PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN CỰ LY HOẠT ĐỘNG CỦA THIẾT BỊ ẢNH NHIỆT DỰA TRÊN ĐỘ CHÊNH LỆCH NHIỆT TỐI THIỂU

Nguyễn Ngọc Sơn[1], Phạm Đình Quý[1*], Vũ Thanh Bình[2]

Tóm tắt: *Các thiết bị ảnh nhiệt ngày càng được sử dụng rộng rãi trong quân sự cho các thiết bị ngắm bắn cũng như quan sát. Có nhiều phương pháp để tính toán cũng như đánh giá cự ly quan sát của các thiết bị ảnh nhiệt, cả phương pháp lý thuyết lẫn quan sát thực tế với những ưu nhược điểm khác nhau. Bài báo đưa ra phương pháp tính toán cự ly hoạt động của thiết bị ảnh nhiệt: Cự ly phát hiện, nhận dạng và phân biệt dựa trên độ chênh lệch nhiệt tối thiểu (MRTD) được đo trong phòng thí nghiệm theo tiêu chuẩn STANAG-4347 của NATO. Phương pháp được áp dụng để tính toán cự ly quan sát cho kênh ảnh nhiệt của kính ngắm pháo thủ hỗn hợp ngày đêm dùng cho xe tăng T-54B (T55).*

Từ khóa: Ảnh nhiệt; Cự ly hoạt động; MRTD.

1. MỞ ĐẦU

Ở nước ta đặc biệt là trong quân đội các thiết bị ảnh nhiệt ngày càng được sử dụng rộng rãi. Các thiết bị ảnh nhiệt có nhiều ưu điểm vượt trội trong quan sát so với các thiết bị khác là sử dụng được cả ban ngày và ban đêm, sử dụng trong điều kiện tối hoàn toàn, chỉ cần có nhiệt phát ra từ mục tiêu, khả năng phát hiện mục tiêu nổi trội hơn các công nghệ khác, không bị lóa sáng. Thiết bị ảnh nhiệt được dùng để quan sát, phát hiện, theo dõi mục tiêu, cảnh giới ngày đêm. Cự ly hoạt động là một trong những thông số quan trọng và được quan tâm nhất đối với các thiết bị ảnh nhiệt. Trên thế giới đã hình thành khá hoàn chỉnh các phương pháp cả lý thuyết lẫn thực nghiệm để đánh giá cự ly hoạt động của thiết bị ảnh nhiệt. Tuy nhiên, ở nước ta mặc dù các thiết bị ảnh nhiệt ngày càng được sử dụng phổ biến nhưng việc đánh giá chất lượng quan sát cũng như các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng quan sát của các thiết bị ảnh nhiệt chưa được nghiên cứu nhiều, chưa có những tiêu chuẩn cũng như các thông số để đánh giá một cách khoa học, đặc biệt là tiêu chí về cự ly hoạt động của thiết bị.

Trong bài báo trình bày phương pháp tính toán cự ly hoạt động của thiết bị ảnh nhiệt dựa trên độ chênh lệch nhiệt tối thiểu (MRTD) được đo trong phòng thí nghiệm theo tiêu chuẩn STANAG – 4347 (1) của NATO. Trên cơ sở đó, tính toán cự ly quan sát cho kênh ảnh nhiệt của kính ngắm pháo thủ hỗn hợp ngày đêm dùng cho xe tăng T-54B (T55).

2. CƠ SỞ VÀ PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN

Cự ly hoạt động của thiết bị ảnh nhiệt phụ thuộc rất nhiều yếu tố: Tính năng kỹ thuật của thiết bị (Tiêu cự vật kính, giá trị hàm truyền, độ phân giải đầu thu, độ nhạy nhiệt đầu thu...); các điều kiện môi trường (Thời tiết, tầm nhìn xa, hệ số truyền qua của môi trường, phông nền quan sát...); cũng như mục tiêu quan sát. Có nhiều phương pháp xác định cự ly hoạt động của thiết bị ảnh nhiệt: Phương pháp tính toán lý thuyết, phương pháp đo trực tiếp trên thực địa, phương pháp kết hợp đo trong phòng thí nghiệm và tính toán [2, 4, 5, 8]. Phương pháp được trình bày là kết hợp đo trong phòng thí nghiệm và tính toán dựa trên đo đạc độ chênh lệch nhiệt tối thiểu (MRTD).

MRTD (Minimum resolvable temperature difference) [1, 2] – độ chênh lệch nhiệt tối thiểu để thiết bị ảnh nhiệt có thể phát hiện, nhận dạng, phân biệt mục tiêu, là một hàm số phụ thuộc vào tần số không gian của mia thử nghiệm. Sơ đồ khối đo đạc tính toán của phương pháp được trình bày trong hình 1 [1, 2, 6, 8].

Tiêu chuẩn STANAG - 4347 [1] là tiêu chuẩn NATO nhằm xác định cự ly hoạt động danh nghĩa của các hệ thống ảnh nhiệt dựa trên sự phụ thuộc của độ chênh lệch nhiệt tối thiểu vào cự ly hoạt động theo công thức sau:

$$\Delta T(R) = \Delta T_0 \cdot \tau(R) = \Delta T_0 \cdot e^{-\sigma \cdot R} \quad (1)$$

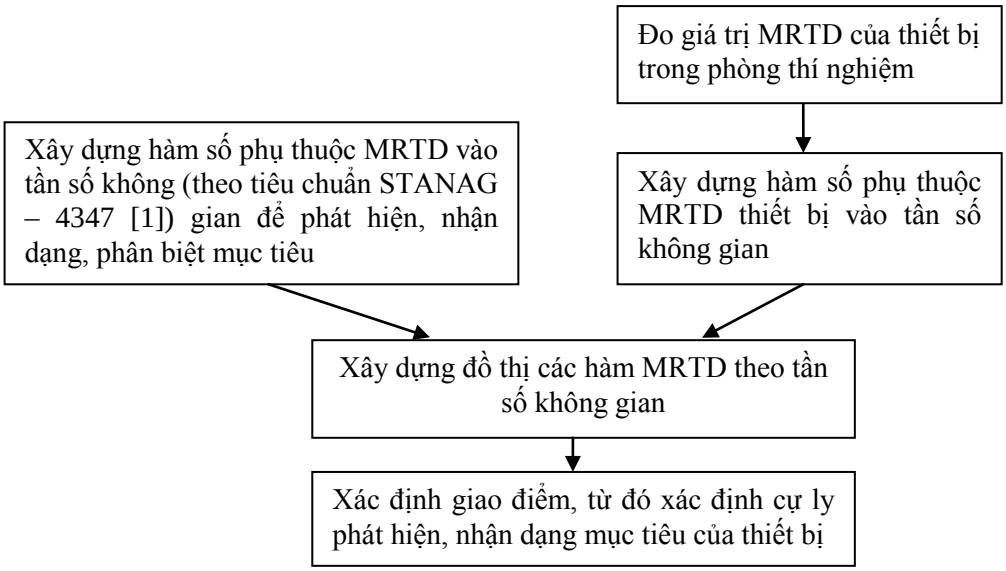
trong đó: $\Delta T(R)$ - Độ chênh lệch nhiệt tối thiểu [K];

R - Cự ly hoạt động của thiết bị ảnh nhiệt [Km];

ΔT_0 - Độ chênh lệch nhiệt giữa phông nền và mục tiêu, $\Delta T_0 = 2K$ [1];

$\tau(R)$ - Hệ số truyền qua môi trường của bức xạ hồng ngoại;

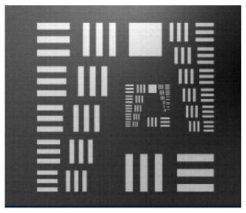
σ - Hệ số điều kiện môi trường; $\sigma = 0,2\,km^{-1}$ [1] đối với môi trường có điều kiện khí tượng tốt cho bức xạ hồng ngoại truyền qua; $\sigma = 1,0\,km^{-1}$ [1] đối với môi trường có điều kiện khí tượng không tốt cho bức xạ hồng ngoại truyền qua;



Hình 1. *Sơ đồ các bước xác định cự ly hoạt động của thiết bị ảnh nhiệt.*

Cự ly hoạt động của thiết bị được chia thành: Cự ly phát hiện, cự ly nhận dạng và cự ly phân biệt mục tiêu. Mục tiêu dùng để đánh giá cự ly hoạt động các thiết bị ảnh nhiệt theo tiêu chuẩn STANAG- 4347 có kích thước: 2,3 x 2,3m.

Các giá trị MRTD sẽ được xác định thông qua thực nghiệm bằng cách sử dụng thiết bị ảnh nhiệt quan sát mục tiêu qua một hệ thống ống chuẩn trực hồng ngoại chuyên dụng. Mục tiêu được sử dụng là mia hồng ngoại USAF 1951 [2, 4, 5] có cấu trúc như hình 2.



Hình 2. *Mia hồng ngoại USAF 1951.*

Mối liên hệ giữa các cự ly hoạt động của thiết bị với mia quan sát được xác định theo tiêu chuẩn Johnson [2, 3, 7] với xác suất đúng 50%, và được biểu diễn theo công thức sau:

$$R_{\text{det}} = 2.3 \cdot r \; ; R_{rec} = \frac{2.3 \cdot r}{3} \; ; R_{id} = \frac{2.3 \cdot r}{6} \quad (2)$$

trong đó: R_{det}, R_{rec}, R_{id} lần lượt là cự ly phát hiện, nhận dạng và phân biệt mục tiêu [km];

r - Tần số không gian của mia quan sát [$mrad^{-1}$].

$$r = \frac{f_{tb}}{2 \cdot T} \tag{3}$$

trong đó: - f_{tb} là tiêu cự vật kính ống chuẩn trực của thiết bị đo MRTD (mm);
- T: Chu kì của mia quan sát (mm).

Từ công thức (1) và (2) xây dựng được hàm phụ thuộc của MRTD vào mia quan sát, với các cự ly hoạt động khác nhau của thiết bị.

$$\Delta T_{dec}(r) = \Delta T_0 \cdot e^{-\sigma \cdot 2.3 \cdot r}; \Delta T_{rec}(r) = \Delta T_0 \cdot e^{-\sigma \cdot 2.3 \cdot r/3}; \Delta T_{id}(r) = \Delta T_0 \cdot e^{-\sigma \cdot 2.3 \cdot r/6} \tag{4}$$

trong đó: $\Delta T_{dec}(r)$; $\Delta T_{rec}(r)$; $\Delta T_{id}(r)$ lần lượt là hàm số MRTD tương ứng với cự ly phát hiện, nhận dạng và phân biệt mục tiêu phụ thuộc vào tần số không gian của mia quan sát.

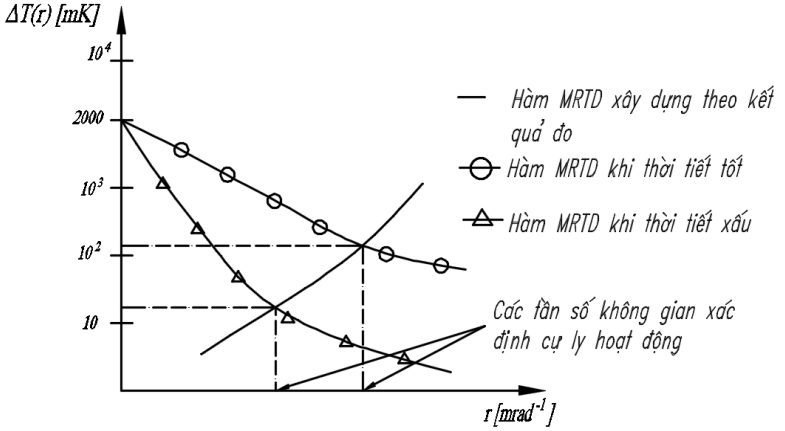
Như vậy, trên cơ sở lý thuyết đã xây dựng được hàm số phụ thuộc MRTD vào tần số không gian của mia quan sát. Để xác định được giá trị cụ thể các cự ly quan sát, tiến hành xác định giá trị cụ thể của MRTD đối với các mia khác nhau. Giá trị này xác định khi quan sát mia bằng thiết bị qua ống chuẩn trực hồng ngoại, khi đó, giá trị MRTD được xác định như sau [2, 3, 7]:

$$\Delta T = \frac{\Delta T^+ + \Delta T^-}{2} \tag{5}$$

trong đó: ΔT^+ là chênh lệch nhiệt độ dương tối thiểu khi người quan sát phân biệt được mia; ΔT^- chênh lệch nhiệt độ âm tối thiểu khi người quan sát phân biệt được mia.

Từ công thức (5) xây dựng được tập hợp các giá trị MRTD tương ứng với các mia khác nhau, hay nói cách khác là các tần số không gian khác nhau của mia. Sử dụng phương pháp nội suy xây dựng được hàm số phụ thuộc giữa MRTD vào tần số không gian của mia: $\Delta T(r)$ (6). Đây chính là hàm số thực nghiệm phản ánh giá trị thực tế của MRTD.

Trên cơ sở các hàm số (4) và (6) xây dựng các đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc MRTD vào tần số không gian trên cùng một hệ toạ độ, từ đó xác định giao điểm giữa các đồ thị, các giao điểm này chính là các cự ly hoạt động của thiết bị, bao gồm cự ly phát hiện, nhận dạng và phân biệt (hình 3) .



Hình 3. *Đồ thị xác định cự ly hoạt động của thiết bị.*

3. ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN VÀO KÍNH NGẮM PHÁO THỦ THEO NGUYÊN LÝ ẢNH NHIỆT SỬ DỤNG CHO XE TĂNG T-54B (T55)

Áp dụng phương pháp trên để tính cự ly hoạt động cho kính pháo thủ ảnh nhiệt sử dụng cho xe tăng T-54B (T55).

Kênh ảnh nhiệt của kính ngắm pháo thủ có các thông số cơ bản như sau:

-Vật kính: Tiêu cự: f'_{vk}=100 mm; Khẩu độ: F=1:1.2;

- Đầu thu: Không làm lạnh, 640 x 480 pixels.

Thiết bị đo hàm MRTD là thiết bị kiểm tra các hệ thống ảnh nhiệt DT200 của hãng Inframet (Ba Lan), tiêu cự vật kính thiết bị: f_{tb}=1600 mm.

Kết quả đo hàm MRTD kênh ảnh nhiệt kính ngắm pháo thủ với các mia khác nhau, sử dụng các công thức (3) và (5) nhận được các số liệu trình bày như trong bảng 1.

Bảng 1. *Kết quả đo MRTD.*

TT	Chu kì mia T(mm)	Tần số không gian r(mrad^{-1})	ΔT^+ (mK)	ΔT^- (mK)	ΔT (mK)
1	0,3	2,67	380	-530	455
2	0,59	1,36	216	-209	212,5
3	1,19	0,67	270	114	78
4	1,68	0,48	254	124	65
5	2,38	0,34	228	118	55

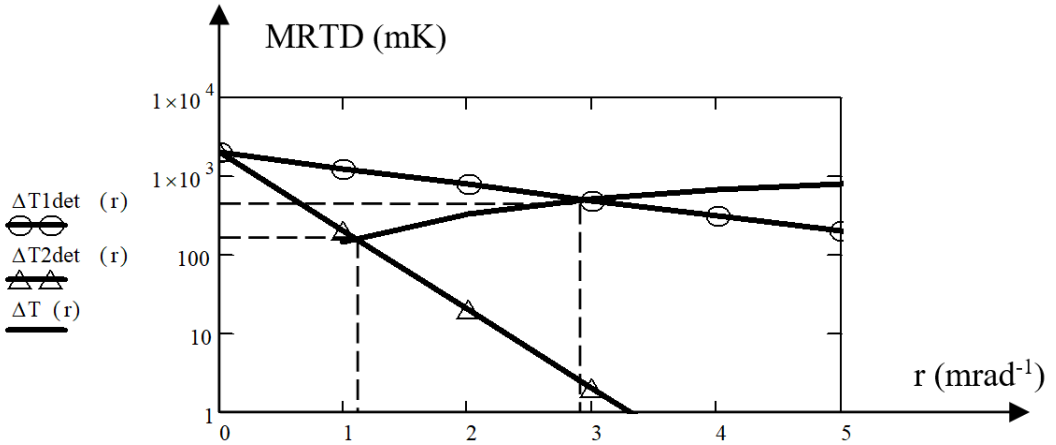
Trên cơ sở kết quả đo đạc, dùng phương pháp nội suy xây dựng hàm số phụ thuộc giữa MRTD và tần số không gian của mia r. Sử dụng phần mềm Mathcad xây dựng được hàm số nội suy có dạng như sau:

$$\Delta T(r) = -56.631 + 200.846 \cdot r \cdot e^{\left(-6.436 \cdot 10^{-2} \cdot r^2\right)} \quad (6)$$

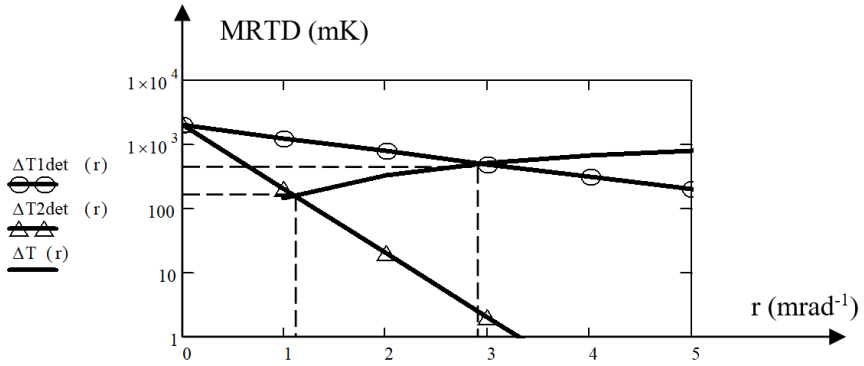
Như vậy, đã xây dựng được hàm số (6) xác định phụ thuộc MRTD vào tần số không gian của mia trên cơ sở thực nghiệm.

Như đã phân tích ở phần trước giá trị cự ly quan sát được xác định trên cơ sở tìm giao điểm của đồ thị hàm số $\Delta T(r)$ (6) xác định bằng thực nghiệm, với đồ thị các hàm số $\Delta T_{dec}(r)$; $\Delta T_{rec}(r)$; $\Delta T_{id}(r)$ (4), từ đó, tìm giao điểm tần số không gian của mia tương ứng với các cự ly phát hiện, nhận dạng và phân biệt mục tiêu.

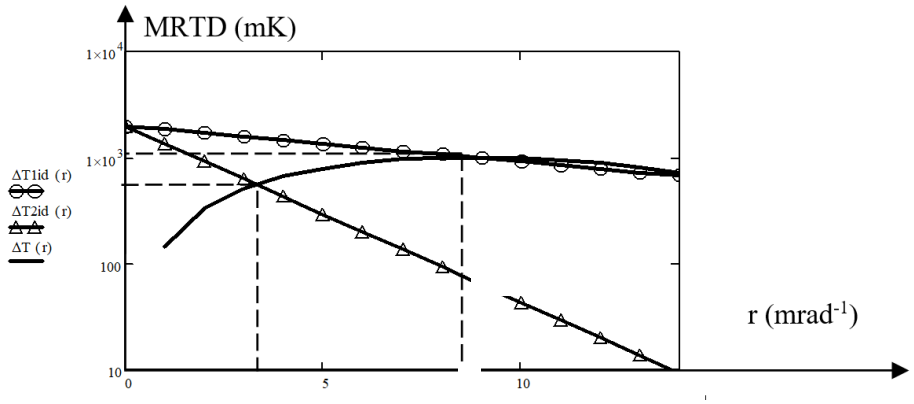
Các đồ thị trên lần lượt được biểu diễn trên các hình (4), hình (5), hình (6) theo dạng logarit. Trên mỗi đồ thị biểu diễn hàm số $\Delta T(r)$ cùng với đồ thị $\Delta T_{dec}(r)$ (hình 4); $\Delta T_{rec}(r)$ (hình 5); $\Delta T_{id}(r)$ (hình 6) trong cả hai trường hợp điều kiện thời tiết tốt $\Delta T_1(r)$ và xấu $\Delta T_2(r)$.



Hình 4. *Đồ thị xác định cự ly phát hiện mục tiêu của thiết bị.*



Hình 5. *Đồ thị xác định cự ly nhận dạng mục tiêu của thiết bị.*



Hình 6. *Đồ thị xác định cự ly phân biệt mục tiêu của thiết bị.*

Từ các đồ thị (4), (5), (6) xác định được giao điểm giữa hàm MRTD thực nghiệm và hàm MRTD khi phát hiện, nhận dạng, và phân biệt mục tiêu của thiết bị. Giá trị giao điểm theo trục hoành là tần số không gian của mia quan sát, thay các giá trị này vào các công thức (3), xác định được cự ly hoạt động của thiết bị. Kết quả tính toán được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. *Cự ly hoạt động của thiết bị.*

TT	Thông số	Cự ly phát hiện		Cự ly nhận dạng		Cự ly phân biệt	
		Thời tiết tốt	Thời tiết xấu	Thời tiết tốt	Thời tiết xấu	Thời tiết tốt	Thời tiết xấu
1	r giao điểm ($mrad^{-1}$)	2,98	1,09	5,53	2,19	8,81	3,31
2	Cự ly hoạt động (Km)	6,85	2,52	4,24	1,68	3,38	1,27

Theo bảng có thể thấy cự ly phát hiện, nhận dạng và phân biệt mục tiêu của kênh ảnh nhiệt trên kính ngắm pháo thủ trên xe tăng T54, T55 lần lượt là: 6,85; 4,24; 1,27 km trong điều kiện thời tiết tốt, kết quả này phù hợp với kết quả thử nghiệm quan sát ngoài thực địa.

4. KẾT LUẬN

Như vậy, áp dụng phương pháp đo kiểm trong phòng thí nghiệm kết hợp với xây dựng công thức tính toán, chúng ta đã xác định được cự ly quan sát của kênh ảnh nhiệt trên kính ngắm pháo

thủ trên xe tăng T54, T55. Các kết quả được tính toán cả trong điều kiện thời tiết xấu và thời tiết tốt. Phương pháp xây dựng trên cơ sở chính là thực nghiệm, đo đạc trong phòng thí nghiệm, có tính đến yếu tố khí tượng, vì vậy, cơ bản phản ánh chính xác cự ly hoạt động ngoài thực tế của thiết bị. Tuy nhiên, còn nhiều yếu tố môi trường chưa được tính đến, vì vậy, cần hoàn thiện hơn phương pháp để cho ra một kết quả chính xác nhất.

Bài báo này đã được báo cáo tại Hội thảo Quốc gia: ***Ứng dụng Công nghệ cao vào thực tiễn – 60 năm phát triển Viện KH-CN quân sự.***

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. STANAG 4347 – *"Definition of static range performance for thermal imaging systems"*, NATO, 1995

[2]. Krzysztof Chrzanowski: *"Testing Thermal Imagers – Practical guidebook"*, Military University of Technology, Warsaw, Poland, 2010.

[3]. Holst G.C., *"Infrared Imaging System Testing"*, Vol.4, Chapt. 4 in The Infrared & Electro-Optical Handbook, Michael C. Dudzik ed, SPIE 1993.

[4]. Piet Bijl. Alexander Toet, J. Mathieu Valeton, *"Electro-Optical Imaging System Performance Measurement"*, in Encyclopedia of Optical Engineering, pp. 443-452, Marcel Dekker Inc., New York, 2003.

[5]. J. G. Vortman, A. Bar-Lev, *"Improved minimum resolvable temperature difference model for infrared imaging system"*, Optical Engineering, Vol.26 No. 6, pp 492-498, 1987.

[6]. Krzysztof Chrzanowski, *"A minimum resolvable temperature difference model for simplified analysis"*, *Infrared Physics* Vol. **31**. No. 4, pp. 313-318, 1991.

[7]. ASTM E1213-97, *"Standard Test Method for Minimum Resolvable Temperature Difference for Thermal Imaging Systems"*, 1997.

[8]. Joseph Kostrzewa, John Long, John H. Graff, and John David Vincent *"TOD versus MRT when evaluating thermal imagers that exhibit dynamic performance"*, Proc. SPIE 5076, Infrared Imaging Systems:Design, Analysis, Modeling, and Testing XIV, August 2003.

ABSTRACT

A METHOD OF CALCULATING THE OPERATION RANGE OF THERMAL IMAGE DEVICE BASED ON MINIMUM RESOLVABLE TEMPERATURE DIFFERENCE

Thermal imaging devices are increasingly being used extensively in the military for surveillance and observation. There are many methods to calculate and evaluate the observation distance of thermal imaging devices, both theoretical and practical, with a range of different advantages and disadvantages. In this paper, the method of calculating the operating distance of thermal imaging device: Detection distance, identification and discrimination based on the minimum resolvable temperature difference (MRTD) measured in the laboratory according to STANAG- 4347 standard of NATO is presented. The method is applied to calculate the observation distance for the thermal imaging channel of a mixed day and night gunner viewfinder for a T-54B (T55) tanks.

Keywords: Thermal image; Operating range; MRTD.

Nhận bài ngày 31 tháng 7 năm 2020
Hoàn thiện ngày 15 tháng 10 năm 2020
Chấp nhận đăng ngày 14 tháng 12 năm 2020

Địa chỉ: [1]Viện Vật lý kỹ thuật, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự;
[2]Viện Vũ khí, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng.
[*]Email: dragonbm88@gmail.com.