в сравнении с радиолокационными системами более длинноволновых диапазонов [8–10].

Радиолокационные устройства обнаружения и управления систем ВТО

Выполнение задач обнаружения малоразмерных и малоконтрастных наземных объектов и последующего воздействия по ним управляемым оружием (самонаводящимися снарядами или малогабаритными ракетами) с помощью ра-

диокационных систем рассматривалось в ТГц диапазоне радиоволн в сравнении с возможными аналогами в короткой части ММ диапазона радиоволн.

В качестве альтернативных радиолокационных устройств обнаружения и управления оружием, в которых наиболее вероятно применение указанных диапазонов радиоволн, выбраны следующие: противотанковые радиолокационные комплексы, комплексы обеспечения стрельбы из стрелкового оружия и средств ближнего боя в охраняемых районах (типа блокпосты).

Очевидно, что для общей разведки и целеуказания, как это и имеет место в подразделениях противотанковых комплексов, можно использовать менее точные РЛУ СМ диапазона (РЛС типа ПСНР), а в качестве прицельного инструмента — использование всепогодных РЛУ противотанковых радиолокационных комплексов (ПТРК), т.е. применение РЛУ коротковолновой части ММ или ТГц диапазонов радиоволн.

Основные характеристики радиолокационных устройств ПТРК. Дальности обнаружения наземных объектов (типа автомобиль) при благоприятных метеоусловиях соответствуют:

- в короткой части ММ диапазона радиоволн (длина волны 3 мм) по неподвижной цели до 5000 м;

- в ТГц диапазоне радиоволн (длина волны от 1,3 мм) до 2500 м по движущейся и 1200 м — по неподвижным целям, на длине волны от 0,88 мм до 1500 м — по движущейся и до 500–600 м — по неподвижным целям.

Параметры таких РЛУ коротковолновой части ММ диапазона предполагаются следующие [1, 2]: импульсная мощность — 1 кВт; средняя мощность — 7 Вт; частота повторения — 20 кГц; чувствительность приемника — $3 \cdot 10^{-12}$ Вт/Гц; длительность импульса — 0,35 мкс; разрешающая способность: по дальности — 10 м и по азимуту — 5 м. Согласно предъявляемым требованиям к перспективным РЛУ ПТРК по дальности обнаружения полностью удовлетворяют РЛУ, работающие в короткой части ММ диапазона радиоволн.

Радиолокационные устройства ПТРК ТГц диапазона радиоволн могут быть использованы в перспективе, когда дальности обнаружения наземных целей не более 1500 м, и когда требуется высокое разрешение по дальности до

0,5–1 м по трем координатам с возможным распознаванием цели.

Основная причина, которая сдерживает экспериментальную проверку и создание эффективных радиолокационных систем в ТГц диапазоне радиоволн — это отсутствие элементной базы.

Эффективность противотанковых радиолокационных комплексов

Выше отмечено, что в подразделениях ПТРК в качестве РЛУ разведки и целеуказания можно использовать РЛС типа ПСНР, а в качестве радиолокационного прицельного устройства использовать РЛУ обнаружения наземных объектов, работающее в коротковолновой части ММ или ТГц диапазонов радиоволн.

По методикам, изложенным в [1, 3], была проведена оценка величины вероятности попадания ракеты в цель при боевых ситуациях на различной дальности действия при следующих исходных данных: дальности боя от 500 м до 6000 м; первыми начинают вести стрельбу ПТРК; скорость движения танков примерно 5 м/с.

Результаты расчетов показали, что на дальности начала боя 4 км группа ПТРК может выполнить успешно боевую задачу в условиях без помех с вероятностью поражения $P_{\text{пор}} \geq 0,7$. При стрельбе ПТРК в условиях помех вероятность поражения равную $P_{\text{пор}} \geq 0,7$ можно получить только на дальностях начала боя не более 2 км. Здесь необходимо отметить, что поскольку труднее ставить помеху РЛУ в ТГц диапазоне радиоволн, то на дальностях порядка 1500–2000 м преимущество получают эти системы.

Однако при моделировании боя с танками и оценке эффективности ПТРК считается важным учитывать не только помехи, которые могут создаваться станциями помех противника на этапе вывода ракеты на цель или во время самонаведения ракеты, но и потери комплексов в дуэльной ситуации боевых действий.

Для физического моделирования реальной ситуации боя считается благоприятным исходом для ПТРК, когда потери противника в танках достигают 60 %. При этом основным показателем сравнительной оценки возможностей противоборствующих сторон обосновывается коэффициент соизмеримости, величина которо-

го должна быть $K_c \geq 1$. Для оценки коэффициента соизмеримости учитывались потери ПТРК, дальность начала ведения боя, необходимое количество ПТРК, а также «помеховые» условия.

Из приведенных данных следует, что помеха (здесь имеется в виду прицельная по частоте импульсная помеха) системе вывода ракеты в зону самонаведения приводит к снижению дальности, на которой подразделение ПТРК может вести эффективную борьбу с танками, до 3 км.

Ограничения, накладываемые на дальность начала боя, приводят к тому, что допустимые уровни снижения $P_{\text{пор}}$ в условиях помех должны определяться более вероятными дальностями открытия огня ПТРК, равными 2–3 км. Результаты моделирования показали, что на указанных дальностях снижение вероятности поражения цели до 14 % не приводит к изменению численного состава группировки ПТРК, отражающей атаку танков и при этом остающейся боеспособной (собственные потери составляют 31–33 %). Это подтверждает, что допустимый уровень снижения вероятности поражения в условиях помех должен быть не более 15 %.

Радиолокационные устройства обеспечения стрельбы из стрелкового оружия и средств ближнего боя

Для выполнения боевых задач обеспечения высокой плотности огня в зоне охраны (оборон), снижения потерь личного состава, перспективным направлением является создание дистанционно управляемых автоматизированных систем стрелкового оружия и противопехотных средств ближнего боя.

В качестве радиолокационных прицелов (РЛП) аппаратуры обнаружения объекта и управления огнем стрелкового оружия и противопехотных средств ближнего боя могут применяться малогабаритные РЛУ обнаружения и прицеливания, работающие в короткой части ММ и ТГц диапазонах радиоволн.

Боевой опыт использования стрелкового оружия показывает, что наибольшие ошибки стрельбы связаны с неточным определением стрелком положения целей на местности и параметров их движения, особенно в плохих погодных условиях и ночью. Следовательно, одной из важнейших боевых задач при построении

дистанционно управляемых автоматизированных систем стрелкового оружия и противопехотных средств ближнего боя является автоматизация процессов обнаружения цели и точного определения ее координат.

В настоящее время в качестве РЛУ к огневым средствам ближнего боя применяются РЛУ СМ диапазона радиоволн РЛС типа СБР-3. Однако было установлено, что эти станции не обеспечивают в полной мере боевых возможностей сопрягаемого с ней оружия (пулемет, гранатомет). В частности, недостаточная точность определения азимута цели приводит к увеличению расхода боеприпасов и времени выполнения боевой задачи, а отсутствие возможности определения угла места цели не позволяет осуществлять маневр огня по дальности. Кроме того, существующие РЛС ближней разведки имеют значительные массу (в 3–4 раза большую) и габариты.

Исследования показывают, что реализация РЛС в качестве требуемых более эффективных РЛП возможна с переходом на короткую часть ММ диапазона радиоволн и в ближайшей перспективе на ТГц диапазон радиоволн.

Переход в короткую часть ММ диапазона радиоволн и тем более в ТГц диапазон радиоволн позволит реализовать принципы пассивно-активной локации, при которых после обнаружения (распознавания) цели, определения ее угловых координат с использованием пассивного канала, включается активный канал РЛС для определения координат по дальности и выполнения функций прицеливания. Использование таких систем охранного типа с автоматизированным огневым воздействием позволит обеспечить высокую скрытность расположения огневых средств до начала активных действий.

Эффективность РЛУ обеспечения стрельбы из стрелкового оружия и средств ближнего боя

Эффективность РЛУ обеспечения стрельбы из стрелкового оружия и средства ближнего боя (пулемета и гранатомета по групповому объекту) проводилась путем моделирования и дала следующие результаты [3]. Вероятность числа пораженных целей с использованием РЛУ на базе РЛС коротковолновой части ММ диапазона радиоволн в сравнении с использованием РЛС

СБР-3 оказывается выше в 1,5–1,7 раза, а в случае применения в РЛП ТГц диапазона в 2 раза.

Радиолокационные датчики комплексов разведывательно-сигнализационных средств

Радиолокационные датчики могут быть включены в состав существующих и достаточно широко применяемых в настоящее время в системе технических средств разведки комплексов разведывательно-сигнализационных средств (КРСС).

Основной задачей КРСС является обнаружение (распознавание, классификация) движущихся объектов в контролируемом районе и передача информации на наземные пункты приема. Отсюда важными требованиями, предъявляемыми к КРСС, являются определение количественного состава движущихся объектов и определение их координат. Эти требования существующими сейсмическими, акустическими, магнитными и другими датчиками, входящими в состав КРСС, выполняются недостаточно эффективно. Этот недостаток можно устранить путем включения в состав комплекта датчиков КРСС радиолокационных датчиков (РЛД), которые, имея высокую направленность антенных систем, смогут производить подсчет одиночных объектов, практически следующих друг за другом на дистанции 1–2 м. Предполагается, что РЛД могут входить в состав КРСС как дополнительные к существующим и включаться в работу по сигналу от «дежурных» сейсмических или акустических датчиков. В качестве РЛД могут применяться как активные, так и пассивные радиолокационные устройства, работающие в коротковолновой части ММ и ТГц диапазонах радиоволн. Эти средства по дальности действия удовлетворяют предъявляемым требованиям (несколько сотен метров).

Эффективность радиолокационных датчиков в комплексе разведывательно-сигнализационных средств

Как уже отмечалось, датчики работают по акустическим, сейсмическим, магнитным и др. признакам с передачей информации через ретрансляторы. КРСС устанавливается вручную, путем сброса с летательного аппарата (ЛА) или

с помощью выстрелов из артиллерийских систем. Размещение датчиков осуществляется на небольшом расстоянии (10–50 м) от дорог или мест предполагаемого прохождения объектов обнаружения.

Проведенная оценка показала, что включение в состав КРСС на контролируемых участках местности дополнительно одного РЛД может существенно повысить процент обнаруживаемых и распознаваемых объектов. РЛД могут включаться в работу по сигналу от «дежурных» сейсмических или акустических датчиков. Включение в состав КРСС РЛД в рассматриваемых диапазонах радиоволн может позволить при потоке объектов 10–12 объект/мин повысить величину процента обнаруженных объектов примерно в 2,5–3 раза.

Другой положительной особенностью РЛД в сравнении с существующими датчиками является их возможность с высокой точностью измерить координаты движущегося объекта. Расчеты показали, что РЛД с апертурой антенны равной 100 мм, могут иметь срединные ошибки определения координат (без учета топопривязки) 5–10 м. Это дает возможность более эффективно поражать движущуюся технику артиллерией.

Головки самонаведения

Создание головок самонаведения (ГСН) ВТО не только в ТГц, но и ММ диапазоне радиоволн на современном этапе является наиболее сложной проблемой. В [1–3] проведен анализ и дана оценка применению длинноволнового ММ диапазона радиоволн применительно к ГСН, а также даны предложения по применению ТГц диапазона радиоволн в ГСН артиллерийских снарядов и ракет. В результате получены следующие выводы по применению ММ диапазона радиоволн в ГСН систем управления и наведения.

Радиоволны ММ диапазона (длина волны 8 мм) могут найти применение в ГСН с дальностью действия до 5–6 км, а коротковолновая часть ММ диапазона (длина волны 3 мм) — в ГСН с дальностью действия не более 2–3 км.

ГСН снарядов ствольной артиллерии основного калибра с требуемыми для обнаружения и сопровождения объектов бронетанковой техники (БТ) энергетическими характеристиками

могут быть реализованы в коротковолновой части ММ диапазона.

Для эффективного поражения БТ техники на больших удалениях от линии боевого соприкосновения ведутся исследования по созданию кассетных боевых частей (КБЧ) с самонаводящимися боевыми элементами (СБЭ). В качестве чувствительных элементов ГСН могут использоваться датчики, работающие в ИК-диапазоне, в радиодиапазоне или комплексированные. Проведенные исследования показали, что в радиометрических ГСН, при реализуемых в настоящее время чувствительностях приемника, могут быть обеспечены дальности захвата такие же, как и в ГСН ИК-диапазона.

В целом, анализ работ по исследованию и созданию ГСН ММ диапазона длин волн показывает, что как и в полуактивных, так и в активных ГСН более предпочтительным является использование радиоволны ММ диапазона с длиной волны 8 мм.

В пассивных ГСН целесообразно использовать радиоволны ММ диапазона с длиной волны 3 мм. При этом дальность захвата цели пассивной ГСН может достигать 1000 м.

Применение УАС с полуактивной ГСН по сравнению со стрельбой неуправляемыми штатными снарядами позволяет:

- сократить расход снарядов более чем в 70 раз;
- уменьшить время выполнения огневых задач (уменьшается в 2–4 раза).

Применение УАС с активной и пассивной ГСН по сравнению со стрельбой неуправляемыми штатными снарядами позволяет:

- сократить расход снарядов более чем в 100 раз;
- уменьшить время выполнения огневых задач (уменьшается в 3–5 раз).

Что касается применения ТГц диапазона радиоволн в ГСН, то в настоящее время открытых материалов не имеется, за исключением зарубежных материалов по ТГц модулям общего применения. Несмотря на серьезные недостатки (большие затухания, отставание развития техники и т.п.) волны субмиллиметрового диапазона (длина волны 0,96 мм) в перспективе, с преодолением технических трудностей, могут найти применение в системах ближней локации и наведения таких, как [1, 3]:

- радиолокационных станций ближней разведки с дальностью действия порядка 3 км;
- систем управления реактивными снарядами с дальностью действия 4–5 км;
- трехкоординатных РЛС для обеспечения стрельбы противотанковой артиллерии;
- радиолокационных устройств для разведки замаскированных и укрытых целей;
- радиовзрывателей артиллерийских снарядов и мин;
- радиолокационных ГСН для реактивных и артиллерийских снарядов.

По сравнению с ММ диапазоном радиоволн использование ТГц радиоволн позволит:

- повысить разрешающую способность при тех же габаритах антенных систем;
- повысить скрытность и помехозащищенность систем локации и наведения;
- повысить различимый контраст наземных целей и улучшить возможность их селекции на фоне земли и местных предметов;
- увеличить точность пеленгования целей за счет использования узких диаграмм направленности.

При этом особое внимание необходимо уделить созданию генераторов с высокой стабильностью $\sim 10^{-5}$ и чувствительных приемников РЛС, обеспечивающих дальности действия до 3–5 км при приемлемых габаритах и весе передатчика, а также разработке переключателей, смесителей, детекторов и других комплектующих элементов.

Для тактических (Т) и оперативно-тактических ракет (ОТР) наземного базирования важнейшим направлением исследований является совершенствование и разработка новых более эффективных систем наведения и самонаведения головных частей (в т.ч. кассетных). Для обеспечения требования всепогодности и реализации принципа «выстрелил-забыл» наибольшее распространение получают ракеты с головками самонаведения.

В качестве основного варианта головок самонаведения за рубежом рассматривается радиолокационная головка ММ диапазона радиоволн (95 ГГц), способная обнаруживать и идентифицировать неподвижные и движущиеся цели практически в любых (кроме сильных дождей) погодных условиях. В соответствии с требованиями вероятность попадания боевого элемента (БЭ) кассетного состава Т и ОТР в неподвижный

танк или бронетранспортер с работающим двигателем, зимой, при сильном ветре и снегопаде должна быть не менее 0,25.

Общая проблема — повышение эффективности систем управления ВТО решается за счет выполнения следующих задач:

- обеспечения для ракет с головками самонаведения требования всепогодности и реализации принципа «выстрелил-забыл»;
- создания новых эффективных кассетных систем наведения и самонаведения головных частей.

Считается, что с разработкой радиотехнических систем ММ диапазона волн (рабочая частота в районе 95 ГГц), для ВТО Т и ОТР появляется возможность снижения ошибок наведения на основе использования метода малых возмущений за счет следующего:

- улучшения параметров ГСН на конечном участке траектории на основе уточненных вариантов решения уравнений движения ракеты «поверхность-воздух» и уравнений движения цели;
- обеспечения более точного наведения головки путем совершенствования методов радиолокационных измерений системы командного наведения, особенно в случае, когда ракета близка к цели;
- обеспечения минимизации времени в передаче информации в ГСН от системы управления на среднем участке к системе наведения на конечном участке траектории.

Для создания ГСН для Т и оперативно-тактических (ОТ) систем большой дальности действия в ТГц диапазоне радиоволн требуются дополнительные самостоятельные исследования, хотя можно несомненно отметить, что принципиальное применение ТГц диапазона в таких ГСН не исключается.

Таким образом, военно-техническая оценка целесообразности создания и использования радиолокационных устройств ТГц диапазона радиоволн применительно к системам ВТО позволяет сделать следующие выводы.

1. В настоящее время достаточно обоснованы основные направления технических путей создания РЛУ обнаружения и наведения в ТГц диапазоне радиоволн применительно к системам ВТО: обнаружения движущихся и неподвижных наземных объектов; активные, пассивные и пассивно-активные РЛУ наземного и воздушно-го базирования; прицельные модули (датчики)

с высоким разрешением (радиоуправляемые противотанковые устройства, устройства обеспечения стрельбы и средств ближнего боя, датчики для КРСС); ГСН артиллерийских снарядов и ракетных систем.

2. По сравнению с РЛС, работающими в миллиметровом и, особенно, в сантиметровом диапазонах длин радиоволн, РЛУ ТГц диапазона радиоволн имеют явное преимущество особенно по таким показателям как: помехоустойчивость, информативность и точность наведения и управления в системах ВТО.

3. По всем указанным в статье направлениям использования ТГц диапазона радиоволн за рубежом ведутся интенсивные работы. Самые же интересные результаты теоретических и экспериментальных работ в освоении этого диапазона радиоволн были получены в ведущих НИУ РАН и МО РФ в конце 90-х годов. В последние два десятилетия этим техническим вопросам в России не придавалось необходимого внимания. В настоящее же время снова в НИУ МО РФ и РАН, а также в КБ промышленности ведутся проработки технических решений по созданию РЛУ в ТГц диапазоне радиоволн для создания ВТО, результаты которых уже показывают большие преимущества, особенно в точности наведения ВТО различного базирования.

Литература

1. Быстров Р.П., Гуляев Ю.В., Гвоздев А.Е., Немцов А.В. Тенденции развития радиоэлектронных систем военного назначения. — М.: ФГБУ «3 ЦНИИ» Минобороны России. 2012. С. 312.

2. Иностранная печать об экономическом, научно-техническом и военном потенциале государств — участников СНГ и технических средствах его выявления // Сер.: Техническое оснащение спецслужб зарубежных государств. — М.: ВИНТИ. 2008. № 1–12.

3. Баранов Н.А., Быстров Р.П., Гвоздев А.Е., Корниенко В.Н., Пожидаев В.Н., Немцов А.В. Возможности и особенности применения терагерцового диапазона радиоволн в высокоточных системах наведения. — М.: ФГБУ «3 ЦНИИ» Минобороны России. 2013. С. 357.

4. Радиолокационные системы: учеб. / В.П. Бердышев, Е.Н. Гарин, А.Н. Фомин [и др.]; под общ. ред. В. П. Бердышева. — Красноярск: Сиб. федер. ун-т. 2011. 400 с.

5. Дудник П.И. Многофункциональные радиолокационные системы: учеб. пособие для вузов / П.И. Дудник, А.Р. Ильчук, Б.Г. Татарский; под ред. Б.Г. Татарского. — М.: Дрофа. 2007. 283 с.: ил. (Высшее образование. Радиотехнические системы).

6. Бакут П.А. Обнаружение движущихся объектов / Ю.В. Жулина, Н.А. Иванчук; под ред. П.А. Бакута. — М.: Сов. Радио, 1980. 288 с.

7. Изюмов Д.Б., Кондратюк Е.Л. Зарубежный опыт использования терагерцового частотного диапазона при создании образцов вооружения, военной и специальной техники // Инноватика и экспертиза: научные труды. 2018. № 1 (22). С. 153–168.

8. Быстров Р.П., Гвоздев А.Е., Немцов А.В. Применение радиолокационных средств терагерцового диапазона радиоволн для высокоточных систем наведения // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2017. Т. 15. № 4. С. 25–36.

9. Гибин И.С., Котляр П.Е. Приемники излучения терагерцового диапазона (обзор) // Успехи прикладной физики. 2018. Т. 6. № 2. С. 117–129.

10. Быстров Р.П., Черепенин В.А. Теоретическое обоснование возможностей применения метода генерации мощных наносекундных импульсов электромагнитного излучения при создании радиолокационных систем электронной борьбы (РЭБ) для поражения объектов // Журнал Радиозлектроники. 2010. № 4. С. 1–15.