

УДК 623.438.3 (ББК 68.513)

О.В. Стаховський, К.В. Коритченко, Ю.І. Кістерний, О.Г. Сінько, Д.Ю. Завізіон

Національний технічний університет «ХПІ», Харків

## СУЧАСНИЙ ЗАСІБ МАСКУВАННЯ ВІЙСЬКОВИХ ОБ'ЄКТІВ У ОПТИЧНОМУ, ТЕПЛОВИМУ ТА РАДІОЛОКАЦІЙНОМУ ДІАПАЗОНАХ

В даній статті пропонується новий метод автоматичного маскуванню військової техніки від сучасних приладів розвідки у видимому оптичному, тепловому та радіолокаційному діапазонах. Здійснено експериментальне термографічне дослідження температурного стану зовнішніх елементів танку. Проведено дослідження впливу проточного теплового екрану на температурний фон силової установки. Досліджено застосування властивостей віддзеркалення для зниження середньої температури та створення плямистості у інфрачервоному діапазоні. Складена математична модель демаскуючих сигналів у тепловому діапазоні.

**Ключові слова:** система автоматичного маскуванню, експериментальне дослідження, математична модель.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді та аналіз літератури.** Відомо, що в даний час противник створює автоматизовані системи розвідки і наведення високоточної зброї на наземні об'єкти. Це вимагає коригування в застосуванні різних способів і засобів маскуванню. Отже, для досягнення ефективного маскуванню військових об'єктів потрібні нові принципи і підходи, розробка і застосування сучасних методів і засобів приховування.

Маскуванню завжди впливала на успіх бою. В сучасному бою її значення незмірно зростає у зв'язку із застосуванням противником досконалих технічних засобів розвідки і якісно нових високоточних і потужних засобів ураження. Уміло здійснювана маскування багато в чому сприяє досягненню скритності підготовки та раптовості дій військ, збереженню їх живучості та боездатності.

При розробці нових способів маскуванню об'єктів пріоритети повинні бути віддані тим з них, які здатні забезпечити приховування великорозмірних цілей в гранично короткий термін.

Заходи, які проводяться щодо маскуванню об'єктів завчасно в умовах застосування противником сучасних засобів розвідки, малоефективні. Адже такі роботи легко виявляються автоматизованими системами, і пропадає раптовість маскувального ефекту.

Так що тільки висока швидкість створення маскування ефекту, комплексне використання різноманітних засобів і видів маскуванню (у тому числі імітації, приховування об'єктів, застосування нових технологій зниження їх помітності), а також засобів радіотехнічного протидії різним системам високоточних засобів ураження противника можуть забезпечити ефективність маскуванню.

Таким чином розробка в даному напрямку, дозволяюча механізувати й автоматизувати процес застосування маскування засобів, відтворити неправдиві об'єкти або приховати від високоточної зброї демаскуючі ознаки в широкому діапазоні спектра електромагнітних хвиль (інфрачервоному, оптичному і радіолокаційному), маскуючи конфігурацію і справжнє розташування об'єкта є **актуальною**.

Отже, **мета цієї статті** – розробити технологію автоматичного маскуванню військових об'єктів від сучасних засобів розвідки та високоточної зброї.

### Результати досліджень

Під час експлуатації бронеоб'єкту відбувається зміна стану оточуючого середовища, яка викликана під дією гарячих відпрацьованих газів силової установки та гарячих порохових газів на оточуюче повітря. Таким чином, у тепловому діапазоні мають видові демаскуючі ознаки та признаки діяльності бронетехніки.

Видимість об'єктів визначається тепловою різницею випромінювальної здатності бойової машини і фону оточуючої місцевості.

Випромінювання світла нагрітими тілами називається тепловим випромінюванням. Ці тіла випромінюють електромагнітні хвилі. Особливістю такого випромінювання є сильна залежність інтенсивності теплового випромінювання від абсолютної температури це випромінювання здійснюється за рахунок перетворення енергії теплового руху часток тіла в енергію випромінювання. це приводить до того що акту випромінювання світла повинен передувати акт поглинання енергії випромінюючим тілом, притому відповідно до закону збереження енергії для будь-якого тіла енергія  $\omega_{\text{випр}}$  випромінювана за одиницю

часу з одиниці поверхні тіла, має дорівнювати енергії  $\omega_{\text{погл}}$ , що поглинається за той же час цією ж ділянкою поверхні:

$$\omega_{\text{випр}} = \omega_{\text{погл}}$$

$$\text{Випромінювальною здатністю тіла } r_{\omega} = \frac{dR_{\omega}}{d\omega}$$

називається енергія, що випромінюється тілом з одиниці поверхні в одиниці часу в одиничному частотному інтервалі. При цьому  $dR_{\omega}$  – енергія, що випромінюється тілом за 1 с з 1 м<sup>2</sup> поверхні в інтервалі частот від  $\omega$  до  $\omega+d\omega$ . Випромінювальна здатність тіла – є функція частоти і температури. Поглинаючою здатністю тіла  $a_{\omega} = \frac{df'_{\omega}}{df_{\omega}}$  – називається відношення потоку енергії, поглиненої тілом, до потоку енергії, падаючої на поверхню тіла. за одини і той же час.

Але пропускна спроможність повітря, призводить до істотного спотворення сигнатури об'єкту у разі віддалення від нього залежно від довжини електромагнітної хвилі. Очевидно, що засоби розвідки для виявлення об'єктів на великих відстанях використовують ділянки спектру з найвищим пропусканням, так звані «вікна прозорості». У видимій області спектру електромагнітного випромінювання така ділянка відповідає інтервалу довжин хвиль від 0,4 до 0,7 мкм, в ближній інфрачервоній – від 0,7 до 3,0 мкм, в середній і дальній інфрачервоній – від 3 до 6 і від 8 до 14 мкм. Тому ймовірність виявлення об'єкту знижується із зменшенням його контрасту на фоні місцевості.

Особливістю виявлення об'єктів є вибір ділянок спектру, в яких здійснюється спостереження, не тільки у відповідності до характеристик пропускання атмосфери, й виходячи зі спектрального діапазону випромінювання об'єктів. Даний діапазон залежить від температури об'єкту, причому для фіксованої температури об'єкту є область максимуму випромінювання. При температурі слабо нагрітих об'єктів (близько 300 К) даний максимум випромінювання практично знаходиться в діапазоні 8-14 мкм, а з підвищенням температури до 1000 К даний максимум зміщується в діапазон 3 – 5 мкм (рис. 1).

Конструктори військової техніки намагаються максимально наблизити температуру об'єктів до температури навколишнього середовища, так вони практично досягли цього на танках типа Т-64 і Т-80УД з ежекційною системою охолодження, де температура відпрацьованих газів складає близько 373 К.

Стефан–Больцман на основі енергетичних методів дослідження молекулярних явищ довів пропорційність інтегральної здатності абсолютно чорного тіла четвертої степені його абсолютної температури

$$R^{\circ}_T = \sigma T^4,$$

де  $\sigma = 5,735 \cdot 10^{-12}$  Вт·см<sup>-2</sup>·град<sup>-4</sup>; T – абсолютна температура тіла

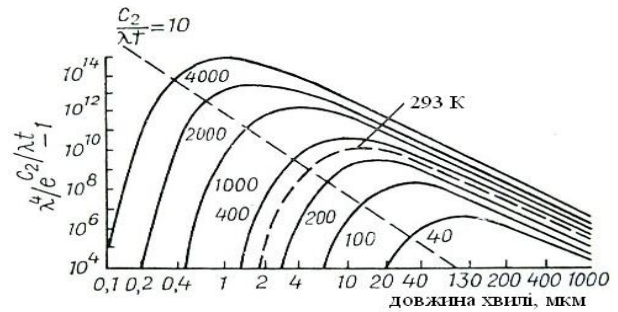


Рис. 1. Ізотерми випромінювання чорних тіл за різною їх температурою, що розраховані за формулою Планка (температура у [К])

На основі цього закону маємо, що різниця Q у енергії випромінювання об'єкту, що уявляє собою абсолютно чорне тіло, з енергією випромінювання фону складе:

$$Q = \sigma(T_1^4 - T_2^4),$$

де T<sub>1</sub> – температура об'єкту; T<sub>2</sub> – температура фону.

Отже розглянемо можливість розпізнавання цілі за допомогою тепловізору. Відомо, що фіксований нагляд у видимому діапазоні можливий за наступними значеннями межових контрастів: знаходження цілі  $\epsilon_{\text{знах}} = 0,03 \div 0,04$ ; розпізнавання цілі  $\epsilon_{\text{розн}} = 0,05 \div 0,09$ ; зникнення цілі  $\epsilon_{\text{зник}} = 0,016 \div 0,02$ .

Згідно закону Вебера–Фехнера, об'єкт, що має яскравість, у видимому діапазоні може бути помітний на фоні тоді, коли значення перевершує мінімальне значення порогу контрастної чутливості ока  $\epsilon$ .

Контраст яскравості K, або оптичний контраст розраховується за виразом:

$$K = \frac{B_o - B_{\phi}}{B_{\phi}},$$

де B<sub>o</sub> – яскравість об'єкта; B<sub>φ</sub> – яскравість фону.

Але людське око має найбільшу чутливість в області спектру, що відповідає зеленому світлу. З цього витікає доцільність перетворення інфрачервоного зображення у видимий зелений колір.

Базовою умовою розпізнавання об'єкту у тепловому діапазоні служить роздільна здатність прибору, яка у сучасних тепловізорах на малій відстані має рівень близько 0,1 К. Переведемо зазначену величину в одиниці енергії випромінювання.

Розрахуємо випромінювальну властивість у діапазоні вимірювання тепловізором. Залежність розподілу енергії випромінювання абсолютно чорного тіла за довжиною хвилі  $\lambda$  виражається формулою Планка:

$$\varepsilon(\lambda, T) = \frac{2\pi c^2 h}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{kT\lambda}\right) - 1},$$

де  $c$  – швидкість світла;  $h$  – постійна Планка;  $k$  – постійна Больцмана.

Найбільш інтенсивним джерелом випромінювання є чорне тіло.

Поверхневу густину потоку випромінювання об'єкту у діапазоні вимірювання тепловізором розраховуємо за виразом:

$$\varepsilon(T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon(\lambda, T) d\lambda,$$

де  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  – верхній та нижній діапазон довжини хвиль, за яким здійснюється вимірювання.

Підставляючи значення відповідного діапазону  $\lambda_1 = 8 \cdot 10^{-6}$  м,  $\lambda_2 = 14 \cdot 10^{-6}$  м за температури 300 К отримуємо поверхневу щільність потоку випромінювання  $\varepsilon(300) = 171,907$  Вт/м<sup>2</sup>. За температури, що перевищує це значення на  $\Delta T = 0,1$  К отримуємо поверхневу щільність  $\varepsilon(300,1) = 172,17$  Вт/м<sup>2</sup>.

Для визначення різниці поверхневої щільності потоку випромінювання, що потрапляє до вхідного вікна тепловізора зазначеної чутливості ( $\Delta T = 0,1$  К) врахуємо геометричну роздільну здатність приладу, яка для тепловізора Fluke Ti-40 дорівнює  $160 \times 120$  пікселей. На відстані 1,5 м від вхідного вікна даного телевізора можливо зняти об'єкт, що має розмір близько  $1,6 \times 1,2$  м<sup>2</sup>. Тобто за такої відстані один піксель буде відображати інтегральне значення температури площі  $S = 10^{-4}$  м<sup>2</sup>.

Енергетичну яскравість об'єкту, що уявляє собою чорне тіло, у діапазоні спектру спостереження розраховуємо за виразом:

$$B(T) = \frac{1}{4\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varepsilon(\lambda, T) d\lambda,$$

де  $B(T)$  – енергетична яскравість, що має розмірність [Вт/(м<sup>2</sup>·ср)].

Слід враховувати, що оптична система дозволяє отримувати зображення об'єкту на великій площі з подальшим фокусуванням зображення на малу площу, що відповідає площі матриці приймача. Це призводить до енергетичного посилення сигналу, що потребує урахування у математичній моделі за рахунок введення кратності приладу. Таким чином, різниця опроміненості вхідного вікна тепловізійного прибору під дією випромінювання бронеоб'єкту та фоном місцевості прийме вигляд:

$$\Delta E = \frac{K_p \cdot S_o}{l^2} (B_o - B_\phi),$$

де  $K_p$  – кратність оптичної системи тепловізора;  $S_o$  – площа проекції об'єкту у напрямку спостереження;  $l$  – відстань між вхідним вікном тепловізійного прибору та бронеоб'єктом;  $B_o$ ,  $B_\phi$  – енергетич-

на яскравість об'єкту та фону.

Звідси маємо, що з застосуванням сучасних цифрових засобів обробки зображення за даною чутливістю досягається виявлення об'єкту, якщо різниця поверхневої щільності потоку випромінювання, що потрапляє до вхідного вікна тепловізора Fluke Ti-40 зазначеної чутливості ( $\Delta T = 0,1$  К) складе  $\Delta E_{\min} \approx 3,7 \cdot 10^{-6}$  Вт/м<sup>2</sup>.

Очевидно, що коливання різниці опроміненості у діапазоні, що не перевищує енергетичної чутливості приладу спостереження, не призведе до будь-яких змін у картині, що відображається. Тому, принципово виявлення бронеоб'єкту на фоні місцевості неможливе за відомої чутливості тепловізора  $\Delta E_{\min}$ , якщо виконана умова:

$$\Delta E < \Delta E_{\min}.$$

Окрім характеристики щодо чутливості тепловізора, дані прилади мають властивість щодо кутової  $\alpha$  роздільної здатності. Введення цієї величини пов'язано з кінцевими розмірами пікселів, за якими здійснюється відображення реального об'єкту на матриці у приладі спостереження. В результаті, реальний об'єкт може відображатися одним або декількома пікселями на зображенні. Все це призводить до залежності можливості розпізнавання об'єкту від розмірів його відображення. Між кутовою роздільною здатністю та кількістю пікселів, які відображають об'єкт, існує залежність. Так, якщо об'єкт, що розташований на великій відстані, має кутовий розмір, що є меншим кутової роздільної здатності, то даний об'єкт може відображатись у приладі лише одним пікселем, у іншому випадку, навпаки.

Розглянемо вплив кутової роздільної здатності на можливість виявлення об'єкту за різними співвідношеннями кутового розміру об'єкту до кутової роздільної здатності приладу (рис. 2). У позиції 1 кутовий розмір об'єкту перевищує кутову роздільну здатність приладу, у позиції 2 – навпаки. Враховуючи те, що вхідного вікна поступає інтегральна енергетична характеристика сигналу, то в залежності від співвідношення кутових розмірів значення цієї характеристики буде відрізнятися.

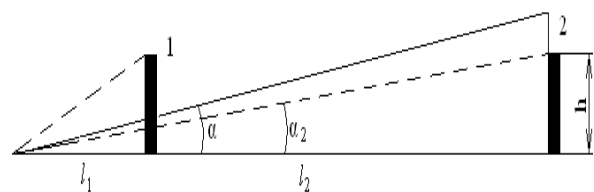


Рис. 2. Вигляд об'єкту за різними співвідношеннями кутових розмірів:  $\alpha$  – кутова роздільна здатність приладу спостереження;  $l$  – відстань від точки спостереження до об'єкту;  $h$  – висота або ширина об'єкту

Припустимо, що об'єкт має однакову ширину та висоту, що дорівнює  $h$ . Тоді площа об'єкту дорів-

ное  $S_0 = h^2$ . Кутівий розмір об'єкту у позиції 2 відповідає куту  $\alpha_2$ , що дорівнює  $\arcsin(h/l_2)$ . За малих кутівих величин  $\sin(\alpha) \approx \alpha$ , що дозволяє припустити, що  $\alpha_2 \approx h/l_2$ , або в загальному випадку  $\alpha_0 \approx h/l$ . Звідси маємо, що порівняння кутівих розмірів може бути представленим у вигляді порівняння площі  $S_0$  бронеоб'єкту з квадратом множини кутівий роздільної здатності  $\alpha$  на відстань  $l$  між місцем спостереження та об'єктом.

У позиції 1 різниця опроміненості вхідного вікна тепловізійного приладу під дією випромінювання бронеоб'єкту та фоном місцевості буде визначатися лише виходячи з різниці енергетичної яскравості об'єкту та фону та з урахуванням послаблення сигналу в атмосферному середовищі. Звідси, умова виявлення об'єкту у цьому випадку приймає вигляд:

$$\Delta E = \frac{K_p \cdot S_0 \cdot \xi_a}{l^2} (B_o(T) - B_\phi(T)),$$

якщо  $S_0 > (\alpha \cdot l)^2$ ;  $\Delta E < \Delta E_{\min}$ ,  
де  $\xi_a$  – коефіцієнт поглинання атмосфери.

У позиції 2 у складову енергетичної яскравості об'єкту, під час його відображення на матриці тепловізійного приладу, буде входити енергетична складова фону. Співвідношення площі об'єкту по відношенню до площі фону у межах кутівий роздільної здатності приладу буде визначати інтегральну характеристику енергетичної яскравості об'єкту, що відображається у даному випадку. Це призводить до необхідності корегування виразу для різниці опроміненості вхідного вікна тепловізійного приладу під дією випромінювання бронеоб'єкту та фоном місцевості, що з умовою виявлення об'єкту приймає вигляд:

$$\Delta E = K_p \cdot \xi_a \cdot \alpha^2 [f \cdot B_o(T) - (1-f)B_\phi(T)], \quad (1)$$

якщо  $S_0 < (\alpha \cdot l)^2$ ;  $\Delta E < \Delta E_{\min}$ ,  
де  $f$  – коефіцієнт, що дорівнює  $f = S_0/(\alpha \cdot l)^2$ .

За результатами визначення технічних характеристик сучасних тепловізорів встановлено, що виконання умови (1) досягається на достатньо великій відстані (рис. 3). Наприклад, за різниці між фоном та об'єктом у  $\Delta T = 1$  К, площею  $S_0 = 10$  м<sup>2</sup>, кратністю  $K_p = 3$  та температурою фону  $T_\phi = 300$  К, чутливістю тепловізору  $\Delta E_{\min} = 1,4 \cdot 10^{-5}$  Вт/м<sup>2</sup> відображення сигнатури об'єкту відбудеться з відстані менше, ніж 700 м.

Достатня велика дальність відображення об'єктів сучасними тепловізійними приладами спостереження свідчить про те, що за допомогою цих приладів буде вирішуватися задача не тільки виявлення, але й розпізнавання об'єктів. Це дає підставу для розширення області застосування математичної моделі демаскуючих сигналів у оптичному діапазоні у тепловий діапазон з деякими перетвореннями. Вочевидь, зазначена модель може працювати лише за умови відображення сигнатури об'єкту у тепловому

діапазоні. Таким чином, модель набуває вигляд:

$$K = \frac{K_p \cdot S_0 \cdot \xi_a (B_o(T) - B_\phi(T))}{l^2 B_\phi(T)},$$

якщо  $\Delta E > \Delta E_{\min}$ .

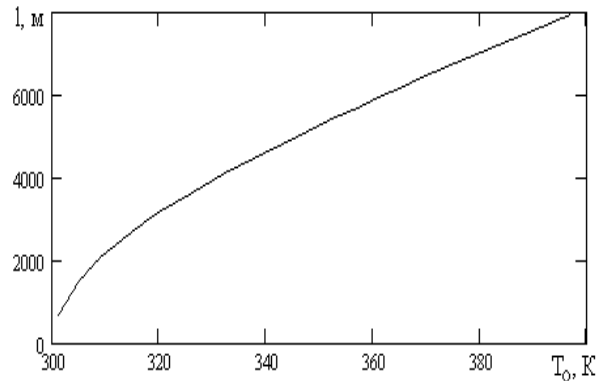


Рис. 3. Залежність відстані, за якої можливе відображення сигнатури об'єкту площею  $S_0 = 10$  м<sup>2</sup> у тепловому діапазоні за чутливістю тепловізору  $\Delta E_{\min} = 1,4 \cdot 10^{-5}$  Вт/м<sup>2</sup> в залежності від інтегральної температури бронеоб'єкту  $T_o$ .

Тому для зниження теплового контрасту пропонується застосування проточного теплового екрану. Було здійснено експериментальне термографічне дослідження температурного стану зовнішніх елементів танку, визначено вплив теплового екрану на температурний фон силової установки, здійснено термографію відпрацьованих газів танку у діапазоні інфрачервоного спектру випромінювання.

Дослідження проводилось на танку типу Т-64Б. Для проведення досліджень залучалось наступне обладнання: тепловізор Fluke Ti-40, мультиметр DT-838 з термопарою, метеокомплект МК-3, люксметр, секундомір, цифрова фотокамера Canon PowerShot A530, нагнітач системи колективного захисту ПАЗ, лінійка, покажчик температури охолоджуючої рідини танка. Тепловізор Fluke Ti-40 (Свідоцтво про державну метрологічну атестацію № 05-4473 від 22 жовтня 2007 року, свідоцтво перевірки робочого засобу вимірювальної техніки № 4934 від 19.11.2009 видане ДП «Харківстандартметрологією») мав слідуючі параметри (табл. 1.).

Термограми оброблялися у середовищі програмного забезпечення SmartView 1.8. Дана програма дозволяє здійснити обробку зображення на сучасному рівні.

Так, враховуючи кольорову чутливість ока людини передбачено перетворення термограми у кольорове зображення з різною кольоровою палітрою: синій-червоний, розпечений метал, кольори мінливості, янтарний, янтарний обернений. Також передбачено відображення у чорно-білих тонах, та їх негативу.

Таким чином, сучасні засоби обробки зображень дозволяють підвищити вірогідність знаходження бронетанкових об'єктів шляхом їх відображення у найбільш чутливих для людського ока діапазонах. Шляхом програмно-передбаченої зміни шкали температурного діапазону досягається підвищення точності відображення температурної шкали, що також може бути застосовано у техніці розпізнавання об'єкту.

Таблиця 1

Технічна характеристика тепловізора Fluke Ti-40

Параметр	Характеристика	Примітки
Спектральний діапазон вимірювання	8 ÷ 14 мкм	
Тип приймача випромінювання	Оксид ванадію VOx	
Діапазон вимірювання температури	-20 ÷ 350 °C	Вимірювання здійснювалися у діапазоні калібрування від -20 °C до 100 °C
Абсолютна похибка	± 2 °C	
Відносна похибка	2 %	
Роздільна здатність	0,15 °C	
Розмір термограми	160×120 пікс	
Обмін даними з ПК	PC карта на 512 Мб	

Проточний тепловий екран було виготовлено з поліетиленової плівки товщиною 125 мкм (рис. 4). Між повітряними каналами розташовувався технологічний шов, що виникав в результаті зварювання поліетиленової плівки. Середня ширина шву дорівнювала 1 см. Регулятор 2 площини перетину вихідного отвору застосовувався для збільшення опору повітряному струменю з метою збільшення тиску повітря всередині теплового екрану. В надутому стані товщина теплового матрацу складала 10 см, а загальний розмір дорівнювався  $2,2 \times 1,5 \text{ м}^2$ .

Даний проточний екран забезпечить «камуфльований» окрас у тепловому діапазоні, який буде подібний навколишньому середовищу (рис. 5).

Тепловий екран розміщувався на висоті 15 ÷ 20 см над силовою установкою танка (рис. 6). Екран мав три сектори, що мали різні властивості щодо віддзеркалення, поглинання та пропускання теплового випромінювання.

Для дослідження впливу теплового екрану на температурний фон силової установки танка екран було розміщено таким чином, щоб з напрямку термографічної зйомки він закривав високотемпературні ділянки, що розігріті до високої температури під

час роботи двигуна та під дією сонячного випромінювання.

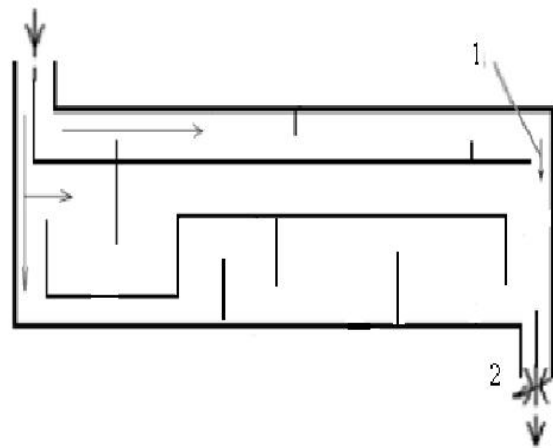


Рис. 4. Схема пристрою проточного теплового екрану, який необхідно використовувати:  
1 – напрям руху повітря; 2 – регулятор площини перетину вихідного отвору



Рис. 5. Створення камуфльованого окрасу у тепловому діапазоні

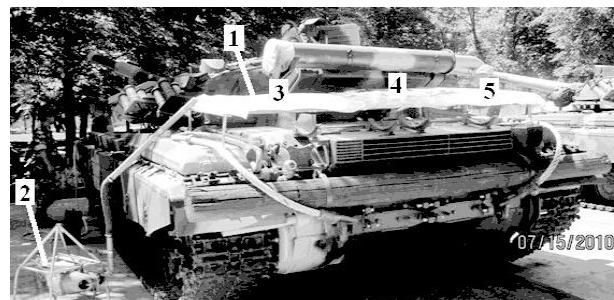


Рис. 6. Розміщення проточного теплового екрану над танком:  
1 – тепловий екран; 2 – нагнітач повітря;  
3 – ділянка екрану без покриття; 4 – ділянка екрану з властивостями віддзеркалення; 5 – ділянка екрану, що зафарбована у білий колір

Нагрівання танка було здійснено на холостому ходу до температури охолоджуючої рідини двигуна,

що дорівнювала  $100 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Час розігрівання двигуна машини в умовах проведених досліджень склав близько 15 хвилин. Обвідний газохід під час розігрівання було виключено.

Після прогрівання двигуна термограма кормової частини танка мала вигляд як на рис. 7.



Рис. 7. Термограма кормової частини танка після прогрівання двигуна та на яку падає сонячне випромінювання

Після вимкнення двигуна середня температура великих за площею ділянок над радіатором приймала температуру, що практично дорівнювала температурі охолоджуючої рідини. В області розташування ежектору температура зовнішніх елементів перевищувала температуру повітря у середньому на  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Температура ділянок поверхні поблизу обвідного газоходу складала близько  $115 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Броньова решітка після зупинки двигуна мала температуру близько  $95 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Таким чином, за умови роботи силової установки танка типу Т-64, він буде мати суттєвий температурний контраст з оточуючим середовищем, особливо у проекціях зверху та з корми (рис. 8). Це призводить до суттєвого підвищення вірогідності розпізнавання з повітря та ураження танка повітряними засобами, що оснащені сучасними головками самонаведення.



Рис. 8. Розподіл підвищеної температури елементів танка за ділянками під час дослідження:  
1 –  $90 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 2 –  $120 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 3 –  $60 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$

Після розміщення проточного теплового екрану відбулося суттєве зниження температури фону покритого об'єкту (рис. 9). Слід зазначити, що температура повітря, яке продувалося зростала з температури  $38 \text{ }^\circ\text{C}$  на вході до екрану до температури

$43 \pm 44 \text{ }^\circ\text{C}$  на виході з екрану. Зростання температури повітря впливало на температурних фон різних ділянок теплового екрану. Значний вплив на температурний фон екрану здійснювала властивість віддзеркалення. Середня температура екрану на ділянках, де було незначне віддзеркалення, практично дорівнювалась температурі повітря. Незначне підвищення середньої температури (не більше, ніж на  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ ) над температурою повітря, що продувалось, викликане проходження частини теплового випромінювання через технологічні смуги екрану.

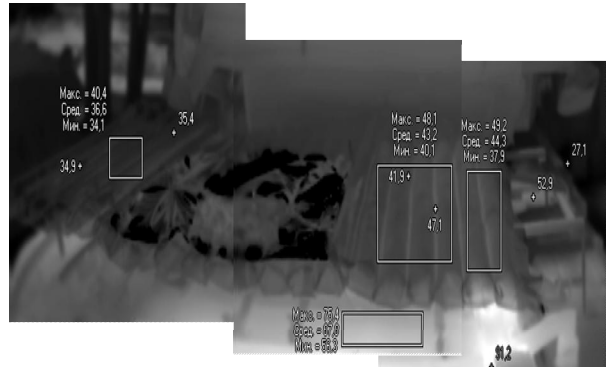


Рис. 9. Оптичне та термографічне зображення кормової частини танка, що вкрита проточним тепловим екраном

Більш детальний розгляд зміни температурного фону свідчить про те, що проточний тепловий екран може бути використаний як ефективний засіб зниження теплового контрасту броньованих об'єктів, що знаходяться в умовах дії на них сонячного випромінювання (рис. 10).

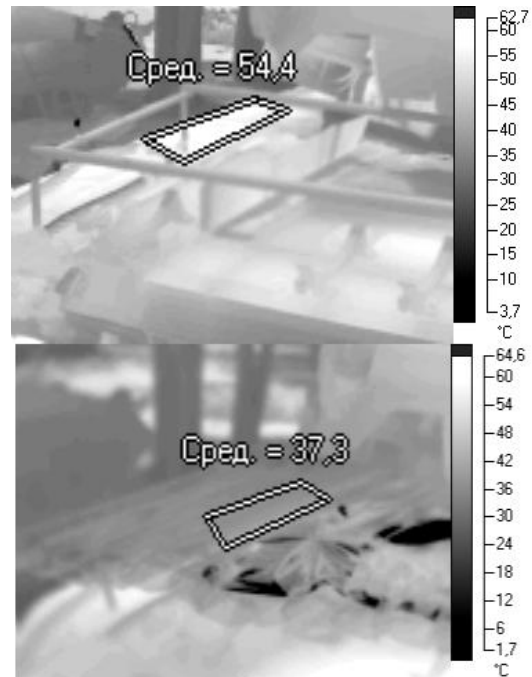


Рис. 10. Порівняння термограм елементів танка, що розігріті під сонячним випромінюванням, без теплового екрану (зверху) та з проточним тепловим екраном (знизу)

Так, у наведеному прикладі, температура випромінювання лівого заднього правого баку, який прийняв середню температуру під дією сонця  $54,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  було знижено за екраном до  $37,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вочевидь, зниження температури повітря на вході у тепловий екран призвело б до зниження температури на термографічному зображенні.

Незважаючи на часткове проходження теплового випромінювання через матеріал теплового екрану, середня температура фону коробки обвідного газоходу з температури  $90,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  за тепловим екраном була знижена до  $51\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 11). Фарбування поліетиленової плівки не призвело до видимого зниження якості теплового маскуванню екраном. Це дозволяє припустити, що проточний тепловий екран може бути пофарбований у камуфляжний колір у видимому діапазоні без зміни властивостей ефективності екранування.

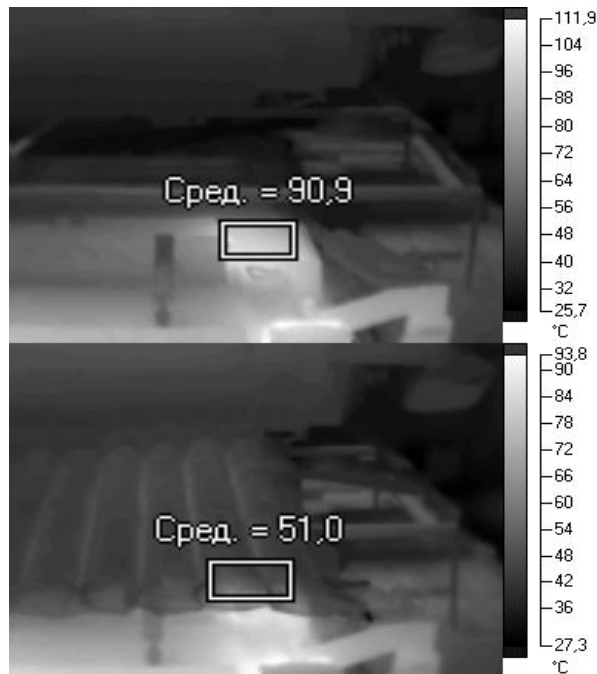


Рис. 11. Термограми коробки обвідного газоходу: зверху – без проточного теплового екрану; знизу – покритий тепловим екраном

Натуральний тепловий фон оточуючого середовища не є однорідним. Утворення плямистості об'єкту можливе шляхом використання властивості віддзеркалення. Вочевидь, у цьому випадку поверхня віддзеркалення не повинна мати плоску форму. Отримання випромінювання за рахунок віддзеркалення з неба (виключаючи сонячний напрям) дозволяє отримати навіть мінусову температуру (рис. 12). У цьому випадку можливо досягнути зниження середньої температури випромінювання об'єкту.

На основі цих досліджень була створена модель автоматичного маскуванню.

За її рахунок не тільки виключається необхідність залучення екіпажу, але й скорочується час на

маскуванню, забезпечується прийнятний доступ до техніки для її обслуговування (рис. 13).

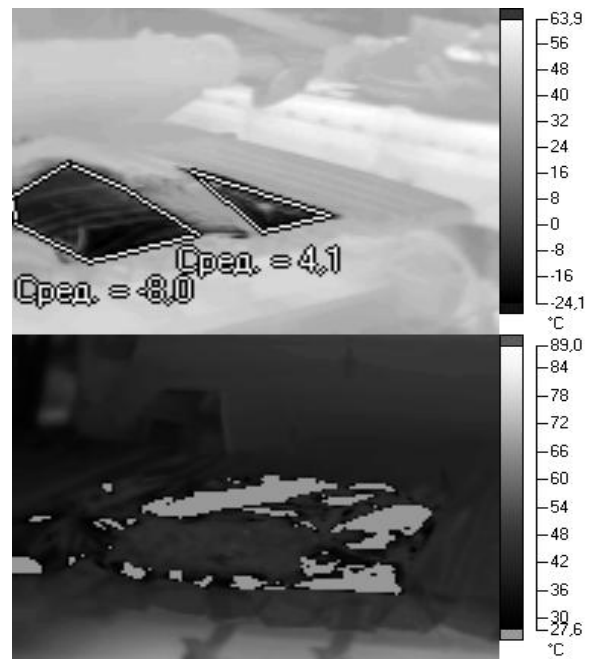


Рис. 12. Застосування властивостей віддзеркалення для зниження середньої температури та створення плямистості у інфрачервоному діапазоні

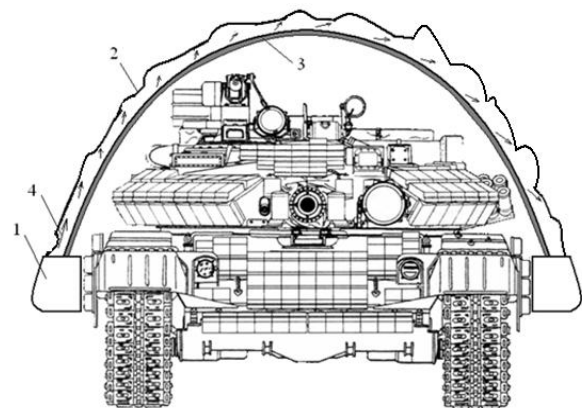


Рис. 13. Схема системи автоматичного маскуванню танку: 1 – контейнер; 2 – маскувальне покриття; 3 – каркас; 4 – потік повітря

Використання маскувальної сітки як покриття в системі автоматичного маскуванню забезпечить зниження помітності броньованого об'єкту у видимому, інфрачервоному та радіохвильовому діапазоні відповідно параметрів сітки. При цьому, створення потоку повітря між каркасом та сіткою призведе до додаткового зниження теплового контрасту у інфрачервоному діапазоні. Як нагнітач повітря доцільно використовувати існуючі прилади танка, наприклад вентилятор фільтровентиляційної установки. У разі потреби автоматичне згортання маскувального покриття у контейнер забезпечить повний сектор обстрілу та звичайний доступ до агрегатів танку.

Система автоматичного маскуванню, що схематично представлена на рис. 13, повинна забезпечити комплексне маскуванню об'єкту за рахунок:

- зміни форми об'єкту;
- вирівнювання температури об'єкту з температурою фону;
- створення «камуфльованого» окрасу у тепловому діапазоні;
- зміну характеристик у оптичному діапазоні,
- розсіювання радіохвильового випромінювання.

Система передбачає наявність автономного джерела стисненого повітря, зміна маскувальних характеристик відбувається як у ручному, так і автоматичному режимах.

До матеріалу, що використовується як маскувальне покриття висуваються наступні вимоги. Матеріали повинні мати належну міцність, витримувати в процесі руху вібраційні навантаження, стійкість до паливно-мастильних матеріалів, мати незначну усадку за період служби, стійкість до атмосферних впливів. В цілому до конструкції висувається вимога до утримання вітрового навантаження до 140 Н/м<sup>2</sup>.

### Висновки

На основі усіх розрахунків, математичної моделі теплової помітності об'єктів, яка дозволяє визначити відстані, за якими здійснюється виявлення та розпізнавання об'єктів, розроблена система маскуванню військових об'єктів яка дозволяє вирішити задачу приховання броньованих об'єктів від сучасних засобів комплексної розвідки у оптичному, тепловому, радіолокаційному діапазонах та протидії високоточної зброї, а також експериментально підтверджено доцільність використання проточного теплового екрану для зниження теплової помітності об'єктів.

### СОВРЕМЕННОЕ СРЕДСТВО МАСКИРОВКИ ВОЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ОПТИЧЕСКОМ, ТЕПЛОВОМ И РАДИОЛОКАЦИОННОМ ДИАПАЗОНАХ

А.В. Стаховский, К.В. Корытченко, Ю.И. Кистерный, А.Г. Синько, Д.Ю. Завизион

*В данной статье предлагается новый метод автоматической маскировки военной техники от современных приборов разведки в видимом оптическом, тепловом и радиолокационном диапазонах. Осуществлено экспериментальное термографическое исследование температурного состояния наружных элементов танка. Проведено исследование влияния проточного теплового экрана на температурный фон силовой установки. Исследовано применение свойств отражения для снижения средней температуры и создание пятнистости в инфракрасном диапазоне. Составленная математическая модель демаскирующих сигналов в тепловом диапазоне.*

**Ключевые слова:** система автоматической маскировки, экспериментальное исследование, математическая модель.

### MODERN TOOL CAMOUFLAGE MILITARY FACILITIES IN THE OPTICAL, THERMAL AND RADAR RANGE

O.V. Stakhovskiy, K.V. Koritchenko, Y.I. Kisterniy, O.G. Sin'ko, D.Y. Zavizion

*This paper proposed a new method for automatic masking of modern military hardware devices intelligence in the visible optical, thermal and radar ranges. Done experimental thermographic study of the temperature of the external elements of tank. The influence of heat flow on the screen background thermal power plant. Investigated the application properties of reflection to reduce the average temperature and a spot in the infrared. Consisting mathematical model decamouflage signals in thermal range.*

**Keywords:** automatic masking, experimental studies, mathematical model.

Подальшою перспективою у даному напрямку – є випробування та установка даної системи на танк.

### Список літератури

1. Яворский Б.М. Справочник по физике / Б.М. Яворский, А.А. Детлах. – М.: Наука, 1968. – 939 с.
2. Бекетов А.А. Маскировка действий подразделений сухопутных войск / А.А. Бекетов, А.П. Белоконов, С.Г. Чермашевцев. – М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1976. – 138 с.
3. Греченко Е.Н. Общая физика. Часть вторая / Е.Н. Греченко, В.Ф. Прохоров. № М.: Военное издательство министерства обороны СССР, 1971. – 439 с.
4. Вавилов С.И. Оптика в военном деле / С.И. Вавилов, М.В. Савостьянова. – 3-е изд. – М.: Министерство обороны СССР, 1948. – 457 с.
5. Клаудер Д.Р. Основы квантовой оптики / Д.Р. Клаудер, Э. Сударишан. – М.: Мир, 1970. – 128 с.
6. Фриш С.Э. Курс общей физики. Оптика. Т. 3 / С.Э. Фриш, А.В. Тиморева. – М.: ГИФМЛ, 1961. – 783 с.
7. Варфоломеев Н.Е. Оперативная внезапность и маскировка / Н.Е. Варфоломеев. – М.: Военное издательство, 1967. – 254 с.
8. Тактика / В.Г. Резниченко, И.Н. Воробьев, Н.Ф. Мирошниченко, А.А. Сидоренко. – М.: Военное издательство, 1987. – 496 с.
9. Агаев С.Х. Справочник офицера инженерных войск: справ. / С.Х. Агаев. – М.: Воениздат, 1989. – 432 с.
10. Балдин В.А. Теория и конструкция танка: учеб. / В.А. Балдин. – М.: Академия БТВ, 1975. – 473 с.
11. Березинин С.И. Методы вычислений / И.С. Березинин, Н.П. Жидков. – М.: Наука, 1966. – 581 с.
12. Буров С.С. Конструкция и расчет танков: учеб. / С.С. Буров. – М.: Изд-во акад. БТВ, 1973. – 602 с.
13. Бусленко Н.П. Моделирование производственных процессов / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1965. – 401 с.
14. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. – М.: Наука, 1978. – 468 с.

Надійшла до редколегії 30.01.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. О.М. Фоменко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.