

TÍNH TOÁN THIẾT KẾ HỆ QUANG CHO KÍNH LÁI XE ĐÊM TBHE-1PIA-VN TRÊN XE CHIẾN ĐẤU BỘ BINH BMP-1

Nguyễn Thu Cẩm*, Phạm Đình Quý, Trần Tân Tiến, Lê Ngọc Anh

Tóm tắt: Bài báo đưa ra giải pháp và phương án tính toán, thiết kế hệ thống quang học cho kính lái xe đêm sử dụng bộ biến đổi quang điện thế hệ 3, trang bị cho người lái xe trên xe chiến đấu bộ binh BMP-1. Kết quả đạt được này không những có nghĩa thực tiễn mà còn góp phần tạo cơ sở cho việc tính toán thiết kế các loại kính lái xe đêm thế hệ mới khác cho các loại xe tăng và xe thiết giáp có trong biên chế của quân đội ta.

Từ khóa: Quang - điện tử; Thiết kế hệ quang; Bộ biến đổi quang điện (BĐQĐ).

1. MỞ ĐẦU

BMP-1 là dòng xe thiết giáp lội nước huyền thoại do Liên xô thiết kế và chế tạo từ những năm 1960. Ưu điểm của dòng xe này là có tính cơ động cao, hỏa lực mạnh nên rất hiệu quả trong tác chiến đánh nhanh, thọc sâu và hỗ trợ hỏa lực cho các đơn vị bộ binh.

Để cơ động trong điều kiện ban đêm, xe BMP-1 được trang bị kính lái xe đêm hồng ngoại bán chủ động TBHE-1PIA. Đây là kính lái xe đêm thế hệ cũ, hiện nay đa phần đã xuống cấp và lạc hậu, vật tư thay thế không còn được sản xuất nữa. Tuy nhiên nhu cầu sử dụng xe thiết giáp BMP-1 trên thế giới vẫn còn khá lớn. Để đáp ứng nhu cầu này hiện một số nước Đông Âu như Cộng hòa Séc, Belarus.vv. đã cải tiến nâng cấp kính lái xe đêm TBHE-1PIA lên thế hệ 2+ hoặc 3. Do đặc điểm chung là chỉ cải tiến, nâng cấp nên sau khi thay mới bộ biến đổi quang điện, kính lái chỉ được thiết kế lại vật kính, giữ nguyên toàn bộ phần hệ quang còn lại. Kết quả là kính lái xe đêm sau cải tiến tuy quan sát tốt trong điều kiện ánh sáng yếu, nhưng thị giới của kính lái đã bị giảm từ 35° xuống còn $19,5^{\circ}$.

Đối với Quân đội ta, theo dự kiến xe BMP-1 vẫn còn phục vụ trong biên chế trong nhiều năm tới. Bởi vậy, hiện nay Tổng cục Công nghiệp quốc phòng đang tập trung nguồn lực để thiết kế chế tạo mẫu xe này phục vụ cho Quân đội.

Một trong những yêu cầu đặc biệt đối với kính lái xe đêm là hệ quang phải có tính năng quang học cao: Vật kính phải có khẩu độ và thị giới lớn để thu được nhiều năng lượng trong điều kiện ánh sáng yếu, từ đó quan sát được phạm vi không gian rộng để phục vụ cho việc điều khiển xe. Thị kính của kính lái cần phải có đường kính đồng tử ra lớn nhằm đảm bảo cho người lái xe luôn bám mắt để quan sát được đường sá trong quá trình xe cơ động rung lắc. Những đòi hỏi cao về tính năng quang học này sẽ gây ra khó khăn hơn nhiều cho quá trình tính toán, thiết kế và tối ưu quang sai so với những hệ thống quang học thông thường.

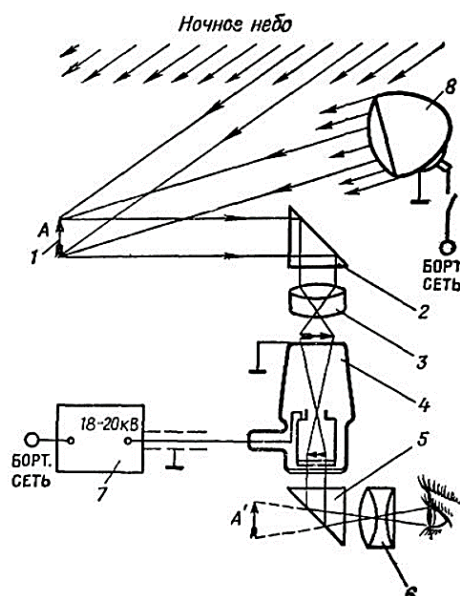
2. XÂY DỰNG PHƯƠNG ÁN THIẾT KẾ

2.1. Phân tích sơ đồ hệ quang kính lái xe đêm TBHE-1PIA

Sơ đồ nguyên lý hệ quang của kính lái xe đêm TBHE-1PIA [1] (hình 1) có cấu trúc gồm hai nhánh song song, chung nhau lăng kính đầu máy (2) và nguồn nuôi (7). Phần riêng của mỗi nhánh gồm: vật kính (3); bộ biến đổi quang điện (4); lăng kính dưới (5) và thị kính (6). Nhánh bên trái của kính lái xe TBHE-1PIA sử dụng bộ biến đổi quang điện B-2K nhạy với phổ cận hồng ngoại. Nhánh bên phải sử dụng bộ biến đổi quang điện B-2 nhạy với phổ nhìn thấy.

Với cấu trúc như vậy kính lái xe đêm TBHE-1PIA có thể hoạt động được ở cả hai chế độ: Chế độ thụ động với nhánh bên phải sử dụng bộ biến đổi quang điện B-2; Chế độ chủ động với nhánh bên trái sử dụng bộ biến đổi quang điện B-2K kết hợp với pha hồng ngoại (8).

Tuy sử dụng 2 loại bộ biến đổi quang điện khác nhau nhưng cả hai đều có cùng cấu trúc và kính thước, bởi vậy các phần còn lại như: Vật kính (3), lăng kính dưới (5) và thị kính (6) của hai nhánh về cơ bản giống nhau.

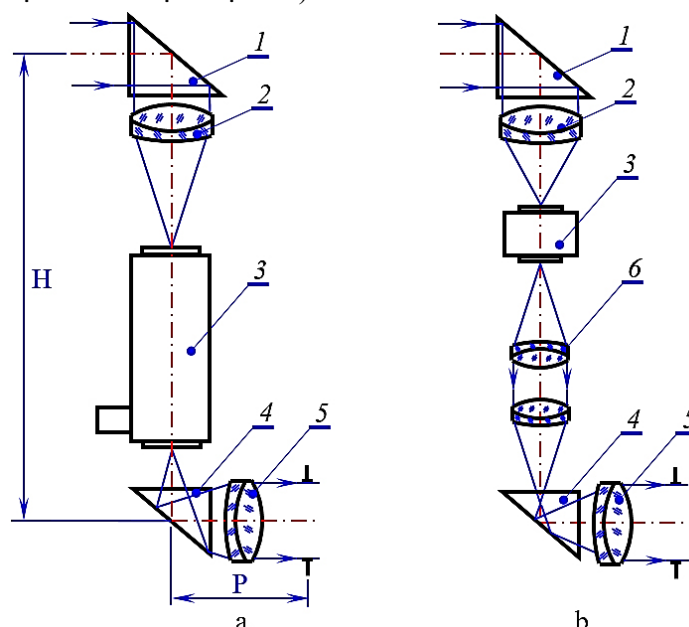


Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hệ quang kính lái xe đêm TBHE-1PIA.

2.2. Lựa chọn phương án thiết kế hệ quang cho kính lái xe đêm TBHE-1PIA-VN

Để đảm bảo không làm ảnh hưởng tới tư thế ngồi, thao tác và thói quen sử dụng kính của người lái xe, khi thiết kế kính TBHE-1PIA -VN cần đảm bảo hai điều kiện sau:

- Giữ nguyên độ tiềm vọng $H = 213 \text{ mm}$ (khoảng cách từ quang trục lăng kính đầu máy tới quang trục của kính mắt) như kính TBHE-1PIA (hình 2a);
- Giữ nguyên vị trí đặt mắt như kính TBHE-1PIA (tức giữ nguyên khoảng cách $P = 76 \text{ mm}$ từ quang trục vật kính tới vị trí đặt mắt).



Hình 2. Hệ quang kính lái TBHE-1PIA (a) và phương án bổ sung hệ đảo ảnh, giảm tiêu cự vật kính và thị kính khi thiết kế kính TBHE-1PIA-VN (b).

1 - Lăng kính đầu máy; 2 - Vật kính; 3a - Bộ biến đổi quang điện B-2K;
3b - Bộ biến đổi quang điện thế hệ 3; 4 - Lăng kính dưới; 5 - Thị kính; 6 - Hệ đảo ảnh.

Do bộ biến đổi quang điện thể hệ 3 có chiều dài nhỏ hơn nhiều so với bộ biến đổi quang điện B-2K (B-2) của kính lái xe TBHE-1ΠA, nên khi thiết kế kính mới, để đảm bảo được hai yêu cầu nêu trên cần phải thiết kế lại toàn bộ hệ thống quang học. Việc kéo dài hệ quang có thể thực hiện được bằng một trong ba giải pháp sau:

- Tăng tiêu cự vật kính và thị kính (so với kính nguyên bản TBHE-1ΠA);
- Bổ sung thêm hệ đảo ảnh vào sau bộ biến đổi quang điện thể hệ 3;
- Bổ sung hệ đảo ảnh, giảm tiêu cự vật kính và thị kính.

Do đường kính photocathode của bộ biến đổi quang điện thể hệ 3 bé hơn (17,5 mm) so với đường kính photocathode của bộ biến đổi quang điện B-2K (32 mm), nên nếu giữ nguyên hoặc tăng tiêu cự vật kính sẽ dẫn tới làm giảm thị giới của kính lái xe cần thiết kế. Bởi vậy, hai phương án đầu tiên không phù hợp.

Việc chọn giải pháp thứ 3, tức bổ sung hệ đảo ảnh, giảm tiêu cự vật kính và thị kính so với kính nguyên bản được thể hiện như trên hình 2b.

3. TÍNH TOÁN THIẾT KẾ HỆ QUANG VẬT KÍNH

3.1. Yêu cầu đặc biệt đối với vật kính cho kính lái xe đêm

Để có khả năng quan sát trong điều kiện ánh sáng yếu, tất cả các khí tài nhìn đêm đều cần phải có khẩu độ tương đối A lớn. Đối với khí tài ngắm bắn, khẩu độ tương đối thường nằm trong giới hạn từ 0,56 đến 0,71 (tương ứng với khẩu độ số $F\# = 1,8 \div 1,4$). Việc tăng giá trị A lớn hơn nữa không những làm phức tạp thêm hệ quang mà còn làm tăng khối lượng của khí tài. Riêng đối với kính lái xe đêm do có thị giới lớn, trong khi đường kính photocathode của bộ biến đổi quang điện thể hệ 3 lại nhỏ, dẫn đến tiêu cự của vật kính cũng nhỏ. Khi tiêu cự nhỏ thì việc tăng khẩu độ vật kính không làm tăng khối lượng là bao so với khối lượng chung của kính. Như vậy, kính lái xe đêm vừa có khẩu độ tương đối lớn vừa có thị giới lớn. Đây là hai điểm khác biệt của vật kính kính lái xe đêm. Hai điểm khác biệt này như chúng ta đã biết sẽ gây ra khó khăn hơn nhiều cho việc khử quang sai trong quá trình thiết kế vật kính lái xe so với những vật kính nhìn đêm thông thường.

3.2. Các tham số đầu vào

Tiêu cự vật kính: Căn cứ bộ chỉ tiêu các tham số chiến kỹ thuật đã được phê duyệt, kính lái xe đêm cần có trường nhìn $2\omega = 37^\circ$. Do đường kính photocathode của bộ BĐQĐ thể hệ mới có giá trị $D=17,5$ mm, khi đó, tiêu cự của vật kính được tính theo công thức [2]:

$$f'_{vk} = \frac{D}{2 \times \tan \omega} = \frac{17,5}{2 \times \tan 18,5} = 26,1 \text{ mm}$$

Chọn $f'_{vk} = 26 \text{ mm}$.

- Khẩu độ: theo đăng ký, kính lái cần phát hiện được người đứng thẳng cao 1,7 m trên nền cỏ xanh ở cự li 200 m. Với bộ biến đổi quang điện thể hệ 3, Bằng phương pháp Maicopxki theo trình tự tính toán đã được trình bày ở trong [3] chúng tôi tính được khẩu độ tương đối của vật kính cần có giá trị trong khoảng $0,75 \div 1$. Do bị giới hạn bởi kích thước cơ khí bên trong của thân kính nên chúng tôi chọn chọn khẩu độ tương đối $A = 0,83$ tương đương với khẩu độ số $F\# = 1,2$.
- Dải phổ thiết kế: căn cứ vào đặc tuyến phổ của photocathode làm từ các loại vật liệu khác nhau [4], ta thấy rằng với bộ biến đổi quang điện thể hệ 3 có photocathode làm từ GaAs, có dải phổ lớn nhất trong khoảng từ 0,48 μm đến 0,88 μm .

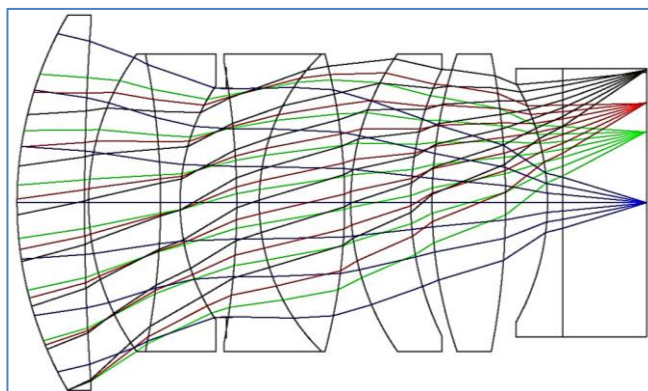
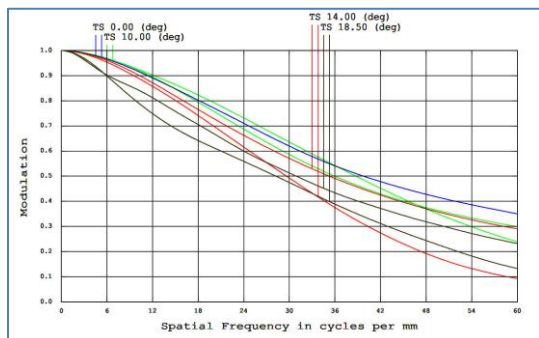
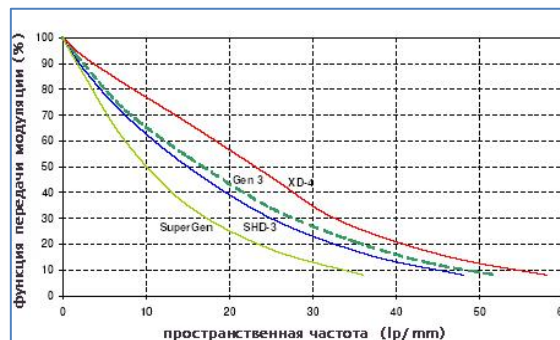
3.3. Kết quả thiết kế

Kết quả tính toán tối ưu hệ quang bằng phần mềm ZEMAX đã cho ra kết cấu như trên bảng 1.

Bảng 1. Các tham số kết cấu của vật kính được thiết kế.

Bán kính	Chiều dày dọc trục	Thủy tinh	Đường kính
23	4,5	LASFN1	12
155,6	0,271		11
15,7	4,8	Lz_TK2	9,5
-45,24	1,3	LASFN22	9,5
12,942	3,77		7,5
-48,53	1,5	Lz_BF8	9
12,942	5,7	LASFN1	9,5
-35	0,406		9,5
16,06	4	Lz_CTK12	9,5
18,57	1,424		8,5
28	4,9	Lz_CTK12	9,5
-47,68	2,794		9,5
-14,95	1	Lz_TF10	7,6
Phẳng	5,6	Lz_LK3	9

Hệ quang vật kính được thể hiện trên hình 3. Gồm có 8 thấu kính, tổng chiều dài hệ quang 41,96 mm. Hàm MTF (hình 4) của vật kính ở tần số 60 cặp vạch đạt $k=0,1$ (ở biên trường nhìn) và $k=0,36$ (ở tâm trường nhìn). Giá trị đạt được này cao hơn hàm MTF của các loại bộ biến đổi quang điện thông dụng hiện nay (hình 5) [5]. Do vật kính có số lượng thấu kính ít, nên sai số khi gia công ảnh hưởng không nhiều tới chất lượng ảnh thu được. Bởi vậy, rất phù hợp với việc gia công chế tạo loạt.

**Hình 3.** Hệ quang vật kính.**Hình 4.** Hàm MTF vật kính.**Hình 5.** Hàm MTF của các loại bộ biến đổi quang điện thông dụng.

4. TÍNH TOÁN THIẾT KẾ HỆ QUANG SAU BỘ BDQĐ

4.1. Yêu cầu đặc biệt đối với hệ quang sau bộ BDQĐ của kính lái xe đêm

Do các khí tài nhìn đêm thông thường chủ yếu làm việc ở trạng thái cố định nên đường kính đồng tử ra thường chỉ dao động trong khoảng 5÷8 mm. Đối với kính lái xe đêm, do luôn làm việc ở trạng thái khi xe cơ động nên đường kính đồng tử ra cần phải lớn hơn nhiều để bù lại cho sự rung lắc khi lái xe. Đây là điểm khác biệt làm cho việc khử quang sai của hệ quang sau bộ BDQĐ của kính lái xe đêm phức tạp hơn nhiều so với việc khử quang sai sau bộ BDQĐ của những kính nhìn đêm thông thường khác.

4.2. Các tham số đầu vào

Tiêu cự và thị giới của hệ quang sau bộ BDQĐ: Do độ phóng đại của kính lái xe đêm bằng 1 nên tiêu cự hệ quang sau bộ BDQĐ có giá trị bằng tiêu cự vật kính nhưng ngược dấu, còn thị giới thì bằng thị giới của vật kính.

Đường kính đồng tử ra d và cự li đặt mắt p theo đăng ký là: $d=22$ mm; $p=17$ mm.

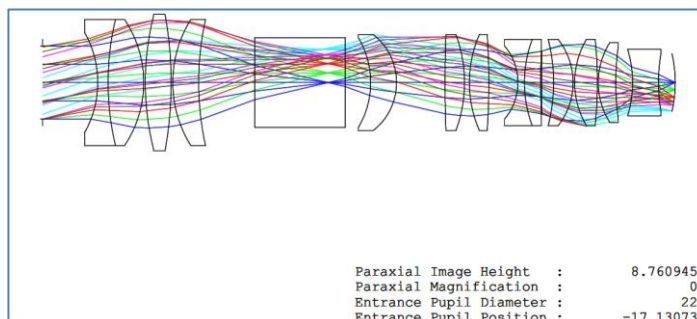
4.3. Kết quả thiết kế

Kết quả tính toán tối ưu hệ quang bằng phần mềm ZEMAX đã cho ra kết cấu như trên bảng 2.

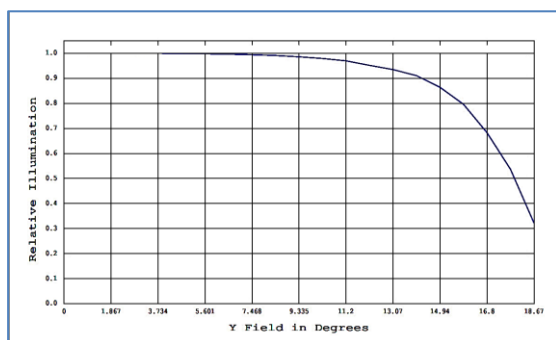
Bảng 2. Các tham số kết cấu của hệ quang sau bộ BDQĐ.

Bán kính	Chiều dày dọc trục	Thủy tinh	Đường kính
-30,02	3,2	Lz_TF10	15
79,8	11	Lz_CTK12	19
-33,32	0,5		19
79,8	8	Lz_CTK12	20,5
-111,43	0,5		20,9
35,08	8	Lz_CTK12	19
86,531	17,303		19
Phẳng	28	Lz_K8	13,5
Phẳng	7,85		13,5
-25,94	8	Lz_CTK12	13,5
-18,03	15		14,5
380,2	6	Lz_CTK12	14,5
-40,43	1,522		14,5
35,57	6	Lz_CTK12	14,5
-199,53	9		14
-16,596	2	Lz_TF10	11
36,23	5	Lz_CTK12	13
188,24	0,38		13
Phẳng	3,646		13
-50,35	6	Lz_CTK12	13
-20,51	0,5		13
25	7	Lz_CTK12	13
-127,62	0,3		13
22,01	5,4	Lz_CTK12	13
79,02	5,2		11
-33,32	8	Lz_TF10	13
50	5,176		9
-38			

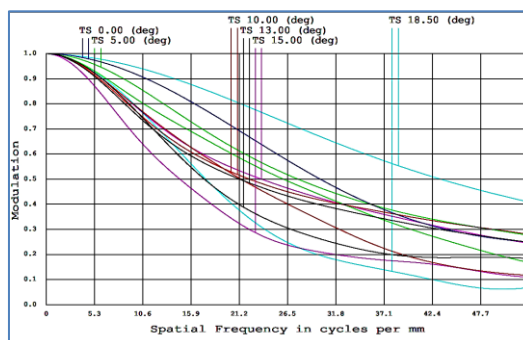
Hệ quang sau bộ BDQĐ theo chùm tia ngược được thể hiện như trên hình 6, gồm có 13 thấu kính. Trong đó hệ đảo ảnh có 9 thấu kính. Cụ li đặt mắt $p = 17,13 \text{ mm}$, đường kính đồng tử ra $d = 22 \text{ mm}$.



Hình 6. Hệ quang sau bộ BDQĐ.



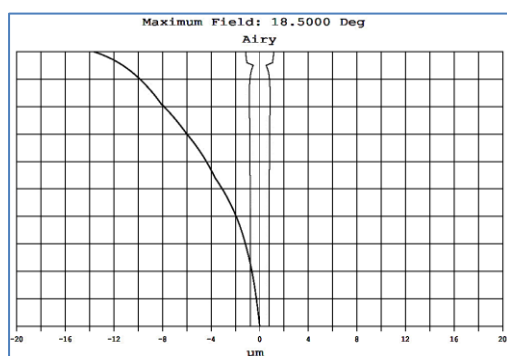
Hình 7. Bán độ của hệ quang sau bộ BDQĐ.



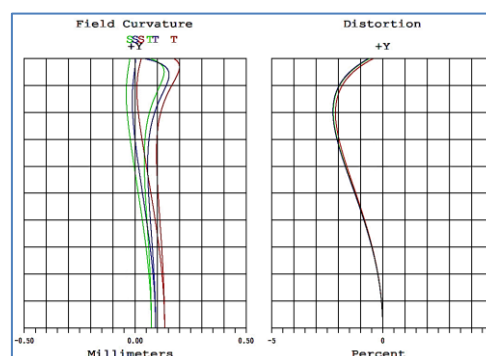
Hình 8. Hàm MTF hệ quang sau bộ BDQĐ.

Bán độ của hệ quang (hình 7) chỉ lớn hơn 50% trong phạm vi thị giới chưa đến 1^0 (từ $17,83^0$ đến biên). Từ $17,83^0$ về tâm hiện tượng bán độ và giảm nhanh. Với mức bán độ như vậy, hệ quang hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu quan sát.

Hàm MTF (hình 8) đạt được của hệ quang ở tần số 53 cặp vạch/mm đạt $k=0,06$ tại biên thị giới. Sắc sai phóng đại (hình 9) lớn nhất chỉ khoảng $13,9 \mu\text{m}$. Loạn thị (hình 10) không vượt quá $0,2 \text{ mm}$ trên toàn bộ thị giới.



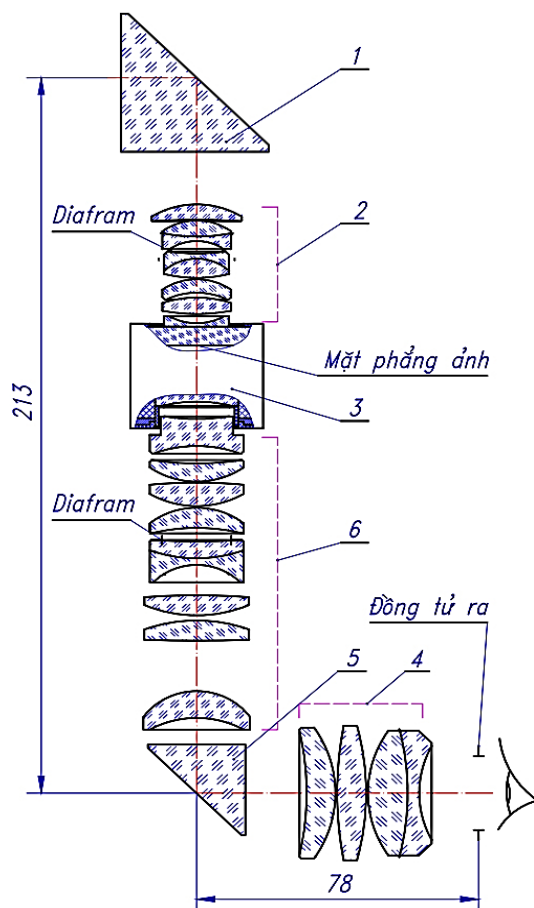
Hình 9. Sắc sai phóng đại hệ quang sau bộ BDQĐ.



Hình 10. Loạn thị và méo ảnh hệ quang sau bộ BDQĐ.

Với tiêu cự hệ quang sau bộ BDQĐ là 26 mm , đối chiếu với tiêu chí đánh giá hệ quang sau bộ BDQĐ [6] thì những giá trị này hoàn toàn vượt yêu cầu (các tiêu chí tương ứng trong [6] là $k=0,02$; Sắc sai phóng đại $18,9 \mu\text{m}$; Loạn thị $0,7 \text{ mm}$).

Méo ảnh lớn nhất của hệ quang sau bộ BĐQĐ (hình 10) không vượt quá 2,2%. Đối chiếu với tiêu chí cho phép trong [7] chỉ là 4%. Bởi vậy, giá trị méo ảnh đạt được hoàn toàn vượt yêu cầu.



Hình 11. Hệ quang kính lái xe đêm TVNE-1PA-VN.

Trên hình 11 là sơ đồ hệ quang của kính lái xe đêm TBHE-1PIA-VN được thiết kế. Cấu tạo gồm có: Lăng kính đầu máy (1); Vật kính (2); Bộ biến đổi quang thể hệ 3 (3); Lăng kính dưới (4); Thị kính (5) và Hệ đảo ảnh (6). Khoảng tiêu cự H của hệ quang giữ nguyên giá trị 213 mm như của hệ quang nguyên bản. Còn khoảng cách P từ quang trục vật kính tới vị trí đặt mắt có giá trị 78 mm, lớn hơn giá trị cũ 2 mm. Lượng chênh lệch này cơ bản nhỏ không ảnh hưởng đáng kể đến thao tác của người lái xe.

5. KẾT LUẬN

Trên cơ sở khảo sát sơ đồ hệ quang của kính lái xe đêm TBHE-1PIA nguyên bản trên xe chiến đấu bộ binh БМП-1. Chúng tôi đã xây dựng phương án, tiến hành nghiên cứu và tính toán thiết kế thành công hệ quang cho kính lái xe đêm TBHE-1PIA-VN sử dụng bộ biến đổi quang điện thể 3. Kết quả đạt được này có ý nghĩa quan trọng, tạo cơ sở cho việc tính toán thiết kế các loại kính lái xe đêm thể hệ mới khác đồng thời tạo ra một sản phẩm mới góp phần nâng cao khả năng tác chiến ban đêm cho bộ đội và tạo thế chủ động trong khâu đảm bảo kỹ thuật cho lực lượng Tăng-thiết giáp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. “Прибор ночного наблюдения ТВНЕ-1ПА”. Техническое описание. стр. 9-16.

- [2]. Н.П. Заказнов, С.И. Ирюшин, В.И. Кузичев, “Теория оптических систем,” Москва Машиностроение, 1992, стр. 378-385.
- [3]. P. Đ. Quí, Ng. T. Cầm, P. Đ. Tuấn, N. V. Sừ, T. T. Bảo, “Tính toán thiết kế quang học vật kính kính đêm cho kính trường xe hỗn hợp ngày đêm trên xe chiến đấu bộ binh BMP-1”, Tạp chí Nghiên cứu KH&CN quân sự, Số Đặc san FEE, 10-2019, trang 266-272.
- [4]. В. В. Тарасов, Ю. Г. Якушенков “Инфракрасные системы СМОТРЯЩЕГО ТИПА”, Москва Логос - 2004, стр. 204-205. М.М. Русинов, Техническая оптика, Ленинград Машиностроение - 1979, стр. 379-401.
- [5]. Леон А. Бош Léon A. Bosch, “Рабочие характеристики эоп имеют важное значение” дэп delft Electronic Products B. V. Нидерланды P. O. Box 60, 9300ab roden, The Netherlands.
- [6]. Lê Văn Đại, “Nghiên cứu đề xuất tiêu chí đánh giá chất lượng tạo ảnh của hệ quang sau bộ biến đổi quang điện của khí tài nhìn đêm”, Luận văn thạc sỹ, 2019, trang 47-56.
- [7]. Marin Drinov, “Night vision devices modeling and optimal design”, Daniela Borissova, House of Bulgarian Academy of Sciences. 2015.

ABSTRACT

CALCULATION AND DESIGN OF OPTICAL SYSTEM FOR TBHE-1ПA-VN DRIVER'S NIGHT VISION SYSTEM ON THE BMP-1 INFANTRY FIGHTING VEHICLE

The article presents a solution, a calculation approach and an optical system design for night vision equipment using the 3rd generation photoelectric converter, which is equipped for the driver on the BMP-1 infantry fighting vehicle. The results not only have practical significance but also contributes to creating a basis for the calculation and design of other new generation night vision devices for tanks and armored vehicles in the army.

Keywords: Opto-electronics; Optical design; Image intensifier tube.

*Nhận bài ngày 07 tháng 8 năm 2021
Hoàn thiện ngày 20 tháng 9 năm 2021
Chấp nhận đăng ngày 10 tháng 10 năm 2021*

Địa chỉ: Viện Vật lý kỹ thuật, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.

**Email:* nguyenthucam2003@yahoo.com.