Nghiên cứu, tính toán công suất laser cho thiết bị phát hiện khí tài quang điện tử đối phương trên cơ sở kết hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm

Phạm Thanh Quang*, Lê Văn Hoàng, Trần Quốc Tuấn

Viện Vật lý Kỹ thuật/Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.
*Email: thanhquangvlkt@gmail.com
Nhận bài: 9/9/2022; Hoàn thiện: 18/11/2022; Chấp nhận đăng: 28/11/2022; Xuất bản: 23/12/2022.
DOI: https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.FEE.2022.146-153

TÓM TẮT

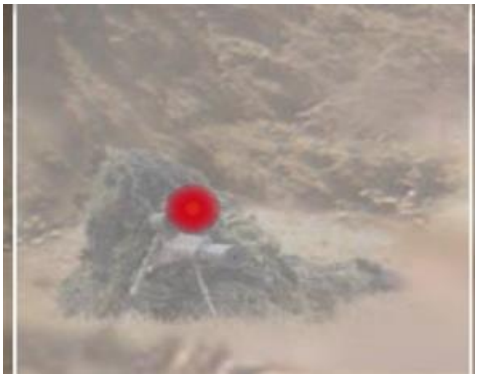
Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu tính toán công suất laser cho thiết bị phát hiện khí tài quang điện tử (KTQĐT) đối phương. Phương pháp thực hiện là sự kết hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm. Qua đó, xây dựng được công thức tính toán công suất laser làm cơ sở giải bài toán năng lượng trong lĩnh vực nghiên cứu tính toán thiết kế thiết bị phát hiện KTQĐT.

Từ khoá: Khí tài quang điện tử; Phản xạ ngược; Phát hiện khí tài quang điện tử.

1. MỞ ĐẦU

Cùng với sự ra đời của các loại vũ khí, hỏa lực thì nhu cầu sử dụng KTQĐT nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng vũ khí cũng được đặt ra. KTQĐT được trang bị rộng rãi cho các lực lượng trong Quân đội, Công an,... và đã chứng minh được ưu điểm vượt trội trên chiến trường, giúp cho việc phát hiện, cảnh giới và tiêu diệt mục tiêu từ khoảng cách xa mà đối phương không thể phát hiện ra. Trong quá trình tác chiến, vũ khí khí tài của đối phương thường được ngụy trang khá kỹ càng (hình 1) [1] và khoảng cách cũng đủ lớn, do vậy gây nhiều khó khăn cho việc phát hiện ra đối phương cũng như phát hiện KTQĐT của chúng. Tuy nhiên, để quan sát được mục tiêu thì bề mặt quang học đầu tiên của KTQĐT phải lộ diện. Trên cơ sở đó, chúng ta có thể phát hiện đối phương theo nguyên lý phản xạ ngược của chùm bức xạ quang học (hình 2) [1]. Nguyên lý này dựa trên cơ sở chiếu chùm laser tới KTQĐT đối phương thì có chùm phản xạ ngược về đi vào thiết bị và bị phát hiện. Bài toán đặt ra là cần phải xác định công suất laser để đảm bảo được việc phát hiện KTQĐT đối phương.

Hình 1. *Hình ảnh xạ thủ ngụy trang khi ngắm bắn mục tiêu.*



Hình 2. *Hình ảnh phát hiện KTQĐT đối phương theo nguyên lý phản xạ ngược.*

Trên thế giới, đã có nhiều nghiên cứu về lĩnh vực phát hiện KTQĐT đối phương. Các nghiên cứu đã chỉ ra được nguyên lý và kết cấu của hệ quang cho thiết bị phát hiện KTQĐT đối phương [2, 3]. Một số nghiên cứu cũng xây dựng được công thức tính công suất chùm phản xạ ngược [4-6] đi vào thiết bị. Tuy nhiên, các nghiên cứu này vẫn chưa tường minh và gây khó hiểu đối với người đọc, đặc biệt là những người lần đầu tiếp xúc với lĩnh vực này. Đồng thời, các nghiên cứu này chưa tính cụ thể công suất laser cần đạt để phát hiện KTQĐT đối phương ở một cự ly nhất định.

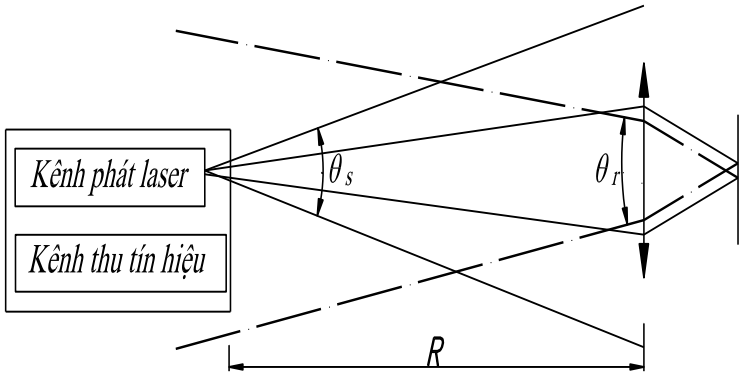
Ở trong nước, việc nghiên cứu về lĩnh vực phát hiện KTQĐT vẫn còn rất sơ khai và chưa có thành tựu. Các nghiên cứu mới chỉ dựng lại ở việc nghiên cứu về nguyên lý phản xạ ngược và ảnh hưởng của các yếu tố bên ngoài đến nó [9].

Trong bài báo này, chúng tôi sẽ trình bày quá trình xây dựng lại công thức và tính toán giá trị công suất laser (trên cơ sở tham khảo công thức trong các tài liệu [4, 5]) theo lý thuyết kết hợp với thực nghiệm qua đó áp dụng vào bài toán thực tế trong quá trình tính toán, thiết kế các thiết bị phát hiện KTQĐT sau này.

2. XÂY DỰNG CÔNG THỨC TÍNH CÔNG SUẤT LASER CHO THIẾT BỊ PHÁT HIỆN KTQĐT ĐỐI PHƯƠNG

2.1. Xây dựng phương trình ban đầu

Nguyên lý làm việc của thiết bị phát hiện KTQĐT đối phương được thể hiện trên hình 3 [4]. Laser phát đi với góc khối θ_s, truyền qua khí quyển để tới KTQĐT đối phương. Tại đây, một phần năng lượng sẽ đi vào khí tài đối phương, trong đó có một phần phản xạ ngược lại với góc khối là θ_r đi về thiết bị phát hiện. Một phần năng lượng đi vào kênh thu tín hiệu và cho ra tín hiệu. Bài toán đặt ra là cần tính toán năng lượng laser cần thiết để phát hiện được KTQĐT đối phương.



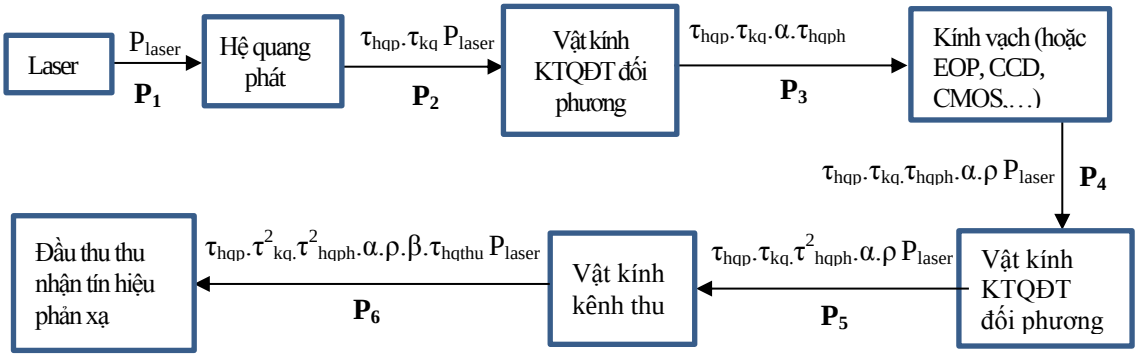
Hình 3. *Sơ đồ nguyên lý hiện tượng phản xạ ngược.*

Để tính công suất laser, cần tính phần năng lượng về vào kênh thu tín hiệu. Phần năng lượng này đảm bảo lớn hơn độ nhạy đầu thu (thực tế là lớn hơn một tín hiệu ngưỡng nào đó của phông nền). Như vậy, trong bài báo này sẽ tính toán về lý thuyết theo độ nhạy đầu thu, phần thực nghiệm sẽ xác định công suất laser thực tế để đảm bảo đủ năng lương để phát hiện KTQĐT đối phương.

Dựa trên lý thuyết truyền năng lượng của ánh sáng trong khí quyển và KTQĐT, bài báo xây dựng và biểu diễn quá trình truyền năng lượng laser từ hệ phát đến khi về vào đầu thu theo sơ đồ như hình 4 (phần năng lượng đi vào khối tiếp theo được ghi ở phía trên mũi tên): Laser đi qua hệ quang phát laser (có hệ số truyền qua là τ_{hqp}) qua khí quyển đến mục tiêu ở cự ly R (có hệ số truyền qua là τ_{kq}) một phần đi vào KTQĐT đối phương (tỉ số giữa tín hiệu đi vào và tín hiệu tại bề mặt KTQĐT là α), qua vật kính (hệ số truyền qua là $\tau_{hqdp)}$ tới tiêu diện của vật kính, tại đây có đặt kính vạch hoặc EOP, CCD, CMOS,... (có hệ số phản xạ là ρ), chùm phản xạ ngược quay trở lại, đi qua vật kính (hệ số truyền qua là τ_{hqdp}) truyền qua khí quyển (hệ số truyền qua là τ_{kq}) một phần đi vào hệ quang thu (tỉ lệ tỉ số giữa tín hiệu đi vào và tín hiệu tại bề mặt KTQĐT là β), qua vật kính hệ quang thu (có hệ số truyền qua là τ_{hqth}) và gây nên phản ứng tại đầu thu.

Theo hình 4, dễ dàng thấy phần công suất đi vào đầu thu của kênh thu nhận tín hiệu phản xạ ngược có giá trị là:

$$P_6 = \tau_{hqp}.\tau^2_{kq}.\tau^2_{hqph}.\alpha.\rho.\beta.\tau_{hqthu}\,P_{laser} \quad (1)$$



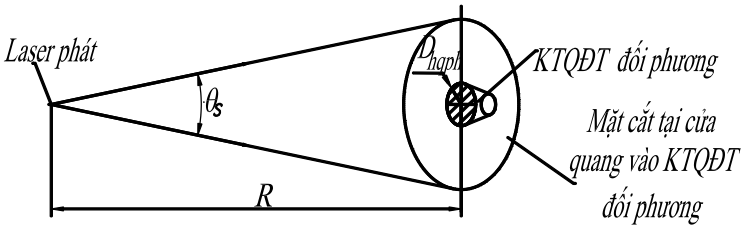
Hình 4. *Sơ đồ quá trình truyền năng lượng trong thiết bị phát hiện KTQĐT đối phương.*

Bây giờ, bài báo xác định công thức tính α và β.

Xác định công thức tính α

α là tỉ số giữa phần năng lượng đi vào so với phần năng lượng đến mặt phẳng của cửa quang vào KTQĐT đối phương. Tỉ số đó chính là tỉ số giữa diện tích phần cửa quang vào với phần diện tích mà laser gây ra tại mặt cắt của cửa quang vào KTQĐT đối phương. Hình 5 đưa ra mô phỏng chùm laser đến mặt cắt đó. Theo đó, dễ dàng có được công thức tính giá trị α

$$\alpha = \frac{\pi.D^2_{hqph}/4}{\pi.(R.tg(\theta_S/2))^2} = \frac{D^2_{hqph}}{R^2\theta^2_S} \tag{2}$$



Hình 5. *Chùm sáng laser đến KTQĐT đối phương.*

Tương tự vậy, xác định được công thức tính β

$$\beta = \frac{D^2_{hqthu}}{R^2\theta^2_r} \tag{3}$$

Với D_{hqph}, D_{hqthu} lần lượt là đường kính cửa quang vào của KTQĐT đối phương và kênh thu của thiết bị phát hiện.

Từ (1), (2), (3) xác định được công thức tính công suất phản xạ ngược khi đi vào đầu thu của thiết bị là:

$$P_6 = \tau_{hqp}.\tau_{hqthu}.\tau^2_{hqph}.\tau^2_{kq}.\rho.\frac{D^2_{hqph}.D^2_{hqthu}}{R^4.\theta^2_S.\theta^2_r}.P_{laser} \tag{4}$$

Đối chiếu với phương trình đưa ra trong tài liệu [4], ta thấy phương trình bài báo xây dựng nên là đầy đủ, tường minh. Qua đó, cũng khẳng định được tính đúng đắn của quá trình thực hiện.

Để thiết bị làm việc được thì công suất này phải lớn hơn công suất gây nên phản ứng của đầu thu (thực tế thì công suất P_6 phải lớn hơn một giá trị ngưỡng nào đó, giá trị ngưỡng này tỉ lệ với công suất gây nên phản ứng của đầu thu. Giá trị này sẽ được tính toán qua thực nghiệm).

Công suất ngưỡng gây lên phản ứng của đầu thu có giá trị như sau [8]:

$$P_0 = \frac{\mu_{tt}\sqrt{ab.\Delta\nu_{DT}}}{D^*} \quad (5)$$

Trong đó: μ_{tt} là tỉ số tín tạp (tỉ số tín/ngưỡng), để gây lên được phản ứng của đầu thu thì giá trị $\mu_{tt} \geq 1$; a, b là kích thước điểm ảnh của đầu thu theo hai chiều tính theo cm; D^* là độ nhạy ngưỡng của đầu thu; $\Delta\nu_{DT}$ là tần số làm việc của đầu thu.

Từ điều kiện để phát hiện được KTQĐT đối phương ($P_6 \geq P_0$) ta có được công suất nhỏ nhất của laser cần thỏa mãn điều kiện:

$$P_{laser.\min} = \frac{\sqrt{ab.\Delta\nu_{DT}}}{D^*} \cdot \frac{R^4.\theta_S^2.\theta_r^2}{D_{hqph}^2.D_{hqthu}^2.\tau_{hqp}.\tau_{hqthu}.\tau_{hqph}^2.\tau_{kq}^2.\rho} \quad (6)$$

Như vậy, bài báo đã xây dựng được công thức tính công suất của laser để năng lượng phản xạ về gây nên phản ứng của đầu thu. Tuy nhiên, đối với bài toán phát hiện KTQĐT đối phương thì phần năng lượng vào đầu thu phải lớn hơn năng lượng của phông nền. Do đó, cần có một hệ số N phù hợp để phần năng lượng laser phản xạ đi vào đầu thu gây ra tín hiệu lớn hơn tín hiệu do phông nên gây ra. Do đó, nhóm tác giả đề xuất công thức tính công suất laser cho thiết bị phát hiện KTQĐT theo công thức:

$$P = N.\frac{\sqrt{ab.\Delta\nu_{DT}}}{D^*} \cdot \frac{R^4.\theta_S^2.\theta_r^2}{D_{hqph}^2.D_{hqthu}^2.\tau_{hqp}.\tau_{hqthu}.\tau_{hqph}^2.\tau_{kq}^2.\rho} \quad (7)$$

Nhận xét: Có thể thấy rằng, công suất của laser phụ thuộc vào các yếu tố sau:

- Đầu thu: số điểm ảnh, tần số làm việc và độ nhạy của đầu thu
- Khoảng cách làm việc hay còn gọi là cự ly phát hiện KTQĐT đối phương (tỉ lệ mũ 4)
- Góc phát của laser (tỉ lệ mũ 4) vì góc phản xạ tỉ lệ thuận với góc phát ($\theta_r \sim \theta_s$)
- KTQĐT đối phường: đường kính, hệ số truyền qua của vật kính, hệ số phản xạ của thành phần đặt tại tiêu diện kính vật
- Hệ quang thu: đường kính cửa quang vào, hệ số truyền qua.
- Yếu tố của môi trường (hệ số truyền qua của môi trường).

2.2. Xây dựng mô hình thực nghiệm

2.2.1. Tham số đầu vào để tính toán

Sử dụng laser có bước sóng 1550 nm là laser an toàn với mắt người. Góc mở chùm laser nhóm tác giả lựa chọn là $\theta_s = 0{,}6^0$ để đảm bảo khả năng sục sạo tìm kiếm mục tiêu ở một góc nhất định mà vẫn đảm bảo năng lượng truyền được xa. Do góc mở laser nhỏ nên $\theta r \approx \theta s = 0{,}6^0$

Do dùng laser 1550 nm nên hệ thống quang học của kênh thu là vật kính camera hoạt động ở vùng phổ SWIR (900 đến 1700 nm); cự ly phát hiện khí tài là R=1000 m, với đầu thu bức xạ được lựa chọn trước với các tham số: độ phân giải 640x512 pixels, kích thước pixel (17x17) µm, khả năng phát hiện riêng trung bình $D^* = 4{,}2.10^{13}(W^{-1}.cm.Hz^{1/2})$, tần số khung hình 60 Hz.

Với mong muốn phát hiện được KTQĐT đối phương có khẩu độ là 30 mm nên D_{hqph} = 30 mm

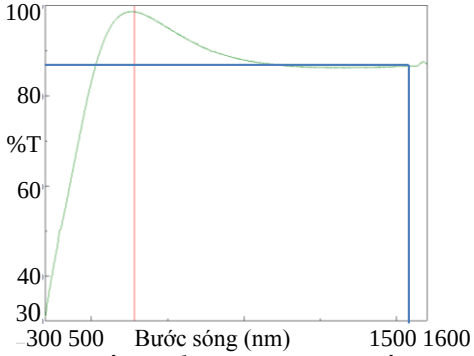
Với hệ quang phát và hệ quang thu, đều là những hệ quang do nhóm tác giả thiết kế nên kiểm soát được các tham số. Đường kính cửa quang vào của hệ quang thu D_{hqthu} = 37,5 mm. Hệ quang gồm có 04 thấu kính, với mỗi thấu kính có hệ số truyền qua là τ = 0,95 sau khi mạ nên $\tau_{hqp} = \tau_{hqthu} = 0{,}95^4 \approx 0{,}81$

Hệ số truyền qua của khí quyển với bước sóng 1550 nm ở cự ly 1 km là: $\tau_{kq} = 0{,}86$ [7]

Như vậy, cần xác định hệ số truyền qua của vật kính của KTQĐT đối phương và hệ số phản xạ của bề mặt đặt tại tiêu diện của vật kính đó.

Hệ số phản xạ ρ, tham khảo [4] xác định được số phản xạ, $\rho = \rho_{min} \approx 7\%=0,07$

Hệ số truyền qua của vật kính KTQĐT đối phương, bài báo tiến hành đo hệ số truyền qua của tấm phẳng được mạ truyền qua tại dải phổ làm việc ngày, kết quả được đưa ra trên hình 6.



Hình 6. *Phổ truyền qua của tấm phẳng được mạ truyền qua vùng nhìn thấy.*

Theo đó, hệ số truyền qua tại bước sóng 1550 nm (bước sóng của laser) vào khoảng $\tau = 0,86$

Với một vật kính của KTQĐT, giả sử (thông thường) có 4 thấu kính, do đó, hệ số truyền qua của vật kính KTQĐT đối phương là: $\tau_{hqph} = 0,86^4 = 0,55$

Với tất cả các dữ liệu ở trên, thay vào công thức (6) ta xác định được công suất laser nhỏ nhất cần đạt để chùm tín hiệu phản xạ ngược đi vào đầu thu gây phản ứng tại đầu thu:

$$P_{laser.min} \geq 0,17 \text{ (W)}$$

2.2.2. Tiến hành thực nghiệm

a. Dụng cụ, thiết bị, phương tiện thực nghiệm

Mô hình thực nghiệm được đưa ra trên hình 7. Theo đó, mô hình gồm có:

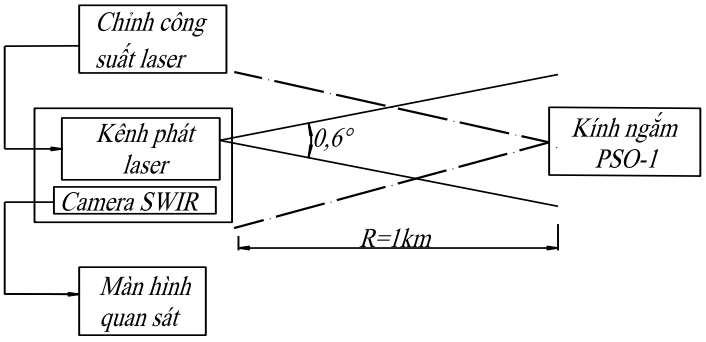
- Camera vùng phổ hồng ngoại gần SWIR, có tiêu cự 75 mm, cửa quang vào 37,5 mm (F/#=2);

- Kênh phát laser gồm có: 01 laser bước sóng 1550 nm có thể thay đổi được công suất với giá trị lớn nhất là 2,5 W, hệ quang tạo góc mở cho laser đạt giá trị $0,6^0$;

- Thiết bị đo công suất laser di động;

- KTQĐT đối phương là kính ngắm PSO-1, độ phóng đại 4x, đường kính cửa quang vào 30 mm;

- Màn hình quan sát.



Hình 7. *Mô hình thực nghiệm đánh giá khả năng phát hiện KTQĐT đối phương.*

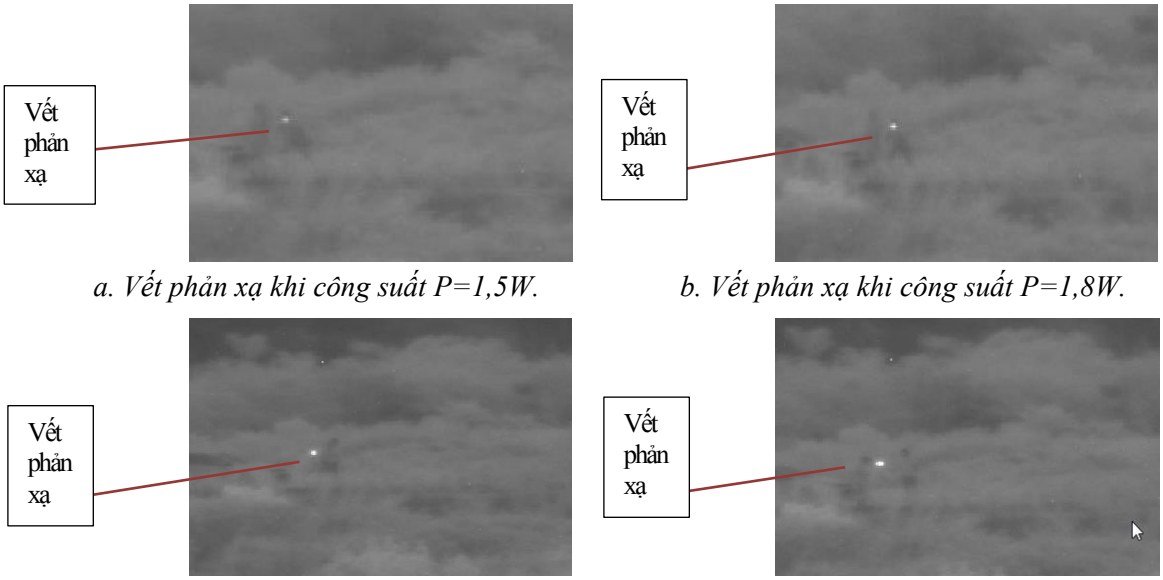
b. Điều kiện thực nghiệm:

Thực tế, nhóm tác giả đã thử nghiệm nhiều lần. Kết quả các buổi thử nghiệm tương đồng nhau với cùng điều kiện thời tiết (nhiệt độ xấp xỉ 30 ^{0}C). Dưới đây là một buổi thử nghiệm tại thực địa.

- Thực nghiệm tại trường bắn Đồng Doi.
- Cự ly thử nghiệm: 1 km (khoảng cách giữa thiết bị và KTQĐT đối phương)
- Thời gian thực nghiệm: 17h30 ngày 28/06/2022
- Điều kiện thời tiết: nhiệt độ môi trường 30 ^{0}C, tầm nhìn khí tượng trên 10km.

c. Quá trình thực nghiệm:

- Gá chắc chắn KTQĐT đối phương (kính ngắm PSO-1) và thiết bị phát hiện KTQĐT, hướng hai thiết bị này vào nhau
- Khởi động thiết bị phát hiện bằng cách cấp nguồn cho laser và Camera SWIR
- Để công suất laser ở mức cao nhất 2,5 W, tiến hành sục sạo tìm kiếm và phát hiện KTQĐT đối phương. Khi nào thấy vết sáng và che phía trước KTQĐT nếu vết sáng bị tối đi thì khẳng định đó chính là vết sáng của chùm phản xạ ngược do KTQĐT gây ra.
- Điều chỉnh tầm hướng của cả hai thiết bị này để vết sáng đó đạt độ sáng lớn nhất. Cố định tầm hướng của cả hai thiết bị.
- Lúc này lại đưa laser về công suất 0,17 W (giá trị ngưỡng) và tăng lên từ từ đến khi trên màn hình quan sát được vết sáng thì dừng lại và tiến hành đo giá trị công suất tại đó.
- Quá trình này được thực hiện nhiều lần và bởi nhiều người khác nhau để tính giá trị trung bình. Hình 8 đưa ra độ sáng của vết phản xạ với các giá trị công suất khác nhau quan sát qua màn hình. Kết quả cho thấy công suất laser cần đạt P_{laser} = 1,5 W thì phát hiện được KTQĐT đối phương.



a. Vết phản xạ khi công suất P=1,5W. *b. Vết phản xạ khi công suất P=1,8W.*

c. Vết phản xạ khi công suất P=2,2W. *d. Vết phản xạ khi công suất P=2,5W.*

***Hình 8.** Hình ảnh vết phản xạ ngược ở các mức độ công suất laser khác nhau.*

3. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM, THẢO LUẬN

3.1. Kết quả thực nghiệm

Qua thực nghiệm cho thấy, với mỗi giá trị công suất laser khác nhau thì vết sáng phản xạ về có cường độ khác nhau. Vết sáng sẽ có cường độ lớn hơn khi giá trị công suất lớn hơn. Qua quá trình khảo sát với các mẫu KTQĐT đối phương khác nhau (các kính ngắm PSO-1 khác nhau) cùng với các lần thực hiện khác nhau thì giá trị công suất laser cần đạt P_{laser} = 1,5 W thì người quan sát mới phát hiện được vết sáng của chùm năng lượng phản xạ ngược quay trở về. Tức là

khi đó mới phát hiện được KTQĐT đối phương. Như vậy, tỉ lệ giữa giá trị thực tế và giá trị tính toán như sau:

$$N = \frac{P_{laser}}{P_{laser.\min}} = \frac{1,5}{0,17} = 9 \text{ (lần)}$$

Có sự khác nhau như vậy là do: quá trình tính toán lý thuyết chỉ tính phần năng lượng gây nên phản ứng của đầu thu. Tuy nhiên, đối với bài toán phát hiện KTQĐT đối phương thì phần năng lượng đi vào đầu thu phải lớn hơn năng lượng của phông nền. Với mỗi phông nền khác nhau thì giá trị này là khác nhau. Khi nhiệt độ thay đổi hoặc điều kiện chiếu sáng thay đổi thì phông nên cũng thay đổi. Với điều kiện phát hiện được KTQĐT ở nhiệt độ 25 ^{0}C thì giá trị trên là hoàn toàn thỏa mãn (N = 9). Song, để tính toán công suất laser cho thiết bị phát hiện KTQĐT đối phương, chúng tôi đề xuất công suất laser phải thỏa mãn điều kiện là: $P_{laser} \geq 10.P_{laser\text{-}lt}$..

Kết hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm, bài báo đề xuất công thức tính giá trị công suất laser cho thiết bị phát hiện KTQĐT (điều kiện thời tiết: nhiệt độ môi trường nhỏ hơn 30^{0}C, tầm nhìn khí tượng trên 10km) như sau:

$$P_{laser} \geq 10.\frac{\sqrt{ab.\Delta\nu_{DT}}}{D^*}.\frac{R^4.\theta_S^2.\theta_r^2}{D_{hqph}^2.D_{hqthu}^2.\tau_{hqp}.\tau_{hqthu}.\tau_{hqph}^2.\tau_{kq}^2.\rho} \quad (8)$$

3.2. Thảo luận

Việc tính toán công suất laser cho thiết bị phát hiện KTQĐT đối phương là bài toán phức tạp. Có thể thấy, công suất laser phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau: hệ quang phát, điều kiện khí tượng, KTQĐT được phát hiện, hệ quang thu,... Kết quả thực nghiệm lớn hơn nhiều so với lý thuyết. Có sự khác nhau này là do công suất tính trong lý thuyết gây ra mới là công suất gây nên phản ứng của đầu thu. Tuy nhiên, để phát hiện được KTQĐT đối phương thì vết phản xạ về phải có cường độ sáng lớn hơn cường độ sáng của phông nên gây ra (tức là năng lượng phải lớn hơn năng lượng của các yếu tố phông nền khác).

4. KẾT LUẬN

Kết hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm, bài báo đã bước đầu đề xuất được phương trình tính công suất laser cho thiết bị phát hiện KTQĐT đối phương ở điều kiện thời tiết cụ thể. Kết quả này làm cơ sở cho việc giải bài toán năng lượng trong tính toán, thiết kế thiết bị phát hiện KTQĐT đối phương. Hệ số N có thể thay đổi phụ thuộc vào nhiều yếu tố khác nhau đặc biệt là điều kiện khí tượng. Tuy nhiên, với hầu hết điều kiện làm việc của khí tài ở nhiệt độ 25 ^{0}C, độ ẩm 80%, tầm nhìn khí tượng trên 10km thì phương trình mà bài báo đưa ra đáng để xem xét. Tuy nhiên, để đảm bảo tính khách quan và tính đúng đắn của phương trình đề xuất thì cần nhiều quá trình thực nghiệm và nhiều thời gian hơn nữa.

Kết quả này không chỉ áp dụng riêng cho tính toán công suất laser mà còn có thể áp dụng trong quá trình xác định các tham số của kênh phát, kênh thu tín hiệu laser (ví dụ như khẩu độ kênh thu).

Lời cảm ơn: *Nhóm tác giả cảm ơn sự tài trợ về kinh phí của đề tài cấp Bộ Quốc phòng "Nghiên cứu thiết kế, chế thử thiết bị dùng để phát hiện khí tài quang điện tử của đối phương".*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Arjan L. Mieremet, Arjan L. Mieremet, Ric (H.)M.A. Schleijpen, "*Modeling the detection of optical sights using retro-reflection*" 2509 JG The Hague, The Netherlands ENSIETA, 29806 Brest Cedex 9, France.

[2]. Raghavendra S. Solanki, Vrinda Khurana, "*Simulation and Experimental Studies on Retro Reflection for Optical Target Detection*", 3rd International Conference on Microwave and Photonics (ICMAP 2018), (2018).

[3]. Patent US 7,456,944 B2, Apparatus and methode for detection of optical system is in a terran area.

[4]. Patent US 8,228,591 B1, Handheld optics detection system.

[5]. M. Kastek, R. Dulski, P. Trzaskawka, G. Bieszczad, "*Sniper detection using infrared camera – technical possibilities and limitations",* Institute of ptoelectronics, Military University of Technology, gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warsaw, Poland, (2010).
[6]. Carl Brännlund, Jonas Tidström, Markus Henriksson, *"Combined hostile fire and optics detection",* Lars Sjöqvist Laser Systems Group, Division of Sensor and EW Systems, FOI - Swedish Defence Research Agency, Box 1165, SE 581 11 Linköping, Swede, (2013).
[7]. John W.Zelle, "*Effects of atmosphere on free-space optical transmission at 1.55 μm*," Proc. Of SPIE Vol. 7833 783313-1TC, 10 (2010).
[8]. Ю. Г. Якушенков, *"Теория и расчет оптико- электронных приборов"*, 4-е издание, Москва, tr. 58-64, (1999).
[9]. Nguyễn Ngọc Tường, *"Khảo sát hiện tượng phản xạ ngược trong khí tài quang điện tử"*, Đồ án tốt nghiệp bậc đại học năm 2019, Học viện Kỹ thuật Quân sự, (2019).

ABSTRACT

Research and calculate laser power for enemy optoelectronic detection systems on the basis of a combination of theory and experiment

This paper presents the results of the study to calculate the laser power for enemy optoelectronic detect systems. The implementation method is a combination of theory and experiment. Thereby, a formula for calculating laser power was built as a basis for solving energy problems in the field of research calculation, design enemy optoelectronic detect systems.

Keywords: Optoelectronic; Retro-reflection; Optoelectronic detection.