

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА
РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ ЗАМЕТНОСТИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ
ОБЪЕКТОВ
В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

к.т.н. В.Н. Быков
(представил д.т.н. В.И. Антюфеев)

Приведены результаты количественной оценки снижения заметности замаскированных объектов военной техники, полученные на основе анализа радиометрических изображений в миллиметровом диапазоне волн.

Постановка проблемы. Современные системы разведки и высокоточного оружия, располагаемые на воздушных носителях – высокоскоростных летательных аппаратах (ЛА) различных классов, должны обнаруживать и идентифицировать объекты военной техники (ОВТ) на неоднородном фоне земной поверхности, осуществлять их селекцию по степени важности [1, 2]. Как правило, такие системы являются корреляционно-экстремальными системами (КЭС) с памятью, они реализуют принцип сравнения двумерных текущих и эталонных изображений распознаваемых объектов [3, 4].

Для обнаружения и идентификации объектов военной техники в бортовом вычислителе КЭС должен содержаться набор эталонных изображений различных ОВТ, предусматривающих априорную неопределенность условий применения объектов: возможность объекта менять свое местоположение (подвижность ОВТ), наличие (отсутствие) на ОВТ средств активной либо пассивной защиты от электромагнитных средств обнаружения, наличие неблагоприятной погодной обстановки, помех естественного и искусственного происхождения. Качественное функционирование корреляционно-экстремальных систем также зависит от возможности информационных датчиков формировать текущее изображение объекта в реальном масштабе времени полета высокоскоростного ЛА и от применяемых алгоритмов обработки изображений.

В качестве информационных датчиков КЭС могут быть использованы пассивные радиометрические (РМ) датчики миллиметрового диапазона волн (ММД), являющиеся всепогодными, обладающие высокой скрытностью функционирования и пространственной разрешающей спо-

способностью. Высокое быстродействие реализуется за счет создания матричных РМ КЭС, осуществляющих одновременный обзор «кадра» изображения за малое время экспозиции [5, 6].

В настоящее время для решения задач обнаружения и идентификации малоразмерных слабоконтрастных ОВТ имеется недостаточно экспериментальных данных по формированию РМ изображений объектов на фоне земной поверхности, отсутствуют количественные оценки снижения заметности ОВТ вследствие применения пассивных средств защиты от средств разведки и поражения в миллиметровом диапазоне волн.

Анализ литературы. Наряду с созданием матричных РМ КЭС миллиметрового диапазона необходимо проведение теоретических и экспериментальных исследований, связанных с получением РМ изображений (РМИ) малоразмерных замаскированных ОВТ как сканирующими, так и матричными РМ датчиками ММД, с целью последующей идентификации объектов в условиях неопределенности [5, 6]. В [7] приведены структурная схема и характеристики радиометрического измерительного комплекса 8-миллиметрового диапазона волн, дан анализ результатов радиометрической съемки некоторых малоразмерных и площадного объектов. В [8] для защиты ОВТ предложено применение маскировочного покрытия (МП) в виде радиопоглощающего материала, затрудняющего оптическую визуализацию и ослабляющего естественное излучение объекта в ММД. МП представляет собой сетевую основу с вплетенными в нее гирляндами из просеченных и скрученных цветных полосок трехслойного электропроводящего материала [8]. Технологически ткань выполняется из ниток, содержащих полимерный диэлектрический материал, с обеих сторон дополнительно покрытый водостойким материалом. Волокна ниток содержат компоненты (сажу, порошки и волокна графита, феррита, металла и их смеси), поглощающие электромагнитные волны сантиметрового и миллиметрового диапазонов волн.

Применение такого покрытия, по мнению авторов работы [8], должно препятствовать созданию цельного изображения объектов военной техники информационными датчиками КЭС ММД.

Цель работы. Целью работы является количественная оценка степени снижения радиометрической заметности объектов военной техники в условиях неопределенности, то есть за счет применения радиопоглощающего маскировочного покрытия, на основе анализа двумерных радиометрических изображений объектов, формируемых пассивным радиометрическим датчиком миллиметрового диапазона волн.

Материалы исследований. Под радиометрической заметностью

ОВТ следует понимать наличие устойчивого контраста «объект – фон» на РМИ, а также сохранение геометрической конфигурации объекта на изображении вследствие применения маскировочного покрытия.

Формирование РМИ малоразмерных ОВТ осуществляется на полигоне благодаря синхронной фото- и радиометрической съемке объектов под разными ракурсами и углами наблюдения, а также с различных высот. Поворотная платформа, на которой размещены антенна и высокочастотная часть РМ ММД, осуществляет обзор пространства в широком диапазоне углов: вплоть до $\pm 90^\circ$ от направления на объект (по азимуту) и 180° от вертикали (по углу места). Основные характеристики РМ датчика приведены в табл. 1, в которой введены сокращения: ДНА – диаграмма направленности антенны, ПП по ВЧ – полоса пропускания РМ приемника по высокой частоте.

Результаты радиометрической съемки записываются на жесткий диск ПЭВМ в виде текстового файла, содержащего таблицу значений (отсчетов) АЦП, графического файла формата BMP и информационного текстового файла, описывающего условия проведения эксперимента.

Таблица 1

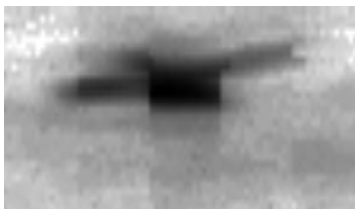
Основные характеристики РМ датчика ММД

Параметры РМ датчика	Численные характеристики
Длина волны, мм	8,6
Тип антенны	антенна Кассегрена
Диаметр антенны, мм	340
Ширина ДНА, град	1,7
Тип РМ приемника	модуляционный, прямого усиления
Ширина ПП по ВЧ, ГГц	16
Чувствительность, К/с	0,02
Поляризация излучения	линейная, вертикальная

В течение 2002 – 2003 гг. проведен ряд экспериментов, в ходе которых получены РМИ замаскированных и незамаскированных ОВТ на фоне травяного покрова и хвойного леса, а также на фоне неба при настильных (по отношению к земной поверхности) углах визирования.

На рис. 1 приведены результаты радиометрической съемки незамаскированных ОВТ на фоне земной поверхности и неба (лето 2002 г.). Радиометрическая и фотосъемка объектов велась синхронно с расстояния более 25 м. Радиояркий контраст объектов по отношению к земной поверхности (травяной покров) достигал значений свыше 150 К. Интенсивность радиотеплового излучения металлических частей объекта (интенсивность отраженного излучения холодного неба) независимо от ра-

курса наблюдения распределена равномерно и практически не имеет выраженных ярких точек. Более высокой радиояркой температурой обладают части объекта, покрытые резиной (левый нижний бок объекта – рис. 1, а). Большой контрастностью обладает ОВТ на фоне неба (рис. 1, б). В ходе экспериментов получены РМИ ОВТ с устойчивым радиоярким контрастом «объект – фон», знак контраста не изменялся.



а) правый борт (на фоне травы и хвойного леса)



б) правый борт (на фоне неба)

Рис. 1. Видеоизображение и РМИ ОВТ

Зимой 2002 г., летом и осенью 2003 г. проведен ряд экспериментов по формированию РМИ замаскированных ОВТ на фоне травяного покрова и леса. На рис. 2 представлены РМИ ОВТ под однослойным МП [8] (зима 2002 г.), на рис. 3 приведены РМИ ОВТ под двухслойным МП (лето 2003 г.).

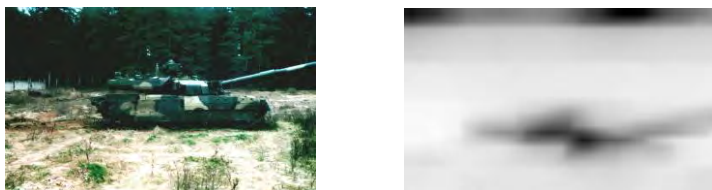
Результаты экспериментов. Коэффициент снижения контраста радиоярких температур «ОВТ – фон» вследствие применения МП [8] оценивался как в определенных точках объекта, так и на основе сравнения усредненных по изображению значений радиояркости ОВТ и фона.

Результаты точечных и усредненных оценок совпали. Максимальный контраст «ОВТ без МП – трава, хвойный лес» составил величину 177 К (условных единиц радиояркости). Максимальный контраст «ОВТ под однослойным МП – трава, хвойный лес» составил 51 К.

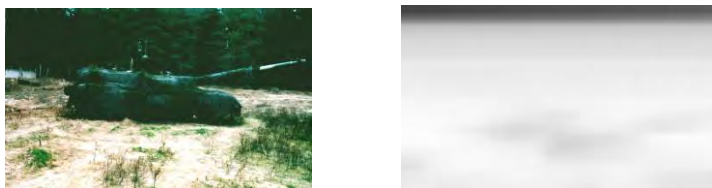
Таким образом, применение однослойного радиопоглощающего МП [8] приводит к снижению радиояркого контраста «ОВТ – трава, хвойный лес» в среднем на $\sim 5,4 \pm 0,25$ дБ ($3,47 \pm 0,1$ раз). Знак контраста не изменяется, РМИ ОВТ остается цельным с устойчивой конфигурацией.

Представилось целесообразным оценить степень снижения контраста

«ОВТ – трава», что позволяет моделировать случай визирования ОВТ информационным датчиком КЭС с верхней полусферы. При этом усредненный по площади контраст «ОВТ без МП – трава» составил величину 85 К, контраст «ОВТ с МП – трава» составил величину 13 К. Степень снижения контраста вследствие применения МП соответствует величине $\sim 8,15 \pm \pm 0,25$ дБ ($6,54 \pm 0,1$ раз). Знак радиояркостного контраста не изменяется.

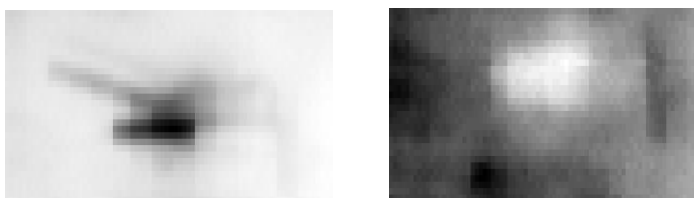


а) ОВТ без МП

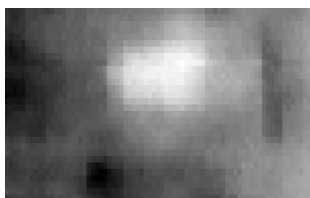


б) ОВТ под однослойным МП

Рис. 2. Видеоизображение и РМИ правого борта ОВТ



а) ОВТ без МП



б) ОВТ под двухслойным МП

Рис. 3. РМИ левого борта ОВТ

Произведена количественная оценка снижения контраста «ствол ОВТ – трава» вследствие применения МП. Средний контраст «ствол без МП – трава» составил 39 К, контраст «ствол под МП – трава» составил 5 К. Степень снижения контраста за счет МП $\sim 8,92 \pm 0,25$ дБ ($7,8 \pm 0,1$ раз).

Применение двухслойного МП [8] привело к изменению знака радиояркостного контраста «ОВТ – фон» в 8-миллиметровом диапазоне волн. Излучение «холодных» металлических поверхностей объекта су-

щественно ослаблено (экранировано) «теплым» излучением МП, которое по величине превышает излучение хвойного леса и травы. Получены следующие величины контрастов: контраст пары «ОВТ без МП – трава, хвойный лес» составил 448 К, «ОВТ под МП – трава, хвойный лес» – 73 К. Степень снижения контраста вследствие применения двухслойного МП составляет величину $\sim 7,88 \pm 0,25$ дБ ($6,14 \pm 0,1$ раз).

Ствол объекта военной техники, покрытый двухслойным МП, выделить на РМИ сложно вследствие того, что радиояркая температура ствола под МП сравнима с радиояркой температурой фона – хвойного леса, а коэффициент заполнения луча ДНА визируемой частью ствола на дальности 25 м составляет не более 0,22. Контраст «ствол – трава» равен в среднем 13 К и в случае визирувания с верхней полусферы ствол может быть обнаружен.

Применение двухслойного маскировочного покрытия приводит к изменению радиометрического контраста «ОВТ – фон», однако при этом конфигурация объекта не нарушается, двухслойное МП делает объект более «теплым» по отношению к лесу и травяному покрову. Можно предположить, что более «холодные», по сравнению с травяным покровом грунты (песок, бетон), еще более «подчеркнут» ОВТ, замаскированный «теплым» двухслойным маскировочным покрытием.

Выводы. Таким образом, результаты экспериментальных оценок позволяют сделать вывод о возможности обнаружения малоразмерных слабоконтрастных объектов военной техники на фоне земной поверхности пассивными РМ информационными датчиками ММД в условиях неопределенности. Радиометрические изображения объектов военной техники обладают устойчивым радиоярким контрастом, контур объекта на РМИ не разрушается.

Различие в абсолютных величинах контрастов «объект – фон» на разных этапах экспериментов вызвано тем, что эксперименты с однослойным покрытием проводились зимой при температуре окружающего воздуха – 15 °С, а с двухслойным летом при температуре + 20 °С. В первом случае трава была мерзлая, во втором трава перемежалась с песком.

Анализ полученных значений контрастов позволяют утверждать о возможности обнаружения малоразмерных ОВТ РМ датчиками ММД с высот порядка единиц километров. Последующая корреляционно-экстремальная обработка в КЭС позволит идентифицировать ОВТ по их радиометрическому изображению.

Результаты проведенных ранее исследований [9] показывают, что решение задачи обнаружения малоразмерных объектов военной техники с помощью пассивных радиометрических датчиков миллиметрового

диапазона волн на больших дальностях возможно благодаря применению широкополосной шумовой «подсветки» объектов независимыми источниками шумового излучения в миллиметровом диапазоне волн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слипченко В. Анализ военной кампании НАТО против Югославии весной 1999 года // *Экспорт вооружений*. – 2000. – № 3. – С. 13 – 16.
2. Ржевкин В.А. Автономная навигация по картам местности // *Зарубежная радиоэлектроника*. – 1981. – № 10. – С. 3 – 28.
3. *Корреляционно-экстремальные системы* // Под ред. В.П. Тарасенко. – Томск: Изд-во Том. ун-та, – 1986. – Вып. 8. – 134 с.
4. Методы фильтрации сигналов в корреляционно-экстремальных системах навигации / В.К. Баклицкий, А.М. Бочкарёв, М.П. Мусьяков. – М.: Сов. радио, – 1986. – 216 с.
5. Radzikhovsky V.N., Gorishniak V.P., Kuzmin S.E., Shevchuk B.M. 16-Channels millimeter-waves radiometric imaging system // *The fourth international Kharkov symposium “Physics and engineering of millimeter and sub-millimeter waves”*. Symposium Proceedings. – Kharkov, Ukraine. – 2001, June 4 – 9. – V.1. – P. 466 – 468.
6. Макаренко Б.И., Быков В.Н., Антюфеев В.И. Применение принципов радиометрии в корреляционно-экстремальных системах навигации летательных аппаратов по наземным ориентирам // *Арсенал XXI сторіччя: Науково-виробничий журнал*. – 2002. – № 1. – С. 37 – 41.
7. Антюфеев В.И., Быков В.Н., Гричанюк А.М., Краюшкин В.А., Овсянников Ю.В., Шокин М.Г. Радиометрический измерительный комплекс миллиметрового диапазона волн для дистанционного зондирования земной и водной поверхности // *Радиотехника*. – 1999. – Вып. 109. – С. 145 – 150.
8. Ткаліч М.В., Топчев М.Д., Комаров В.О., Глебов В.В., Ващенко В.П. Під українським маскувальним покриттям – танка не видно... // *Винахідник і раціоналізатор*. – 2002. – № 2 – 3. – С. 5 – 6.
9. Быков В.Н., Ивашов С.И. и др. Повышение информативности радиометрических изображений благодаря применению шумовой подсветки // *Радиотехника*. – 1997. – Вып. 101. – С. 33 – 39.

Поступила 20.02.2004

БЫКОВ Виктор Николаевич, канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник, начальник НИО научного центра при ХВУ. В 1971 году окончил ХВВКИУ. Область научных интересов – системы навигации летательных аппаратов, дистанционное зондирование Земли, цифровая обработка изображений.
