

УДК 623.438.3

О. В. Стаховський, В. І. Горюнов, В. В. Афанасьєв, О. Г. Сінько

### ЗНИЖЕННЯ ПОМІТНОСТІ БРОНЕОБ'ЄКТІВ У ІНФРАЧЕРВОНОМУ ДІАПАЗОНІ

*У статті наведені результати експериментального термографічного дослідження температурного стану зовнішніх елементів бронеоб'єкта, що виникає під дією сонячного випромінювання; визначено вплив теплового екрана на температурний фон силової установки бронеоб'єкта; здійснено термографію відпрацьованих газів бронеоб'єкта у діапазоні інфрачервоного спектра випромінювання (8÷14 мкм).*

*К л ю ч о в і с л о в а:* бронеоб'єкт, тепловий екран, демаскуючі ознаки.

**Постановка проблеми.** Комплексне дослідження помітності військових машин здійснено у працях [1–3], у яких демаскуючі ознаки поділені на три групи: видові, ознаки діяльності і ознаки розташування. Одною із видових демаскуючих ознак бронеоб'єкта є його фізична здатність випромінювати енергію у тепловому діапазоні. Під час експлуатації бронеоб'єкта відбувається зміна стану оточуючого середовища, спричинена також і дією гарячих відпрацьованих газів силової установки. Цей вид діяльності відноситься до групи ознак діяльності. Таким чином, у тепловому діапазоні можуть мати місце видові демаскуючі ознаки та ознаки діяльності бронетехніки.

**Огляд останніх досліджень та публікацій.** У працях [2; 3] встановлено, що у ближньому інфрачервоному діапазоні видимість об'єктів визначається контрастом випромінювання, яке виникає у результаті різниці теплової випромінювальної здатності об'єкта і фону оточуючої місцевості. Підвищення температури бронетехніки відносно температури фону є наслідком низької ефективності перетворення енергії згоряння пального у механічну енергію. Так, коефіцієнт корисної дії поршневого двигунів не перевищує 36 %. При непрацюючому двигуні температурний контраст виникає в результаті різниці між поглинанням енергії сонця об'єктом та фоном. Для зниження теплового контрасту бронеоб'єктів у праці [3] запропоновано застосовувати проточний тепловий екран.

**Метою статті** є оприлюднення результатів експериментального термографічного дослідження температурного стану зовнішніх елементів бронеоб'єкта, що виникає під дією сонячного випромінювання; визначення впливу теплового екрана на температурний фон силової установки бронеоб'єкта; аналіз термографії відпрацьованих газів бронеоб'єкта у діапазоні інфрачервоного спектра випромінювання (8÷14 мкм).

**Виклад основного матеріалу.** Експериментальне обладнання та умови дослідження. Дослідження проведене на бронеоб'єкті з використанням такого 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, показчик температури охолоджуючої рідини бронеоб'єкта. Тепловізор Fluke Ti-40 (Свідоцтво про державну метрологічну атестацію № 05-4473 від 22 жовтня 2007 р.; Свідоцтво перевірки робочого засобу вимірювальної техніки № 4934 від 19 листопада 2009 р., видане ДП “Харківстандартметрологія”) мав параметри, наведені у таблиці.

Т а б л и ц я

*Технічна характеристика тепловізора Fluke Ti-40*

Параметр	Значення
Спектральний діапазон вимірювання	8 ÷ 14 мкм
Тип приймача випромінювання	Оксид ванадію V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Діапазон вимірювання температури	від –20 до +350 °С
Абсолютна похибка	± 2 °С
Відносна похибка	2 %
Роздільна здатність	0,15 °С
Розмір термограми	160×120 пікс.
Обмін даними з ПК	РС карта на 512 Мб

Термограми оброблялися у середовищі програмного забезпечення SmartView 1.8. Дана програма обробляє зображення на сучасному рівні. Так, враховуючи чутливість ока людини до кольорів, передбачене перетворення термограми у кольорове зображення з різними кольоровими палітрами: синій-червоний, розпечений метал, кольори мінливості, янтарний, янтарний обернений. Також передбачене відображення у чорно-білих тонах та їх негативі. Таким чином, сучасні засоби оброблення зображень дозволяють підвищити ймовірність знаходження броньованого об'єкта шляхом його відображення у найбільш чутливих для людського ока діапазонах [2; 3]. Передбачена програмою зміна шкали температурного діапазону підвищує точність відображення температурної шкали, що також може бути застосовано у техніці розпізнавання об'єкта. Вихідною точкою шкали температурного діапазону є роздільна здатність приймача за температурою, яка у широко використовуваних тепловізорах вже перейшла межу 0,1 °С.

У процесі дослідження вимірювання виконували у діапазоні калібрування від -20 до +150 °С.

Тверді тіла мають суцільний спектр випромінювання, а для газоподібного середовища характерним є спектр випромінювання з великим числом смуг невеликої ширини. Частіш за все зовнішні елементи броньованих об'єктів за інтенсивністю теплового випромінювання є сірими тілами, тобто їх коефіцієнт випромінювання менше одиниці. З урахуванням лакофарбового покриття коефіцієнт випромінювання поверхні броньованих об'єктів складає близько 0,9. Забруднення поверхні, старіння покриття збільшують значення коефіцієнта випромінювання. У програмі для тепловізора Fluke Ti-40 передбачена зміна коефіцієнта випромінювання, що дозволяє більш точно визначати температуру об'єкта вимірювання. Наприклад, для сталі з грубою поверхнею коефіцієнт випромінювання дорівнює 0,95; для емалі – 0,9; для скла – 0,92; для води – 0,98; для оцинкованого заліза – 0,28. Змінюючи коефіцієнт випромінювання, можна суттєво змінювати температуру об'єкта, яку фіксує тепловізор. Враховуючи те, що пошук броньованих об'єктів відбуватиметься на фоні місцевості з встановленим усередненим значенням коефіцієнта випромінювання місцевості, під час досліджень він уточнювався шляхом вимірювань контактним методом за допомогою термопари. Вимірювання температури стовбурів дерев та листяного покриву показало, що в умовах проведених досліджень середній коефіцієнт випромінювання оточуючого середовища дорівнював 0,95. Середній коефіцієнт випромінювання поверхні броньованого об'єкта, покритого лакофарбовим шаром, у експерименті дорівнював 0,93.

Програма забезпечує автоматичний пошук найбільш гарячої та найбільш холодної точок на зображенні. Також можливо отримати усереднене, мінімальне та максимальне значення температури у вибраному контурі бажаної форми або вздовж лінії на отриманому зображенні, що є доказом технічної можливості автоматичного пошуку та розпізнавання броньованих об'єктів.

Усереднене значення температури поверхні об'єкта за його площею визначається, виходячи з роздільної здатності матриці приймача з пристроєм відображення. Наприклад, на отриманому зображенні повністю відображається поверхня розміром 1,6×1,2 м<sup>2</sup>. За роздільної здатності пристрою 160×120 пікселів у цьому випадку отримуємо на зображенні усереднені значення температури для ділянок поверхні розмірами 1×1 см<sup>2</sup>. При цьому слід урахувати згладжування градієнтів температури під час програмного оброблення зображення, наприклад, масштабуванням з бікубічною інтерполяцією. Таким чином, вимоги до засобів маскування необхідно визначати з урахуванням роздільної здатності перспективних зразків пристроїв спостереження інфрачервоного діапазону, кратності цих пристроїв та оптимальної відстані, на якій доцільно здійснювати маскування.

Нагнітач фільтровентиляційної установки системи колективного захисту, що застосовувався для створення потоку повітря у тепловому екрані, мав продуктивність 396 м<sup>3</sup>/год за умови опору на виході 40 мм вод. ст. За температури зовнішнього повітря +32 °С температура повітря на виході з нагнітача склала +38 °С. Зростання температури повітря у цьому випадку є наслідком тепловідведення від розігрітих елементів двигуна нагнітача. Такий нагнітач для теплового маскування проточним тепловим екраном не є оптимальним. Доцільно розвести потоки повітря, спрямовані на продувку теплового екрана, і ті, що спрямовані на охолодження двигуна нагнітача.

Цифрова фотокамера Canon PowerShot A530 застосовувалась у режимі зйомки з роздільною здатністю 1600×1200 пікселів.

Проточний тепловий екран було виготовлено з поліетиленової плівки товщиною 125 мкм (див. рис. 1). Між повітряними каналами екрана виконані технологічні шви методом зварювання поліетиленової плівки.

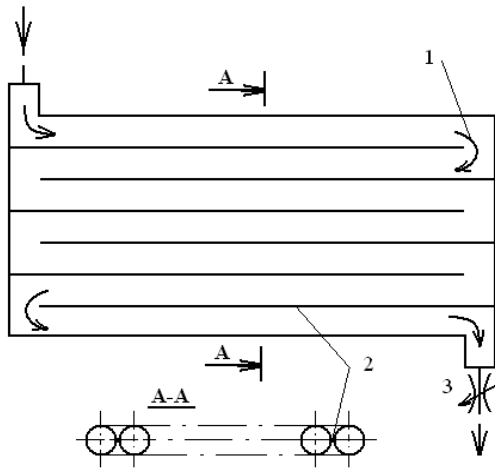


Рис. 1. Схема устрою проточного теплового екрана:  
1 – напрям руху повітря; 2 – роздільний шов;  
3 – регулятор площини перетину вихідного отвору



Рис. 2. Розміщення проточного теплового екрана над бронеоб'єктом



Рис. 3. Оптичне та термографічне зображення частини бронеоб'єкта, що знаходилася у тіні

Результати вимірювань показали, що масивні елементи конструкції бронеоб'єкта, які перебували тривалий час у тіні, мали температуру на  $1 \div 3$  °C меншу, ніж температура повітря. Температура не масивних елементів у тіні дорівнювала температурі повітря. Окремі поверхні (коробки для зарядів активної броні) внаслідок віддзеркалення знижували середнє значення температури відповідних ділянок. Значення температури окремих ділянок тонкостінних теплопровідних елементів після потрапляння сонячного випромінювання на них набувала вся поверхня таких елементів. Наприклад,

Середня ширина шва дорівнювала 1 см. Регулятор 3 площини перетину вихідного отвору застосовувався для збільшення опору повітряному струменю з метою збільшення тиску повітря всередині теплового екрана. У надутому стані товщина теплового екрана складала 10 см, а розміри дорівнювали  $2,2 \times 1,5$  м<sup>2</sup>.

Тепловий екран розміщувався на висоті  $15 \div 20$  см над силовою установкою бронеоб'єкта (рис. 2). Екран складався з трьох секторів з різними властивостями віддзеркалення, поглинання та пропускання теплового випромінювання.

Дослідження температурного стану зовнішніх елементів бронеоб'єкта під дією сонячного випромінювання. Вимірювання температурного стану зовнішніх елементів бронеоб'єкта виконувалося у сонячну безхмарну погоду 15 липня 2010 р. у м. Харкові. Час термографічної зйомки:  $12.00 \div 13.00$ . Температура повітря дорівнювала +32 °C. Бронеоб'єкт було встановлено на рівній горизонтальній ділянці з бетонним покриттям. Місце вибране таким чином, що передня частина бронеоб'єкта знаходилася у тіні дерев, а на корму падало сонячне випромінювання.

Аналізу температурного стану бронеоб'єкта у натурних умовах підлягали ті його зовнішні елементи, що перебували безперервно у тіні (рис. 3) або на сонці не менше, ніж 1 годину. Також визначався час зростання температури окремих елементів, що були під дією сонячного випромінювання.

алюмінієвий термокожух гармати мав температуру майже на всіх ділянках, у тому числі тих, що знаходилися у тіні, на  $5 \div 10$  °С вищу, ніж температура повітря. При цьому лише близько 10 % поверхні кожуха перебувало під сонцем. Середній час зростання температури надгусеничних полок на 5 °С після потрапляння на них сонячного випромінювання склав не більше 5 хв. Переведення результатів вимірювання люксометром у потужність випромінювання показало, що ця величина складала під час вимірювань  $490 \pm 25$  Вт/м<sup>2</sup> [4; 5]. Температура вітру під час вимірювань не перевищувала 0,5 м/с. Слід зазначити, що температура зовнішнього повітря під час вимірювань зросла не більше, ніж на 0,3 °С.

Температура тонкостінних металевих зовнішніх елементів конструкції броньованого об'єкта, що тривалий час перебували на сонці, на  $25 \div 30$  °С перевищувала температуру оточуючого повітря (рис. 4). Температура масивних елементів конструкції на момент вимірювань у середньому на 10 °С була більшою, ніж температура повітря.

Таким чином, дослідження температурного стану зовнішніх елементів броньованого об'єкта під дією сонячного випромінювання показали, що броньований об'єкт у сонячну погоду легко розпізнати, використовуючи засоби спостереження у діапазоні інфрачервоного спектра випромінювання  $8 \div 14$  мкм.

Дослідження впливу теплового екрана на температурний фон силової установки броньованого об'єкта. Результатом застосування на броньованих об'єктах ежекційної системи охолодження було суттєве зниження температури зовнішніх елементів силової установки та відповідне зниження середньої потужності випромінювання броньованого об'єкта у тепловому діапазоні. Проте необхідно пам'ятати, що розвиток інфрачервоних засобів спостереження у напрямку збільшення температурної чутливості та геометричної роздільної здатності потребує подальшого удосконалення засобів протидії.

Для дослідження впливу теплового екрана на температурний фон силової установки броньованого об'єкта екран було розміщено таким чином, щоб з напрямку термографічної зйомки він закривав високотемпературні ділянки, розігріті до високої температури працюючим двигуном та сонячним випромінюванням. Нагрівання броньованого об'єкта здійснено на холостому ходу до температури охолоджуючої рідини двигуна, що

дорівнювала  $100 \pm 5$  °С. Час розігрівання двигуна склав близько 15 хв. Обвідний газохід було виключено. Після розігрівання двигуна термограма кормової частини броньованого об'єкта мала вигляд, представлений на рис. 5.

Після виключення двигуна середня температура великих за площею ділянок над радіатором знижувалась до температури, що практично дорівнювала температурі охолоджуючої рідини. В області ежектора температура зовнішніх елементів перевищувала температуру повітря у середньому на 20 °С. Температура ділянок поверхні поблизу обвідного газоходу складала  $115 \pm 5$  °С. Броньова решітка після виключення двигуна мала температуру  $95 \pm 5$  °С. Таким чином, працююча силова установка броньованого об'єкта типу Т-64 у погодних умовах, подібних до умов дослідження, створюватиме суттєвий температурний контраст броньованого об'єкта з оточуючим середовищем, особливо у проєкціях зверху та з корми (див. рис. 6). Це значно підвищує ймовірність його розпізнавання з повітря та ураження повітряними засобами, оснащеними сучасними головками самонаведення.



Рис. 4. Термограма лівої частини корми броньованого об'єкта, сформована під дією сонячного випромінювання

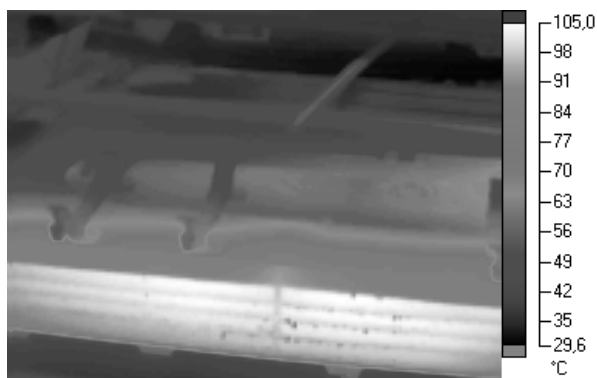


Рис. 5. Термограма кормової частини броньованого об'єкта, на яку потрапляло сонячне випромінювання, після розігрівання двигуна

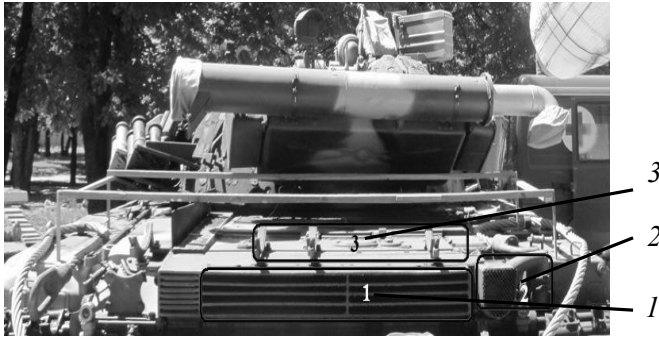


Рис. 6. Ділянки підвищеної температури елементів броньованого об'єкта за результатами дослідження:

1 –  $(90 \pm 5)^\circ\text{C}$ ; 2 –  $(120 \pm 10)^\circ\text{C}$ ; 3 –  $(60 \pm 5)^\circ\text{C}$

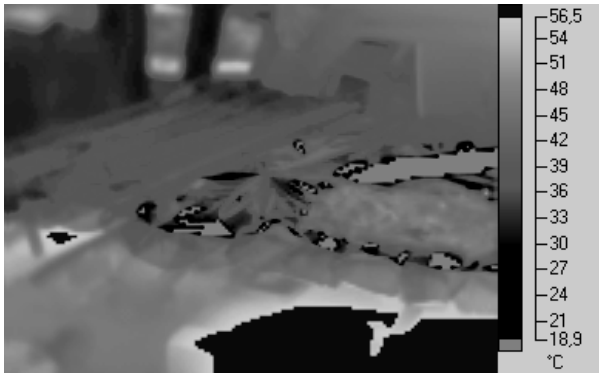


Рис. 7. Термографічне зображення кормової частини броньованого об'єкта, що вкрита проточним тепловим екраном

Після встановлення проточного теплового екрана відбулося суттєве зниження температури фону вкритого об'єкта (рис. 7). Значимо, що температура повітря, яке продувалося, зростала з  $38^\circ\text{C}$  на вході екрана до  $43 \div 44^\circ\text{C}$  на виході з нього. Зростання температури впливало на температурний фон різних ділянок теплового екрана. Також значно впливало на температурний фон екрана віддзеркалення. Середня температура екрана на ділянках із незначним віддзеркаленням практично дорівнювала температурі повітря. Незначне підвищення середньої температури (не більше, ніж на  $1^\circ\text{C}$ ), порівняно з температурою повітря, що продувалось, спричинене проходженням частини теплового випромінювання через технологічні смуги екрана.

Детальний розгляд зміни температурного фону свідчить про те, що проточний тепловий екран може бути ефективним засобом зменшення теплового контрасту броньованих об'єктів, які знаходяться під дією сонячного випромінювання (рис. 8).

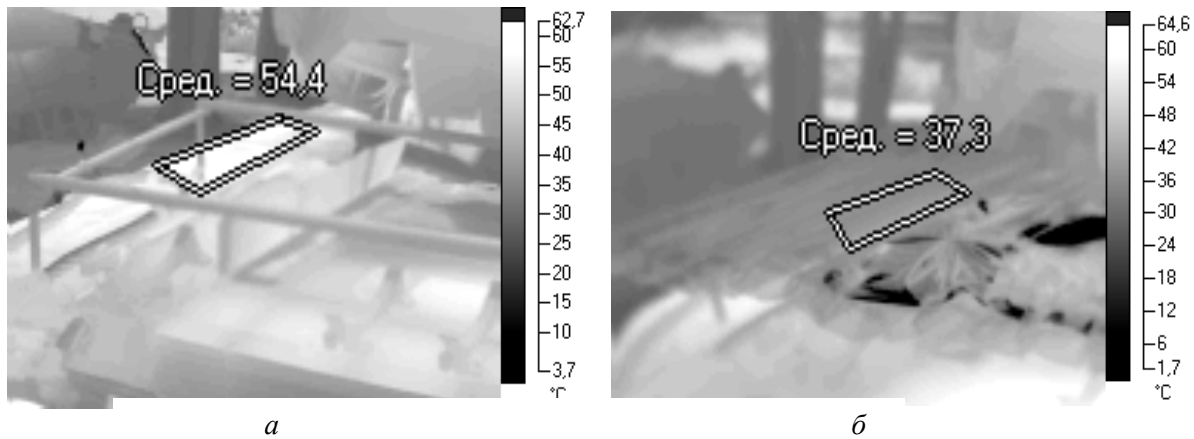


Рис. 8. Термограми елементів броньованого об'єкта, розігрітих сонячним випромінюванням: а – без теплового екрана; б – з проточним тепловим екраном

У наведеному прикладі температуру випромінювання лівого заднього бака, середня температура якого під дією сонця була  $54,4^\circ\text{C}$ , знижено за екраном до  $37,3^\circ\text{C}$ . Зниження температури повітря на вході у тепловий екран спричинило б зниження температури на термографічному зображенні.

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

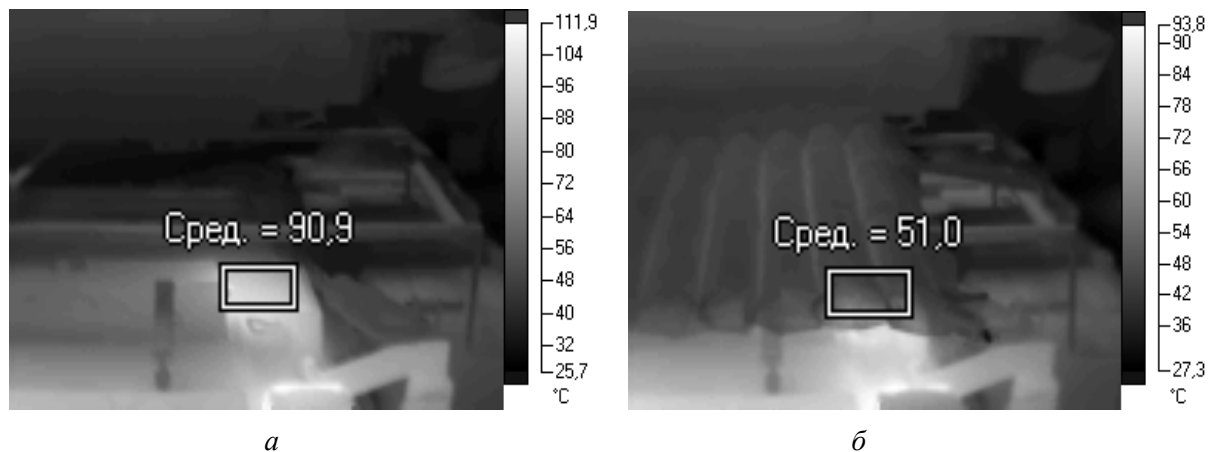


Рис. 9. Термограми коробки обвідного газоходу:  
а – без проточного теплового екрана; б – з тепловим екраном

Натуральний тепловий фон оточуючого середовища не є однорідним. Утворення плямистості об'єкта можливе шляхом використання властивості віддзеркалення, але поверхня віддзеркалення не повинна бути плоскої форми. Отримання випромінювання за рахунок віддзеркалення з неба дозволяє отримати навіть мінусову температуру (рис. 10). У такому випадку можливо досягти зниження середньої температури випромінювання об'єкта.

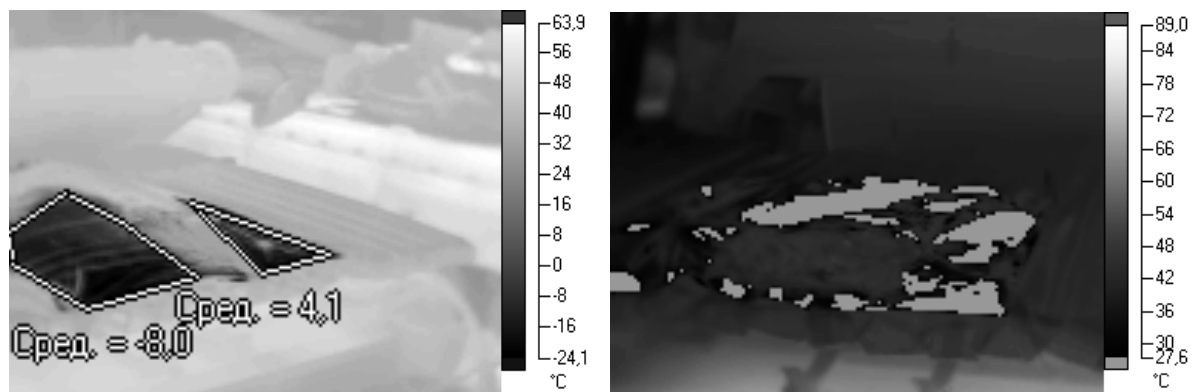


Рис. 10. Застосування властивостей віддзеркалення для зниження середньої температури та створення плямистості у інфрачервоному діапазоні

## Висновки

Аналіз теплового стану зовнішніх елементів броньованого об'єкта показує, що броньований об'єкт у реальних умовах застосування матиме суттєвий тепловий контраст з оточуючою місцевістю, що різко збільшує його помітність у інфрачервоному діапазоні. Зниження теплового контрасту машини потребує розроблення спеціальних засобів.

Проточний тепловий екран може бути використаний як ефективний засіб зниження теплового контрасту броньованого об'єкта, який знаходиться під дією сонячного випромінювання або з включеною силовою установкою. Визначено, що зниження теплової помітності броньованих об'єктів можна досягти шляхом застосування камуфльованого проточного теплового екрана, за яким зовнішня температура об'єкта не більше, ніж на 5–10 К відрізняється від температури фону.

## Список використаних джерел

1. Murray, S. B. Fuel-air explosives / S. B. Murray // Proceeding of Meeting the challenge defense research at Suffield. – 2003. – P. 60–73.
2. Alekseev, V. I. Direct initiation of detonation in unconfined gasoline sprays / V. I. Alekseev,

S. B. Dorofeev, V. P. Sidorov // Shock waves. – 1996. – № 6. – P. 67–71.

3. Стаховський, О. В. Вирішення танковими (механізованими) підрозділами задачі маскування [Текст] / О. В. Стаховський // Системи озброєння і військова техніка : зб. наук. пр. – Х. : ХУПС, 2010. – № 1(21). – С. 87–90.

4. Гуревич, М. М. Фотометрия (Теория, методы и приборы) [Текст] / М. М. Гуревич. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. – 272 с.

5. Жуков, А. Г. Тепловизионные приборы и их применение [Текст] / А. Г. Жуков, А. М. Горюнов, А. А. Кальфа. – М. : Радио и связь, 1983. – 157 с.

*Стаття надійшла до редакції 10.12.2012 р.*