

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ НА ОКРЕМІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ НАЗЕМНОГО ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

О.Г. Судаков, К.К. Кулагін

(Об'єднаний науково-дослідний інститут ЗС України, Харків)

В роботі розглянуто можливості радіолокаційних засобів дистанційного зондування Землі подвійного призначення. Визначено показники якості, які впливають на ефективність застосування наземного озброєння та військової техніки. Оцінено значення показників скритності та маскуванню, які суттєво залежать від результатів застосування радіолокаційних засобів дистанційного зондування Землі. Запропоновано шляхи підвищення радіолокаційної скритності наземного озброєння та військової техніки.

радіолокаційні засоби, дистанційне зондування Землі

Постановка проблеми. Однією з головних проблем оснащення Збройних Сил України сучасним озброєнням є реалізація та підтримання заданих властивостей озброєння та військової техніки (ОВТ). Головні напрями реалізації державної політики стосовно значного підвищення якості ОВТ закладено до Державної програми розвитку озброєння та військової техніки Збройних Сил України на період до 2009 року. Результати застосування технічних засобів виявлення та розпізнавання об'єктів, наприклад, радіолокаційних (РЛ) засобів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), технічні характеристики яких постійно вдосконалюються, впливають на властивості ОВТ. Можливість виконання завдань за призначенням залежить від багатьох властивостей ОВТ, в тому числі суттєво від відповідності встановленим нормам значень показників скритності та маскуванню. Перевищення значеннями показників скритності та маскуванню встановлених норм значно підвищує імовірність знищення наземного ОВТ ще до початку застосування.

Таким чином, отримання оцінок щодо дійсного стану зазначених показників якості ОВТ в умовах постійного підвищення технічних можливостей засобів ДЗЗ дозволять завчасно застосовувати заходи протидії, які підвищать ефективність застосування ОВТ за призначенням.

Аналіз літератури. Аналіз стану та перспектив розвитку технічних можливостей засобів ДЗЗ свідчить про широке використання інформації отриманої при їх застосуванні. Дані про тактико-технічні характеристики

ки (ТТХ) радіолокаційних засобів ДЗЗ подвійного призначення дозволяють кількісно оцінювати властивості якості ОВТ [1, 2]. Досвід останніх збройних конфліктів свідчить, що провідні держави світу всебічно використовують можливості комерційного доступу до результатів застосування ДЗЗ, що несе потенційну загрозу виявлення та розпізнавання наземного ОВТ ще до початку бойових дій [1, 2]. Відомо, що досягнення встановлених вимог до бойових, експлуатаційно-технічних характеристик ОВТ і ефективності виконання організаційно-технічних заходів щодо керування їх якістю реалізується в процесі вирішення задачі комплексного супроводження зразків ОВТ [3 – 5]. Кожен зразок ОВТ має сукупність властивостей, які визначають його якість та обумовлюють придатність задовольняти потреби оборони. Зразки ОВТ потребують постійної переоцінки основних властивостей, визначення серед них суттєвих, оцінювання ступенів впливу цих властивостей на ефективність застосування за призначенням шляхом встановлення на основі отриманих оцінок придатності зразка для застосування [3 – 5]. Показано, що показники скритності та маскуванія суттєво впливають на властивості якості ОВТ в цілому та ефективність застосування за призначенням. Результати застосування та відомості про ТТХ радіолокаційних засобів ДЗЗ дозволяють зробити висновок про перевищення встановлених норм величинами показників скритності та маскуванія наземного ОВТ [1, 2]. Показано, що основний шлях підвищення значень показників скритності та маскуванія це зменшення енергії відбитого від зразка ОВТ випромінювання в напрямку приймача РЛ засобу ДЗЗ [1, 9 – 14]. Один з ефективних способів досягнення зазначеної мети реалізується за рахунок використання радіо поглинаючих матеріалів покриттів [6 – 8].

Мета статті. Визначення властивостей ОВТ, на які ще до початку бойових дій суттєво впливають результати застосування РЛ засобів ДЗЗ космічного базування. Аналіз та оцінка можливостей РЛ засобів ДЗЗ щодо виявлення та розпізнавання наземного ОВТ. Подання пропозицій щодо можливих шляхів підвищення показників якості наземного ОВТ від виявлення РЛ засобами ДЗЗ.

Розділ основного матеріалу. Висока якість ОВТ досягається та підтримується за умови формування та реалізації всебічно обґрунтованих та забезпечених ресурсами кваліметричних рішень на стадіях життєвого циклу. Задача комплексного супроводження зразків ОВТ вирішується в умовах суттєвого підвищення вимог до бойових, експлуатаційно-технічних характеристик ОВТ і ефективності виконання організаційно-технічних заходів щодо керування їх якістю [3 – 5].

Відомо, що у мирний час до 60% інформації про наземне ОВТ сусідніх країн, що знаходяться у полі національних інтересів або являють

собою загрозу національній безпеці, здобувається в тому числі, за допомогою космічних РЛ засобів ДЗЗ, а також у процесі виконання спостережливих авіаційних польотів згідно з програмою “Відкрите небо” [1, 2]. Результати проведеного аналізу дозволяють зробити висновок, що при розробці сучасних зразків ОВТ необхідно висувати вимоги з такими упередженнями, які забезпечать суттєве зменшення впливу результатів застосування РЛ засобів ДЗЗ та ураження, і як наслідок, підвищити їх живучість та бойову ефективність [3].

Ефективне застосування за призначенням зразка ОВТ потребує досягнення заданого рівня якості шляхом вирішення завдань управління якістю. Якість ОВТ формується при проектуванні, забезпечується у процесі виробництва та підтримується при експлуатації. Кожен зразок ОВТ має сукупність властивостей, які визначають його якість та обумовлюють придатність задовольняти потреби оборони. При дослідженні зразків ОВТ важливим є виявлення їх основних властивостей, визначення серед них суттєвих, оцінка ступенів впливу зазначених властивостей та встановлення на основі отриманих оцінок придатності зразка для застосування за призначенням [3 – 5].

Показано, що в залежності від функціональної ролі розрізняють цільові (призначення), обмежувальні і техніко-економічні властивості ОВТ [4, 5].

Відомо, що показники призначення характеризують ефект застосування ОВТ за призначенням в конкретних умовах. Однак ОВТ, яке має високі показники призначення, але не здатне за заданий інтервал часу зберігати властивості, які визначають можливість виконувати задані функції, не може бути визнано придатним для застосування за призначенням [4, 5].

Дослідимо зазначену проблему на прикладі вирішення задачі забезпечення відповідності нормам значень показників скритності та маскування ОВТ від РЛ засобів ДЗЗ. Розглянемо їх вплив на якість зразків наземного ОВТ. Відомо, що скритність та маскування (показники пристосування зразка до експлуатації та збереження працездатності) характеризують придатність зразка ОВТ до приховування (або технічної дезінформації) своєї дислокації, складу, структури та параметрів від технічних засобів розвідки, які застосовуються комплексно (наприклад, такі показники, як імовірність виявлення, імовірність розпізнавання, середній час виявлення, рівень демаскуючих ознак і т. і.) [1, 2, 4, 5].

Відомо, що якість, як узагальнена властивість зразка ОВТ не повністю характеризує ступінь його відповідності призначенню. Тому, додатково використовують показники, які дозволяють оцінювати придатність зразка до виконання цільового призначення шляхом виявлення його властивостей [4].

Зазначимо, що у сукупності властивостей, які об'єднано поняттям “якість зразка”, відсутня така властивість як ефективність. Ефективність

є не властивістю зразка ОБТ, а є властивістю дій, які спрямовані на досягнення деякої цілі за його допомогою.

Показано, що вирішення військових завдань РЛ засобами ДЗЗ забезпечується відповідною лінійною розрізненістю отриманих зображень зразків ОБТ. Величини лінійної розрізненості, які достатні для інтерпретації деяких об'єктів наземного ОБТ подана у табл. 1[1]. Використання радіолокаторів з синтезованою апертурою наблизило інформаційні можливості сучасних РЛ засобів ДЗЗ до оптико-електронних [9].

Основні ТТХ сучасних космічних РЛ систем ДЗЗ наведено у табл. 2 [1, 2].

Таблиця 1

Лінійна розрізненість, необхідна для інтерпретації об'єктів

Об'єкт зондування РЛ засобів ДЗЗ	Необхідна лінійна розрізненість, м				
	Виявлення	Розпізнавання			Аналіз стану
		Вид	Клас	Тип	
Ракетний комплекс	3,0	1,5	0,6	0,3	0,075
Літальний апарат	4,5	1,5	0,9	0,15	0,025
Бойова і транспортна техніка	1,5	0,5	0,3	0,05	0,025
Артилерійська система	0,9	0,6	0,15	0,05	0,015
РЛ станція	3,0	0,9	0,3	0,15	0,015
Корабель	7,5	4,5	0,6	0,3	0,03

Таблиця 2

Основні ТТХ космічних РЛ систем ДЗЗ

Космічна система	Країна (агентство)	Тип сенсора	Просторова розрізненість на місцевості, м	Ширина смуги захоплення, км
IERS-1	Японія	SAR	18	75
“Алмаз-1Б”	Росія	РСА-3	5-7	330
RAD-SAT	Канада	SAR	25x28	100-510
ERS-2	(ESA)	AMI/SAR	30	100
“Envisat”	(ESA)	ASAR	30	400
VEGA	США	SAR	1,6	<10
“Океан-0”	Росія, Україна	МСУ-В	250	195
		РЛС БО	1300	455
“Lacrosse”	США		20	3100
			0,3 – 0,9	20
OSMO-Sky Med	Італія, Іспанія, Греція	SAR-2000	3	

За відомою систематизацією ОБТ, як об'єкти зондування, поділяють на види, класи, підкласи і типи. Вид – категорія, що поєднує родинне ОБТ одного виду збройних сил. Клас поєднує ОБТ з однаковою назвою. Підклас поєднує ОБТ з близькими ТТХ. Тип – категорія класифікації, що поз-

начає найменування ОВТ [1]. Зазначену систематизацію покладено в основу оцінювання результатів застосування РЛ засобів ДЗЗ.

Ступінь вирішення завдань РЛ засобами ДЗЗ залежить від відношення мінімальних лінійних розмірів наземного ОВТ до розрізненості зображення. За критерієм Джексона відома мінімальна кількість розрізнявальних елементів, припадання яких на мінімальні розміри зразка ОВТ дозволяє здійснити виявлення, класифікацію до типу та розпізнавання виду об'єкта (табл. 3) [1].

Зазначимо, що крім геометричних характеристик зображення на результати вирішуваних завдань РЛ засобами ДЗЗ впливають також контрастність та інші параметри зображення.

Таблиця 3

Необхідні співвідношення між лінійними розмірами ОВТ та розрізнявальною здатністю РЛ засобів ДЗЗ

Глибина розпізнавання об'єкта ОВТ радіолокаційними засобами ДЗЗ	Кількість розрізнявальних елементів на мінімальний розмір об'єкта ОВТ
Виявлення (визначення орієнтації та форми)	1,5 ... 3,0
Класифікація (розрізняється вид об'єкта: корабель, літак і т.і.)	6,4 ... 8,4
Розпізнавання (встановлюється тип об'єкта: корабель – військовий, літак – транспортний)	10,0 ... 16,0

Як правило, одиничний зразок ОВТ є простим об'єктом зондування, але декілька зразків ОВТ об'єднаних у тактичний (оперативно-тактичний) підрозділ (комплекс) є складним об'єктом розвідки. Зазначені об'єкти зондування окрім властивих простим об'єктам демаскуючих ознак, характеризуються ще типами та кількістю простих об'єктів, що входять до них, розмірами площі на якій вони розташовані, а також взаємозв'язками між ними і особливостями взаємного розміщення. Зазначені ознаки для складних об'єктів є визначальними, та залежать від форм і способів бойового застосування певного виду ОВТ та їх всебічного забезпечення.

При цьому, повнота інформації про складний об'єкт, ступінь розкриття його сутності, стану та характеру діяльності залежить від повноти інформації про прості об'єкти, з яких він складається та їх “особистої” скритності, обумовленої конструктивними та компоновальними властивостями.

Під “особистою” скритністю розуміється закладена у ТТХ озброєння та військової техніки і способах бойового застосування здатність перешкоджати їх виявленню та розрізненню з визначеною імовірністю за заданий час РЛ засобами ДЗЗ, визначенню їх ТТХ, місцеположення, стану та режимів роботи [1, 2].

Вимоги щодо забезпечення “особистої” скритності враховуються на

етапі проектування ОВТ та забезпечуються відповідними технічними заходами і конструкторськими рішеннями, спрямованими на усунення (зниження) демаскуючих ознак (ДО), які використовуються РЛ засобами ДЗЗ.

Оцінку ступенів скритності умовного зразка ОВТ з умовними геометричними характеристиками від РЛ засобів ДЗЗ виконано за відповідною офіційною методикою. Використано припущення, що варіанти зразків наземного ОВТ є простими двомірними геометричними фігурами - прямокутниками (табл. 4).

Таблиця 4

Геометричні характеристики умовного зразка ОВТ

Геометричні характеристики умовного зразка ОВТ	Варіант 1	Варіант 2
Площа, м ²	46	32
Довжина, м	18	12
Ширина, м	2,5	2,5

Відомо, що характеристики РЛ розсіювання наземних зразків ОВТ складної форми є сильно осцилюючою функцією від ракурсів зондування, які в залежності від кутів місця та азимуту спостереження можуть відрізнятися до 3-х порядків. В першу чергу, це обумовлено складністю поверхні об'єктів дослідження, значними геометричними розмірами та впливом поверхні, що підстилає. Тому, при отриманні оцінок скритності варіантів зразків ОВТ доцільним було використання усереднених значень характеристик РЛ розсіювання в азимутальних та кутомістних секторах зондування.

Отримані за методикою значення оцінюваних показників скритності від дії РЛ засобів ДЗЗ подано у табл. 5. Перевищення значеннями показників скритності та маскування встановлених норм підвищує імовірність знищення ОВТ ще до початку застосування.

Отримані оцінки свідчать, що ТТХ радіолокаційних засобів ДЗЗ дозволяють в загальному випадку виявити умовні наземні ОВТ за варіантами геометричних розмірів.

Таблиця 5

Оцінки показників скритності наземних зразків ОВТ від РЛ засобів ДЗЗ

Показник скритності	Авіаційні РЛ засоби ДЗЗ				Космічні РЛ засоби ДЗЗ	
	Стратегічні		Тактичні			
	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 1	Варіант 2
Імовірність виявлення	Забезпечується виявлення наземного зразка ОВТ					
Імовірність розпізнання	Забезпечується визначення форми наземного зразка ОВТ		Забезпечується приховування форми РПУ			
Імовірність захисту	Не виконано умови надійного захисту зразка ОВТ				Виконані умови надійного захисту зразка ОВТ	

Зазначимо, що імовірність розпізнавання наземних зразків ОВТ РЛ засобами ДЗЗ стратегічної та тактичної авіації перевищує норми, але космічними РЛ засобами вони не розпізнаються.

Значення оцінок імовірності захисту варіантів зразків ОВТ свідчить про необхідність застосування технічних та організаційних заходів щодо підвищення значень показників скритності від застосування РЛ засобів ДЗЗ, які застосовуються комплексно з іншими засобами навіть в мирний час [1, 2].

Зменшення кількості, зниження або усунення ДО зразків ОВТ досягається оптимальним (раціональним) вибором конструкції та матеріалів для ОВТ, що суттєво впливає на властивості об'єкту зондування щодо випромінювання, відбивання, поглинання і розсіювання електромагнітної енергії, величини якої фіксуються засобами ДЗЗ та на основі яких формуються відповідні зображення об'єктів.

Технічні засоби протидії полягають у застосуванні конструкторських рішень і технічних засобів протидії, які зменшують та/або спотворюють технічні ДО об'єкта, включаючи можливість їх виявлення або відтворюють технічні ДО хибного об'єкта. Для оперативного вирішення проблем підвищення скритності та маскуванню об'єктів ОВТ (зменшення значень показників імовірності виявлення та розпізнавання нижче встановлених норм), як правило застосовують штатні засоби.

Розглянемо конструктивні рішення, які доцільно використовувати під час проектування та експлуатації наземних зразків ОВТ. Насамперед, це використання форм об'єктів, які зменшують відбиття РЛ сигналів та конструкційних матеріалів, що зменшують ефективну поверхню розсіювання (ЕПР) об'єкта (використання плавних обводів і зменшення кількості гострих кромки конструкційних елементів, виключення конструкцій з резонансними властивостями на робочих частотах РЛ засобів ДЗЗ, застосування радіо поглинаючих протирадіолокаційних покриттів і матеріалів (РППМ), що зменшують відбиття РЛ сигналів для поверхні наземних об'єктів ОВТ).

РППМ використовуються для зменшення РЛ контрасту об'єкту ОВТ з фоном місцевості. Даний ефект досягається за рахунок поглинання та розсіювання електромагнітної енергії випромінювання РЛ засобу ДЗЗ у РППМ, у результаті чого зменшується потужність відбитого від зразка ОВТ радіолокаційного сигналу в напрямку приймача [9 – 14].

Існуючі РППМ мають характеристики, які дозволяють захищати наземне ОВТ від РЛ засобів ДЗЗ тільки в окремих вузьких смугах частот, що створює умови для їх виявлення та розпізнавання до типу включно [1, 2, 9 – 14].

Умовою забезпечення повного поглинання та відсутності відбиття електромагнітного випромінювання (ЕМВ) в РППМ є виконання на межі розподілу середовищ співвідношення

$$z_1 = z_2 = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}},$$

де z_1 – повний опір середовища 1;
 z_2 – повний опір середовища 2;
 μ – магнітна проникність;
 ε – діелектрична проникність.

Для підвищення показників скритності об'єктів ОВТ розроблено модель покриття, яке вільне від зазначених недоліків [8]. Запропоноване покриття є прикладом радіоізотопної технології захисту зразків ОВТ від РЛ засобів ДЗЗ. За зазначеною технологією покриття корпусів наземних зразків ОВТ складається з зовнішнього шару діелектричної речовини, в середині якого випадково розподілені сферичні вкраплення α -радіоактивної речовини різного розміру, а на зовнішній поверхні зазначеного шару випадково розміщені плями високопровідної речовини будь-якого розміру. Склад компонентів РППМ створює в покритті твердотільну плазму. Параметри плазми характеризується величинами одного порядку щодо дійсної та уявної частин діелектричної проникності [8].

На основі одночасної дії декількох фізичних явищ та процесів, які мають максимальний ефект в різних ділянках частотного діапазону, в покритті досягнуто широкосмугастість щодо зниження рівня відбиття ЕМВ незалежно від наявності та щільності природного газового середовища навколо РПУ та її елементів [8]. Відбите від зразка ОВТ ЕМВ зменшується за рахунок впливу внутрішньої структури радіоізотопного композитного покриття, розпорощення на фрактальній структурі діаграми спрямованості та підвищення ефективного загасання у нерівноважному та незворотному середовищі радіоізотопного покриття.

Отримані порівняльні оцінки залежності величин ЕПР ідеально провідного циліндра 1 та циліндра з радіоізотопним композитним покриттям 2 від кута відбиття ЕМВ відносно нормалі свідчать про значне зменшення ЕПР при використанні радіоізотопної технології захисту від РЛ засобів ДЗЗ (рис. 1).

Згідно з отриманими оцінками потужність відбитої від покриття хвилі ЕМВ радіолокаційного засобу, в діапазоні від 3 мм до 10 см, порівняно з потужністю падаючого на покриття ЕМВ зменшується на величину:

- ≥ 10 Дб за рахунок внутрішньої структури покриття;
- ≥ 10 Дб за рахунок розсіювання на фрактальній структурі діаграми спрямованості;
- $\geq 10 - 20$ Дб за рахунок підвищення ефективного загасання у нерівноважному та незворотному середовищі покриття.

Застосування запропонованого радіоізотопного покриття для підвищення РЛ скритності об'єктів ОВТ дозволяє в широкому діапазоні

ЕМВ (3 мм ... 10 см) зменшити на 1 – 2 порядку величини ЕПР незалежно від щільності і наявності оточуючого газового середовища у будь-яких умовах застосування РПУ [8].

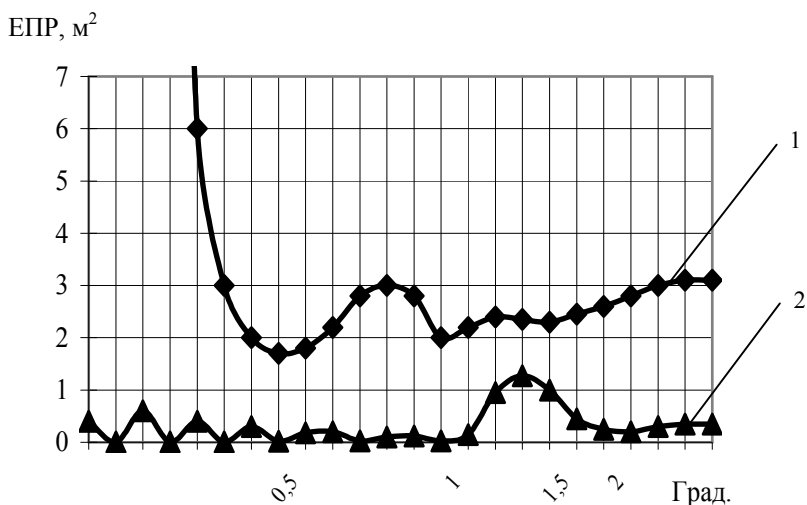


Рис. 1. Графіки залежності оцінок величин ЕПР ідеально провідного циліндра 1 та циліндра з радіоізотопним композитним покриттям 2 від кута відбиття ЕМВ відносно нормалі

Висновки. Можливості РЛ засобів ДЗЗ забезпечують виявлення наземного ОВТ з імовірністю, яка дорівнює "1". В загальному випадку величини імовірності розпізнавання наземних об'єктів ОВТ радіолокаційними засобами ДЗЗ перевищують норми.

Застосування РЛ засобів ДЗЗ в комплексі з іншими технічними засобами розвідки вимагає висунення упереджених вимог до властивостей та показників якості перспективного наземного ОВТ та реалізації додаткових заходів, які дозволять підвищити ефективність застосування зразків ОВТ.

Запропоноване протирадіолокаційне покриття для наземних зразків ОВТ дозволить забезпечити виконання встановлених норм скритності і маскування у діапазоні 3 мм ... 10 см та суттєво не змінить масово-габаритні характеристики наземного ОВТ.

Підвищення значень показників скритності вище встановлених норм потребує використання на зразках наземного ОВТ, що стоять на озброєнні, штатних засобів екранування та маскування, а на зразках наземного ОВТ, що розробляються - використання конструкторських рішень, які базуються, в тому числі, на застосуванні технології радіоізотопного захисту зразків ОВТ.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Зарубіжні системи дистанційного зондування Землі з космосу подвійного призначення. Історія створення, принципи дії, застосування і перспективи розвитку* / О.О. Негода, В.Б. Толубко, С.П. Мосов, М.Ф. Пічугін. – К.: НАОУ, 2005. – 271 с.
2. *Теорія і техніка протидії безпілотним засобам повітряного нападу. Книга 1. Безпілотні засоби повітряного нападу. Застосування та перспективи розвитку. Виявлення малопомітних засобів повітряного нападу. Монографія* / В.І. Ткаченко, Ю.Г. Даник, Г.А. Дробаха, В.І. Карпенко, Р.Е. Пащенко, Є.Б. Смірнов. – Х.: ХВУ, 2002. – 220 с.
3. *Васильев В.Э. Управление качеством вооружения и военной техники. Организационные основы.* – Х.: ХВУ, 1994. – 199 с.
4. *Демидов Б.А. Системный анализ вооружения и военной техники: Учебное пособие. Кн. 1.* – Х.: ХВУ, 1994. – 366 с.
5. *Демидов Б.А. Системный анализ вооружения и военной техники: Учебное пособие. Кн. 1.* – Х.: ХВУ, 1994. – 421 с.
6. *Сотніков О.М., Судаков О.Г. Пристрій для зменшення інтенсивності відбиття радіохвиль.* – 3485 UA. Реєстр. № 2004031847. Заявл. 12.03.2004. Надрук. 15.11.2004. Бюл. № 11. – 2004 г.
7. *Пристрій для зменшення інтенсивності відбиття радіохвиль* / В.І. Карпенко, О.М. Сотніков, В.Є. Новиков, О.Г. Судаков. – 3496 UA. Реєстр. № 2004032097. Заявл. 22.03.2004. Надрук. 15.11.2004. Бюл. № 11. – 2004 г.
8. *Пристрій для зменшення інтенсивності відбиття електромагнітного випромінювання в широкому діапазоні частот* / О.М. Сотніков, В.І. Карпенко, В.Ф. Клепиков, В.Є. Новиков, О.Г. Судаков. – 7486 UA. Реєстр. № 20041210841. Заявл. 27.12.2004. Надрук. 15.06.2005. Бюл. № 6. – 2005 г.
9. *Радиолокационные методы исследования Земли* / Ю.А. Мельник, С.Г. Зубкович, В.Д. Степаненко и др.; Под ред. Ю.А. Мельника. – М.: Сов. радио, 1980. – 264 с.
10. *Физические основы диапазонных технологий типа „Стелс”* / С.А. Масалов, А.В. Рыжак, О.И. Сухаревский, В.М. Шкиль. – С.-Пб.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского, 1999. – 163 с.
11. *Радиотехнические системы в ракетной технике.* – М.: Воениздат, 1974. – 224 с.
12. *Шнейдерман Я.А. Радиопоглощающие покрытия // Зарубежная радиоэлектроника.* – 1975. – № 2. – С. 95-99.
13. *Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн: Учебное пособие / 2-е изд. перераб. и дополн.* – М.: Наука, 1990. – 432 с.
14. *Сотников А.М. Электродинамические процессы полупроводниковых радиоизотопных покрытий // Моделирование та інформаційні технології.* – К.: НАНУ, Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Е. Пухова. – 2004. – Вип. 26. – С. 196-201.

Надійшла 1.02.2006

Рецензент: кандидат технічних наук, професор О.М. Сотніков,
Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба.