

УДК 623.365

О.В. Стаховський

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО СТАНУ ЗОВНІШНІХ ВУЗЛІВ ТАНКУ Т-64Б

Наведена методика експериментального термографічного дослідження температурного стану зовнішніх елементів танка, що виникає під дією сонячного випромінювання та при роботі двигуна. Визначений вплив теплового екрану на температурний фон силової установки танка, здійснено термографію відпрацьованих газів танка у діапазоні інфрачервоного спектру випромінювання ( $8\div 14$  мкм).

**Ключові слова:** термографічне дослідження, температурний фон, проточний тепловий екран, зовнішні елементи танка.

### Вступ

**Аналіз літератури.** Демаскуючі признаки, як правило, поділяються на три групи: видові, признаки діяльності та розташування(1). Одним із видових демаскуючих ознак броньованого об'єкта є його фізична здатність випромінювати енергію у тепловому діапазоні(2). Під час експлуатації броньованого об'єкта відбувається зміна стану оточуючого середовища, яка, в тому числі, викликана дією гарячих відпрацьованих газів силової установки, гарячих порохових газів на оточуюче повітря(3). Цей вид діяльності відноситься до групи признаку діяльності.

Таким чином, у тепловому діапазоні можуть мати місце видові демаскуючі ознаки та признаки діяльності бронетехніки.

Встановлено (4), що у ближньому інфрачервоному діапазоні видимість об'єктів визначається контрастом випромінювання, що виникає у результаті різниці теплової випромінювальної здатності об'єкта і фону оточуючої місцевості. Підвищення температури бронетехніки по відношенню до температури фону викликане низькою ефективністю перетворення енергії згоряння палива в механічну.

Так, коефіцієнт корисної дії поршневого двигуна не перевищує 36%. При непрацюючому двигуні температурний контраст виникає в результаті різниці у поглинанні енергії сонця об'єктом та фоном.

Для зниження теплового контрасту броньованих об'єктів може бути використаний проточний тепловий екран.

**Метою** статті є методика експериментального термографічного дослідження температурного стану зовнішніх елементів танка, що виникає під дією сонячного випромінювання та при роботі двигуна. Для цього визначено вплив теплового екрану на температурний фон силової установки танка, здійснено термографію відпрацьованих газів танка у діапазоні інфрачервоного спектру випромінювання ( $8\div 14$  мкм).

### Основна частина

Дослідження проводилось на танку типу Т-64Б. Для проведення досліджень залучалось наступне обладнання: тепловізор Fluke Ti-40, мультиметр DT-838 з термодіапазоном, 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 повірки робочого засобу вимірювальної техніки № 4934 від 19.11.2009 видане ДП «Харківстандартметрологією») має наступні характеристики (табл. 1).

Таблиця 1

Технічна характеристика  
тепловізора Fluke Ti-40

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

Термограми оброблялися у середовищі програмного забезпечення SmartView 1.8. Дана про-

грама дозволяє здійснити обробку зображення на сучасному рівні. Так, враховуючи кольорову чутливість ока людини передбачено перетворення термограми у кольорове зображення з різною кольоровою палітрою: синій-красний, 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. Вочевидь, вихідною точкою для шкали температурного діапазону є роздільна здатність приймача за температурою, яка у широко розповсюджених тепловізорах вже перейшла межу  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

Тверді тіла мають суцільний спектр випромінювання, а для газоподібного середовища є характерним спектр випромінювання з великим числом смуг невеликої ширини (5). Як правило, зовнішні елементи бронеоб'єктів за інтенсивністю теплового випромінювання є сірими тілами, тобто мають коефіцієнт випромінювання менше одиниці. За наявним лакофарбовим покриттям коефіцієнт випромінювання поверхні танків складає близько 0,9. Відмічається, що забруднення поверхні, старіння покриття призводить до зростання коефіцієнта випромінювання. Програмно до тепловізору Fluke Ti-40 передбачено зміну коефіцієнту випромінювання, що дозволяє шляхом його правильного встановлення більш точно визначати температуру об'єкту 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. Зміна коефіцієнту випромінювання призводить до суттєвої зміни температури, що відображається. Враховуючи те, що пошук бронеоб'єктів буде відбуватися на фоні місцевості з відповідно встановленим усередненим значенням коефіцієнту випромінювання місцевості, то під час досліджень цей коефіцієнт уточнювався шляхом вимірювань контактним методом за допомогою термопари. Вимірювання температури стволів дерев та листвяного покриття показав, що в умовах проведених досліджень середній коефіцієнт випромінювання оточуючого середовища дорівнював 0,95. Середній коефіцієнт випромінювання поверхні танка, що вкрита лакофарбовим покриттям, у експерименті дорівнював 0,93. Вочевидь, в процесі експлуатації машини із-за старіння покриття та його забруднення коефіцієнт випромінювання елементів зовнішньої поверхні танка може змінюватися.

Шляхом програмної обробки є можливим автоматичний пошук найбільш гарячої та найбільш холодної точки на зображенні. Можливе отримання усередненого, мінімального та максимального значень температури у вибраному контурі бажаної форми, або вздовж лінії, на отриманому зображенні. Це свідчить про технічну можливість автоматичного пошуку та розпізнавання бронеоб'єктів.

Усереднення значення температури поверхні об'єкту за його площею визначається виходячи з роздільної здатності матриці приймача з пристроєм відображення. Наприклад, припустимо, що на отриманому зображенні повністю відображається поверхня, яка має розмір  $1,6 \times 1,2 \text{ м}^2$ . За роздільної здатності прибору  $160 \times 120$  пікселів у цьому випадку отримуємо, що на зображенні відображені усереднені значення температури ділянок поверхні за розмірами  $1 \times 1 \text{ см}^2$ . При цьому слід враховувати згладжування градієнтів температури під час програмної обробки зображення, наприклад, масштабуванням з бікубічною інтерполяцією. Таким чином, вимоги до засобів маскувння необхідно визначати, передбачаючи роздільну здатність перспективних зразків приборів спостереження інфрачервоного діапазону, кратності цих приборів та оптимальної відстані, на якій доцільно здійснювати маскувння.

Нагнітач фільтровентиляційної установки системи колективного захисту, що застосовувався для створення потоку повітря у тепловому екрані, мав продуктивність  $396 \text{ м}^3/\text{год}$  при опорі на виході 40 мм водяного стовпа. За температури зовнішнього повітря  $32^{\circ}\text{C}$ , температура повітря на виході з нагнітача склала  $38^{\circ}\text{C}$ . Зростання температури повітря у цьому випадку викликано у результаті тепловідведення від розігрітих елементів двигуна нагнітача. Таке виконання нагнітача для вирішення задачі теплового маскувння проточним тепловим екраном не є оптимальним. Доцільно розведення потоків повітря, що спрямовані на продувку теплового екрану та на охолодження двигуна нагнітача.

Цифрова фотокамера Canon PowerShot A530 застосовувалась в режимі зйомки з роздільною здатністю  $1600 \times 1200$  пікселів.

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

Тепловий екран розміщувався на висоті  $15 \pm 20$  см над силовою установкою танка (рис. 1). Екран

мав три сектори, що мали різні властивості щодо віддзеркалення, поглинання та пропускання теплового випромінювання.

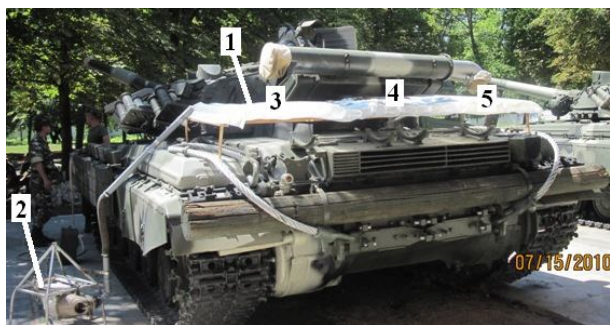


Рис. 1. Розміщення проточного теплового екрану над танком: 1 – тепловий екран, 2 – нагнітач повітря, 3 – ділянка екрану без покриття, 4 – ділянка екрану з властивостями віддзеркалення, 5 – ділянка екрану, що зафарбована у білий колір

Вимірювання теплового стану зовнішніх елементів танка типу Т-64Б здійснювалося у сонячну безхмарну погоду. Час термографічної зйомки – 12.00÷13.00 15.07.2010 р. у м. Харкові. Температура повітря дорівнювала  $+32^{\circ}\text{C}$ . Танк було встановлено на рівній горизонтальній ділянці з бетонним покриттям. Місце розташування танка було вибрано таким чином, що передня частина танка була під тінню дерев, а на корму падало сонячне випромінювання. Аналізу температурного стану танка у натурних умовах підлягали ті зовнішні елементи танка, що перебували безперервно під тінню, або на сонці не менше, ніж 1 годину. Також визначався час зростання температури окремих елементів, що попадали під дію сонячного випромінювання (рис. 2).

Обробка результатів вимірювань показала, що масивні елементи конструкції танка, що перебували тривалий час в тіні, мали температуру на  $1 \div 3^{\circ}\text{C}$  меншу, ніж температура повітря. Температура немасивних елементів в тіні дорівнювала температурі повітря. Окремі поверхні (коробки під заряди активної броні) за рахунок віддзеркалення знижували середнє значення температури відповідних ділянок. Температура тонкостінних теплопровідних елементів, після потрапляння сонячного випромінювання на окремі ділянки, розповсюджувалася по всій поверхні такого матеріалу. Наприклад, термокожух гармати, що виконаний з алюмінію, мав температуру майже на всіх ділянках, в тому числі що розташовувалися в тіні, на  $5 \div 10^{\circ}\text{C}$  вищу, ніж температура повітря. При цьому, лише близько 10% кожуху перебувало під сонцем. Середній час зростання температури надгусеничних полок після потрапляння сонячного випромінювання на  $5^{\circ}\text{C}$  склав не більше, ніж 5 хвилин. Перерахунок результатів вимірювання люксметром у потужність випромінювання показав,

що ця величина складала під час вимірювань  $490 \pm 25 \text{ Вт/м}^2$ . Температура вітру під час вимірювань не перевищувала  $0,5 \text{ м/с}$ . Слід зазначити, що температура зовнішнього повітря під час вимірювань зросла не більше, ніж на  $0,3^{\circ}\text{C}$ .



Рис. 2. Оптичне та термографічне зображення танка спереду в частині, що знаходилась під тінню

Температура тонкостінних металевих зовнішніх елементів конструкції танка, що тривалий час перебувала на сонці, на  $25 \div 30^{\circ}\text{C}$  перевищувала температуру оточуючого повітря (рис. 3). Масивні елементи конструкції на момент вимірювань мали температуру, що у середньому на  $10^{\circ}\text{C}$  була більшою температури повітря.



Рис. 3. Термограма корми танка зліва, що сформована під дією сонячного випромінювання

Таким чином, дослідження температурного стану зовнішніх елементів танка, що виникає під дією со-

нячного випромінювання, показали, що бронеоб'єкт у сонячну погоду легко розпізнати, використовуючи засоби спостереження у діапазоні інфрачервоного спектру випромінювання ( $8\div 14$  мкм).

### Дослідження впливу теплового екрану на температурний фон силовій установці танка

Відомо, що за рахунок використання на танках типу Т-64, Т-80УД, БМ «Булат» ежекційної системи охолодження було досягнуто суттєве зниження температури зовнішніх елементів силовій установці танка з відповідним зниженням середньої потужності випромінювання танка у тепловому діапазоні. Але розвиток інфрачервоних засобів спостереження у напрямку збільшення температурної чутливості та геометричної роздільної здатності потребує подальшого удосконалення засобів протидії.

Для дослідження впливу теплового екрану на температурний фон силовій установці 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. Нагрівання танка було здійснено на холостому ходу до температури охолоджуючої рідини двигуна, що дорівнювала  $100 \pm 5$  °С. 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 (рис. 4).

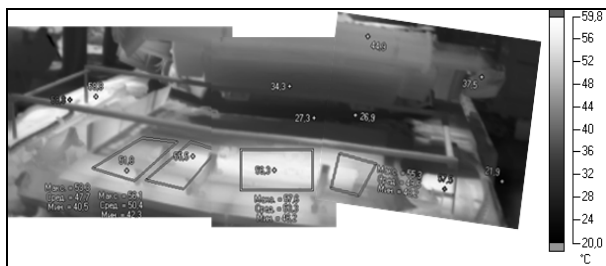


Рис. 4. Термограма кормової частини танка після прогрівання двигуна та на яку падає сонячне випромінювання

Після виключення 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 °С.

Температура ділянок поверхні поблизу обвідного газоходу складала близько  $115 \pm 5$  °С. Броньова решітка після зупинки двигуна мала температуру близько  $95 \pm 5$  °С. Таким чином, за умови

роботи силовій установці танка типу Т-64 за погодних умов, подібних умовам дослідження, він буде мати суттєвий температурний контраст з оточуючим середовищем, особливо у проекціях зверху та з корми (рис. 5). Це призводить до суттєвого підвищення ймовірності розпізнавання з повітря та ураження танка повітряними засобами, що оснащені сучасними головками самонаведення за цих погодних умов.



Рис. 5. Розподіл підвищеної температури елементів танка за ділянками під час дослідження: 1 –  $90 \pm 5$  °С, 2 –  $120 \pm 10$  °С, 3 –  $60 \pm 5$  °С.

Після розміщення проточного теплового екрану відбулося суттєве зниження температури фону покритого об'єкту. Слід зазначити, що температура повітря, яке продувалося зростала з температури 38 °С на вході до екрану до температури  $43 \div 44$  °С на виході з екрану. Зростання температури повітря впливало на температурний фон різних ділянок теплового екрану. Значний вплив на температурний фон екрану здійснювала властивість віддзеркалення. Середня температура екрану на ділянках, де було незначне віддзеркалення, практично дорівнювалася температурі повітря. Незначне підвищення середньої температури (не більше, ніж на 1 °С) над температурою повітря, що продувалось, викликане проходженням частини теплового випромінювання через технологічні смуги екрану.

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

Так, у наведеному прикладі (рис. 6), температура випромінювання лівого заднього правого баку, який прийняв середню температуру під дією сонця 54,4 °С було знижено за екраном до 37,3 °С. 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 °С за тепловим екраном була знижена до 51 °С (рис. 7).

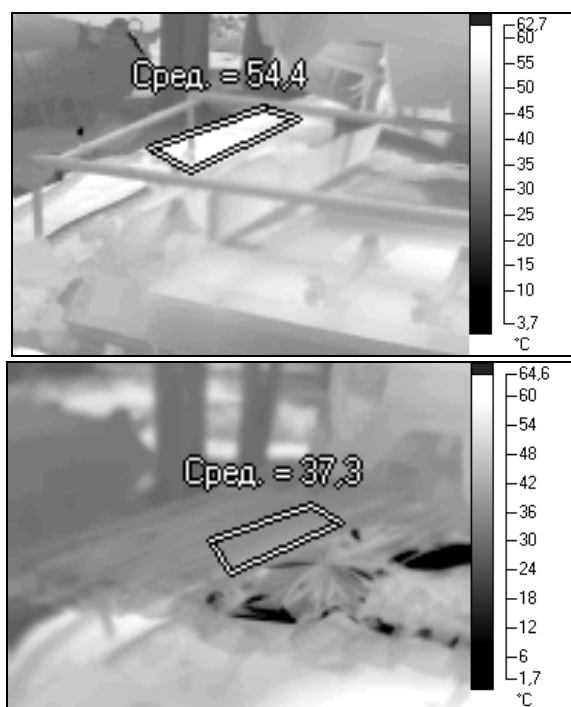


Рис. 6. Порівняння термограм елементів танка, що розігріті під сонячним випромінюванням, без теплового екрану (зверху) та з проточним тепловим екраном (знизу)

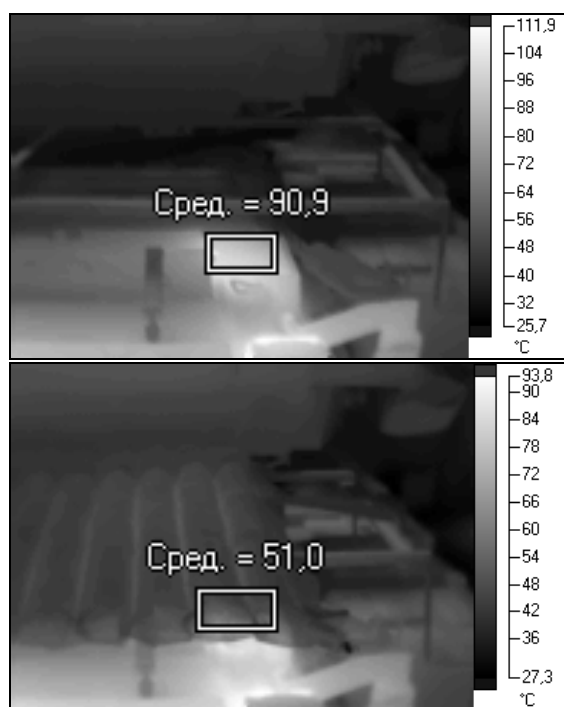


Рис. 7. Термограми коробки обвідного газоходу: зверху – без проточного теплового екрану, знизу – покритий тепловим екраном

Фарбування поліетиленової плівки не призвело до видимого зниження якості теплового маскування екраном. Це дозволяє припустити, що проточний тепловий екран може бути пофарбований у камуфляжний колір у видимому діапазоні без зміни властивостей ефективності екранування.

### Висновки

Проведені експериментальні дослідження дозволяють припустити принципову можливість здійснення охолодження бронеоб'єкту без відображення його теплового сліду. Тобто, проточному тепловому екрану достатньо надати функцію зміни температурного фону об'єкту, а відведення теплової енергії від елементів танка потрібно здійснювати з повітрям, що витрачає машина, та яке продувається під тепловим екраном.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО СОСТОЯНИЯ ВНЕШНИХ УЗЛОВ ТАНКА Т-64В

О.В. Стаховский

Приведена методика экспериментального термографического исследования температурного состояния внешних элементов танка, которое изменяется под действием солнечного излучения и при работе двигателя. Определено влияние теплового экрана на температурный фон силовой установки танка, осуществлена термография отработанных газов танка в диапазоне инфракрасного спектра излучения ( $8 \div 14$  мкм).

**Ключевые слова:** термографическое исследование, температурный фон, проточный тепловой экран, внешние элементы танка.

### EXPERIMENTAL STUDY OF TEMPERATURE STATE EXTERNAL NODES OF THE TANK T-64B

O.V. Stakhovsky

The technique for the experimental study of thermographic temperature state of external elements of the tank, which varies under the influence of solar radiation and with the engine running. The effect of temperature on the heat shield background propulsion tank carried thermography exhaust gas tank in the range of the infrared spectrum of radiation ( $8 \div 14$  microns).

**Keywords:** thermographic study, background temperature, flow heat shield, the external elements of the tank.

### Список літератури

1. Бронетанковое вооружение / Ю.Е. Еретин, А.П. Меланчик, С.П. Шаврин, В.С. Дорогин, В.С. Вознюк, С.В. Дорогин. – М.: Военное издательство, 1991. – 575 с.
2. Суворов С. Танк Т-64 / С. Суворов // Техника и вооружение. – 2003. – № 9, 10, 11, 12.
3. Толочков А.А. Теория лафетов артиллерийских установок / А.А. Толочков. – М.: Оборонгиз, 1960. – 345 с.
4. Орлов В.А. Приборы наблюдения ночью и при ограниченной видимости / В.А. Орлов, В.И. Петров. – М.: Воениздат, 1989. – 254 с.
5. Жуков А.Г. Тепловизионные приборы и их применение / А.Г. Жуков, А.М. Горюнов, А.А. Кальфа. – М.: Радио и связь, 1983. – 157 с.

Надійшла до редколегії 21.05.2014

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