

УДК 621.396.96

Г. Г. ОСИНОВИЙ,

начальник науково-технічного проектного відділу,

В. П. СУБАЧ, провідний конструктор комплексу

(Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля», м. Дніпр),

В. М. БИКОВ, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри,**М. М. КОЛЧИГІН,** доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри

(Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, Харків)

Протидія радіолокаційним засобам виявлення наземних об'єктів

Розглянуто питання маскуванню малорозмірних рухомих наземних об'єктів від сучасних засобів виявлення і розвідки. Наведено рекомендації щодо захисту малорозмірного наземного об'єкта від радіометричних пасивно-активних систем виявлення. Проведено пошук радіопоглинальних матеріалів для створення маскувальних покриттів типу «Накидка» і «Терновник» на території України.

Ключові слова: маскуванню, засоби зниження помітності, малорозмірні наземні об'єкти, радіометричні пасивно-активні системи виявлення, радіопоглинання.

Рассмотрен вопрос маскировки малоразмерных подвижных наземных объектов от современных средств обнаружения и разведки. Приведены рекомендации по защите малоразмерных наземных объектов от радиометрических пассивно-активных систем обнаружения. Проведен поиск радиопоглощающих материалов для создания маскировочных покрытий типа «Накидка» и «Терновник» на территории Украины.

Ключевые слова: маскировка, средства снижения заметности, малоразмерные наземные объекты, радиометрические пассивно-активные системы обнаружения, радиопоглощение.

На цей час розвинені країни, що займаються створенням об'єктів військової і спеціальної техніки, головно увагу приділяють питанням, що пов'язані зі зниженням їх помітності [1, 2, 3]. Застосування активних і пасивних методів та засобів зниження помітності об'єктів значно зменшує ймовірність і дальність їх виявлення та розпізнавання.

Одним з пасивних методів захисту наземних об'єктів є зменшення їх радіолокаційної помітності, що зводиться до зменшення ефективної поверхні розсіювання (ЕПР) і спотворення їх радіолокаційних характеристик. Методи зменшення ЕПР об'єктів можна умовно поділити на три групи:

методи, засновані на керуванні розсіюванням електромагнітних хвиль та одержанні, у наслідку, оптимальної діаграми зворотного розсіювання;

методи, засновані на формуванні раціональної архітектури конструкції об'єктів з урахуванням застосування мало відбиваючих поверхонь об'єкта та конфігурації антенних та інших систем, що виступають за межі об'єкта;

методи, в основу яких покладено застосування радіопоглинальних матеріалів (РПМ) і радіопоглинальних покриттів (РПП).

Вирішення проблеми зменшення радіолокаційної помітності передбачає комплексний підхід за участю конструкторів, радіофізиків, матеріалознавців і технологів [1–7].

Метою цієї статті є вироблення рекомендацій щодо зниження помітності малорозмірних наземних об'єктів від активних і пасивних радіолокаційних систем виявлення.

Розглянемо варіанти зменшення радіолокаційної помітності малорозмірних наземних об'єктів у радіодіапазоні 0,2...4 мм за рахунок застосування активних і пасивних методів та засобів (систем) маскуванню.

Радіолокаційне виявлення об'єкта активними радіолокаційними системами засноване на відбитті ним зондувального сигналу радіолокаційної станції (РЛС). У разі падіння електромагнітної енергії на об'єкт, на його поверхні виникають або електричні струми, якщо в його складі є провідники, або електричні заряди, якщо в його складі є діелектрики. Внаслідок цього об'єкт стає джерелом вторинного випромінювання електромагнітних хвиль. Таким чином, об'єкт зондування, утворюючи поле вторинного випромінювання, змінює характеристики зондувального сигналу, що є джерелом інформації про об'єкт [2].

Для кількісної оцінки радіолокаційної характеристики об'єкта використовується ЕПР, що пропорційна потужності відбитого сигналу і має розмірність площі

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|\vec{p}^{np} \vec{E}^{pas}|^2}{|\vec{p}^0 \vec{E}^0|^2}, \quad (1)$$

де R – відстань від об'єкта до приймальної антени РЛС, \vec{p}^{np} – одиничний вектор, що вказує напрямком поляризації приймальної антени, \vec{E}^{pas} – поле, розсіяне об'єктом у напрямку на приймальну антену, \vec{p}^0 –

вектор поляризації, \vec{E}^0 – падаюче поле (випромінювання РЛС) [3].

Будь-який наземний об'єкт є складним радіолокаційним об'єктом, тому що його зовнішня поверхня складається з численних площин, по-різному орієнтованих у напрямку РЛС. Кожна з площин є елементарним відбивачем, і загальне поле вторинного випромінювання об'єкта формується за рахунок інтерференції радіохвиль, що розсіюються цими відбивачами. Отже, ЕПР об'єкта залежить від таких факторів:

положення об'єкта відносно РЛС;

габаритних розмірів об'єкта;

форми, розмірів і взаємного розташування елементарних відбивачів, що становлять зовнішню поверхню; матеріалу та чистоти обробки зовнішньої поверхні; довжини хвилі зондувального сигналу.

Пасивні радіолокаційні системи виявлення, так звані системи радіотеплолокації (радіометрії) сантиметрового і міліметрового діапазонів, працюють «на прийманні» радіотеплового випромінювання, яке складається з природної радіотеплової температури випромінювання об'єкта, а також радіотеплової температури «холодного» неба, перевищеної об'єктом [4].

Основною характеристикою, що впливає на дальність виявлення об'єктів у зазначених діапазонах, є радіотепловий контраст «об'єкт – фон», що вимірюється у кельвінах. При цьому контраст ΔT_A пропорційний різниці яскравісних температур об'єкта T_S і фону T_B :

$$\Delta T_A = T_S - T_B. \quad (2)$$

Контраст радіояскравості «об'єкт – фон» визначається такими параметрами:

різницею термодинамічних температур об'єкта і фону;

випромінювальною й відбивною здатністю зовнішніх поверхонь об'єкта.

Випромінювальна здатність залежить від шорсткості поверхні та властивостей матеріалу на глибину, порівнянню з довжиною хвилі, на якій ведеться спостереження. Відбивна здатність металевих поверхонь об'єкта набагато сильніша відбивної здатності фону земної поверхні.

Аналіз результатів багатьох досліджень [7, 12] дозволяє зробити висновок про те, що основними напрямками захисту від радіолокаційних активних і пасивних систем виявлення є:

оптимізація архітектури зовнішніх поверхонь об'єкта і нанесення радіопоглинальних покриттів і матеріалів;

використання радіопоглинальних, розсіювальних, теплозахисних накидок і сіток.

Перспективним напрямом зменшення демаскувальних факторів об'єкта в широкому діапазоні довжин хвиль є застосування ширококугових маскувальних сіток, які не тільки змінюють зовнішній вигляд об'єкта, що захищається, але й знижують його характеристики відбиття та зменшують контраст «об'єкт – фон».

Ефект від пасивних поглинальних, розсіювальних покриттів (сіток, масок) спостерігається під час

закриття зовнішньої поверхні об'єкта радіопоглинальними матеріалами і, по змозі, надання об'єктам зовнішніх форм, що забезпечують мінімальне відбиття [5, 12]. З іншого боку, застосування таких матеріалів призводить до значного зменшення ймовірності виявлення нерухомого об'єкта. Навіть замаскований об'єкт, що рухається, досить легко виявляє РЛС у режимі селекції рухомих цілей, але при цьому дальність його виявлення зменшується в кілька разів [8].

Історично питання комплексного захисту малорозмірних рухомих наземних об'єктів були розглянуті на початку 1980-х років. Комплексне маскування відбувалося за допомогою простих прийомів, таких як триколірне маскувальне фарбування, теплоізоляція рухомих частин об'єкта щитками та закриття всієї зовнішньої поверхні радіорозсіювальними матеріалами типу «Накидка» (рис. 1) [6] і чохлами з радіопоглинальних матеріалів типу «Терновник» [7]. Питання зменшення помітності (зменшення ЕПР) об'єкта від радіометричних систем виявлення діапазонів 2,2 мм і 3,2 мм на цей час відпрацьовано меншою мірою.



Рис. 1. Радіопоглинальне маскувальне покриття типу «Накидка»

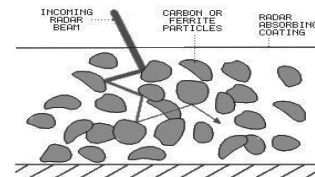


Рис. 2. Розсіювання падаючого радарного променя в покритті з РПМ

Більша частина цієї енергії розсіюється у вигляді тепла. Використання РПМ покриття дуже ефективне, але в цій технології є деякі недоліки. По-перше, РПМ покриття часто дуже токсичне. Друга проблема полягає в тому, що через установлений на виробі чохол матеріалу втрачається маневреність і знижується швидкість на марші, що, зокрема, викликає додаткові проблеми з нагріванням. Третя проблема з РПМ покриттям – це витрати. Установлення чохла з РПМ і/або нанесення РПП – дуже трудомісткий процес. Необхідно чітко дотримуватися товщини покриття, рівномірності нанесення, поверхня площини має бути цілісною, особливо проблематично закривати зони наземних агрегатів, близьких до вузлів, що рухаються.

Вітчизняна фірма-виготовлювач пропонує індивідуальний ширококуговий маскувальний комплект (ІШМК), що випускається у двох варіантах (табл. 1) [8, 12]. ІШМК можна застосовувати для маскування озброєння, військових об'єктів, військової техніки від наземних, повітряних і космічних засобів оптико-електронної,

Таблиця 1. Технічні характеристики ІШМК

Параметри	Варіант 1	Варіант 2
Рисунок і тип заповнення покриття	асиметричний, смуги стрічкового типу	асиметричний, гірлянди хвойного типу
Властивості зниження показників помітності	оптичне, радіолокаційно-розсіювальне	оптичне, радіолокаційно-розсіювальне
Оптична густина заповнення	не менше 90%	не менше 60%
Візуальна дальність виявлення замаскованого об'єкта, м	від 1000	від 800
Дальність нерозпізнавання замаскованого об'єкта, м	від 600	від 600
Спектральний діапазон	0,4–1,1 мкм 3–5 мкм 8–14 мкм 0,8–4,0 см	0,4–1,1 мкм 3–5 мкм 8–14 мкм 0,2–30,0 см
Максимальне ослаблення відбитого радіолокаційного сигналу, дБ	від –8 до –12	від –15 до –20
Теплова ефективність відбиття ІЧ діапазону	не менше 70%	не менше 70%
Зниження теплового контрасту температур	в 1,5–2 рази	в 1,5–2 рази
Коефіцієнт блиску поверхні маскувального покриття	не більше 1,2	не більш 1,2
Температурний діапазон експлуатації, °С	від –50 до +50	від –50 до +50
Площа покриття, м ²	216	216
Маса комплексу, кг	до 100	до 120
Час установлення комплексу бойовим розрахунком з чотирьох осіб, мін	20	20
Строк безперервної експлуатації, років	3	3
Строк зберігання, років	5	5

телевізійної, радіолокаційної розвідок на рослинних, пустельних, безлюдно-степових фонах для протидії системам виявлення та створення несправжніх військових об'єктів за допомогою відбитих радіолокаційних сигналів.

Досвід створення й експлуатації маскувальних покриттів показує, що сучасні покриття мають змінну за профілем товщину, складну структуру з мінливими значеннями діелектричної і магнітної проникності як за товщиною (нормально до поверхні), так і уздовж поверхні рухомого наземного об'єкта [10].

На цей час проводяться роботи зі створення нових перспективних радіопоглинальних покриттів вітчизняного виробництва з необхідними для різних застосувань характеристиками.

У роботах [7, 8, 13, 14], виконаних авторами статті, наведено аналіз методів і засобів захисту малорозмірних наземних об'єктів від пасивно-активних систем виявлення (розвідки) міліметрового діапазону. Проаналізовано активні методи захисту, такі як створення потужних вузькосмугових перешкод на вході РМ приймача системи виявлення, що зривають роботу розвідприймача. Це метод вирівнювання температур радіояскравості об'єкта і навколишнього фону за рахунок підсвічування об'єкта шумовим випромінюванням власного джерела підсвічування об'єкта, який захищається, що дозволяє зменшити контраст «об'єкт – фон» до неприйнятної для РМ приймача системи виявлення величини. Розглянуто пасивні методи захисту, що полягають у маскуванні об'єкта маскувальними покриттями, що також знижує величину контрасту радіояскравості, тобто відношення сигнал/шум на вході РМ розвідприймача нижче прийнятної для надійної роботи приймача величини. У цих

роботах наведено технічні засоби, що дозволяють реалізувати зазначені методи захисту. Перелічені методи і засоби приводять до зниження ймовірності та зменшення дальності виявлення малорозмірних наземних об'єктів пасивно-активними системами виявлення.

Для оцінки ефективності пропонованих методів і засобів захисту необхідний ретельний аналіз та прогноз розвитку засобів захисту з необхідними характеристиками.

Прогноз і рекомендації. Розроблювані нові радіопоглинальні матеріали мають бути високотехнологічними, полегшеними, такими, що забезпечують маскування об'єктів від засобів розвідки оптичного, у тому числі інфрачервоного діапазону хвиль, а також від систем і засобів виявлення й розвідки міліметрового, сантиметрового та дециметрового діапазонів.

Конструкція РПМ повинна дозволяти створювати різні засоби зниження помітності типу «маска – перекриття» у вигляді чохла або накидки будь-яких розмірів і форм. Деформувальне фарбування (камуфляж) має виконуватися безпосередньо в покритті. Високі повітро- і вологопроникність повинні забезпечити стабільність коефіцієнтів відбиття за будь-яких погодних умов. Технологія складання такого РПМ повинна дозволяти створювати знімні засоби зниження помітності будь-якої конфігурації та розмірів.

Нові багатофункціональні матеріали покриттів і виробів на їх основі, що забезпечують зниження помітності та маскування наземних об'єктів, у тому числі об'єктів військової техніки, захист інформації, індивідуальні і колективні засоби захисту технічного персоналу в широкому діапазоні довжин хвиль повинні створюватися на основі резистивних об'ємних матеріалів з

Таблиця 2. Технічні характеристики маскувального матеріалу

Технічні характеристики	Кількісні показники
Робочий діапазон довжин хвиль, см	0,2–25
Коефіцієнт відбиття, не гірше, дБ	–17
Робочий діапазон температур, °С	від –60 до +80
РПМ – самозагасний, екологічно безпечний, стійкий до впливу вологи і паливно-мастильних матеріалів	
Кольори фарбування покриття можуть бути будь-якими – за бажанням замовника	

різними властивостями електропровідності й відносної діелектричної проникності, що дозволяє одержувати оптимальні за радіотехнічними характеристиками багатопланові градієнтні конструкції [10].

Найбільш оптимальною конструкцією надширокодіапазонного РПМ вибрано покриття килимового типу на основі електропровідних ниток, що призначені для створення радіопоглинальних покриттів різного застосування [11]. Застосування такого ширококутового маскувального покриття, що стаціонарно встановлюється на об'єкті, дозволяє не тільки змінити зовнішній вигляд об'єкта, який захищається, а й зменшити його відбивні характеристики і контраст «об'єкт – фон». Характеристики зазначеного покриття наведено в табл. 2.

Зараз проводиться технологічне відпрацювання спеціального складу радіопоглинального шару, що містить вуглецеві нанотрубки і ферити, які мають високу температуру точки Кюрі. Отриманий композиційний матеріал, що має електропровідні та магнітні включення, пристроюється (зв'язується) вузькими стрічками різної висоти з металізованою плівкою ПЕТФ, вкритої спеціально розробленою системою лакофарбового покриття. Необхідні технічні характеристики покриття отримано шляхом варіювання хімічного складу покриття, товщини і поверхневого опору провідного шару, а також оптимізації геометрії побудови покриття.

Високі характеристики РПМ забезпечено за рахунок поглинальних властивостей основи килимового покриття, а також у результаті оптимізації конфігурації покриття та створення високотехнологічного матеріалу ворсу. Комплекс лакофарбового зовнішнього покриття має підвищену стійкість до впливу факторів зовнішнього середовища (сонячної радіації, температури, вологи, агресивних газів). Настільки широкий спектр вимог до створюваного РПМ пов'язаний з принциповим обмеженням, що співвідносить товщину матеріалу, необхідну для досягнення функціональності, з ефективною довжиною хвилі та дисперсією діелектричної й магнітної проникності, що вимагає пошуку компромісних рішень. Великою проблемою є визначення оптимального компромісу для матеріалу з високим співвідношенням «якість – ціна».

Висновки. Проведений короткий огляд й аналіз методів і засобів захисту малорозмірних наземних об'єктів, який дозволяє виділити основні напрями розвитку й удосконалення засобів їх маскування, що задовольняють комплекс суперечливих вимог. Докладний аналіз, систематизація засобів маскування, що задовольняють перелічені вимоги, дозволять конкретизувати

засоби маскування, які відповідають головному критерию «якість – ціна» для різних класів малорозмірних рухомих наземних об'єктів.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Способы радиоволнового контроля параметров защитных покрытий авиационной техники / под общ. ред. П. А. Федюнина. М. : Физматлит, 2012. 184 с.
2. Saxena V. K. Stealth and Counter-stealth Some Emerging Thoughts and Continuing Debates // Journal of Defense Studies. 2012. № 6 (3). P. 19–28.
3. Защита объектов / В.А. Григорян, Е.Г. Юдин, И.И. Терехин [и др.]; под ред. В.А. Григоряна. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. 327 с.
4. Рассеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами : моногр. / О. И. Сухаревский, В. А. Василец, С. В. Кукобко [и др.]; под ред. О. И. Сухаревского. Х. : ХУПС, 2009. 468 с.
5. Николаев А. Г., Перцов С. В. Радиотеплолокация. М. : Воениздат, 1970. 132 с.
6. Демаскирующие признаки ОБТ // Сайт «Объекту ПТУР не страшен». URL: <http://armor.kiev.ua/ptur/demask/showpic.html>.
7. РПМ «Накидка» для защиты от разведки и высокоточного оружия. URL: Сайт ОАО «НИИ Стали».
8. Осинский Г. Г., Быков В. Н. Модель защиты малоразмерных наземных объектов от радиометрических пассивно-активных систем обнаружения // Радиотехника и компьютерные системы / ХАИ. 2017. № 1 (81). С. 107–112.
9. Матричные радиометрические корреляционно-экстремальные системы навигации летательных аппаратов : моногр. / В. И. Антюфеев, В. Н. Быков, А. М. Гричанюк [и др.]. Х. : Изд-во ООО «Щедрая усадьба плюс», 2014. 372 с.
10. Смирнов В. Маскировка подвижных наземных объектов в современных условиях // Самиздат. URL: http://samlib.ru/s/smirnow_wasilij/masikirovka.shtml.
11. Филин С. А., Малохина Л. А. Средства снижения заметности : по патентным материалам. М. : ИНИЦ Роспатента, 2003. 215 с.
12. Під українським маскувальним покриттям – танка не видно... / М. В. Ткаліч [та ін.] // Винахідник і раціоналізатор. 2002. № 2–3. С. 5–6.
13. Быков В. Н., Колчигин Н. Н., Осинский Г. Г., Бережная Т. Д. Оценка эффективности средств защиты малоразмерных наземных объектов от

- пассивно-активных радиометрических систем обнаружения // Прикладная радиоэлектроника : научно-техн. журн. / Харьковский нац. ун-т радиоэлектроники, Акад. наук прикладной радиоэлектроники. 2016. Т. 15. № 1. С. 45–50.
14. Быков В. Н., Лотох Н. Г., Колчигин Н. Н., Осинский Г. Г. Метод активной защиты малоразмерных наземных объектов от пассивных радиометрических систем обнаружения // Прикладная радиоэлектроника : научно-техн. журн. / Харьковский нац. ун-т радиоэлектроники, Акад. наук прикладной радиоэлектроники. 2017. Т.16. № 1, 2. С. 13–17.

Рецензент В. А. Коваленко, д-р техн. наук
(Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля»)