

УДК 535.885.5; 531.717.88

ТЕЛЕСКОПІЧНИЙ ПРИЦІЛ ПІДВИЩЕНОЇ НАДІЙНОСТІ¹⁾Сенаторов В. М., ²⁾Микитенко В. І., ³⁾Сенаторов М. В.¹⁾Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ, Україна²⁾Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна³⁾UA.RPA, Київ, УкраїнаE-mail: v.senatorov1945@i.ua, v.mikitenko@nil-psf.kpi.ua, mykola.senatorov@gmail.com

Аналіз тенденцій розвитку озброєння та військової техніки провідних країн світу дозволив виділити чітку тенденцію – спрощення експлуатації озброєння з одночасним підвищенням їх надійності. Стосовно стрілецької зброї це означає, що в перспективі вона повинна безвідмовно забезпечувати виконання бойової задачі в жорстких умовах експлуатації.

Мета статті – розробити методику проектування вдосконаленої оптичної схеми телескопічного прицілу без рухомих вузлів і без повітряних проміжків між оптичними компонентами.

У статті запропоновано методику проектування моноблочного телескопічного прицілу на базі афокальної лінзи, проведено абераційний розрахунок каналу формування зображення прицільної марки типу «red dot». Розглянуто технічні рішення щодо підсвічування прицільної марки в разі суміщення її з другою заломлюючою поверхнею афокальної лінзи та запропоновано методику використання прицілу при виконанні бойової задачі.

При виконанні телескопічного прицілу у вигляді суцільного моноблоку – відсутні повітряні проміжки між оптичними елементами всередині прицілу, немає рухомих елементів. У підсумку все це підвищує надійність прицілу і спрощує його експлуатацію у військових частинах.

Приціл доцільно інстальювати на автоматичній стрілецькій зброї замість коліматорного прицілу типу «red dot», оскільки при цьому зменшується методична похибка прицілювання і збільшується дальність виявлення і розпізнавання цілі.

Ключові слова: надійність; прицільна марка; стрілецька зброя; телескопічна лінза; телескопічний приціл.

Вступ

Проведений авторами роботи [1] аналіз тенденцій розвитку озброєння та військової техніки провідних країн світу дозволив виділити важливу, на їх погляд, чітку тенденцію – спрощення експлуатації озброєння з одночасним підвищенням їх надійності. Стосовно стрілецької зброї це означає, що в перспективі вона повинна безвідмовно забезпечувати виконання бойової задачі в жорстких умовах експлуатації.

Як свідчать останні військові конфлікти, більшість з них вирішується із застосуванням стрілецької зброї, спорядженої телескопічним прицілом. Методична похибка δ прицілювання в такому разі визначається критерієм Штампфера [2]: $\delta = (0,07...024)/\Gamma^*$ [мрад] залежно від тренуваності стрільця, де Γ^* – збільшення прицілу. Надійність прицілу визначається як здатністю рухомих конструктивних вузлів зберігати кутове положення лінії прицілювання, так і спроможністю прицілу забезпечувати виконання бойової задачі в жорстких кліматичних умовах при дії динамічних навантажень.

Рухомими конструктивними вузлами, що впливають на стабільність положення лінії прицілювання, є [3]:

- пристрій вводу кутів прицілювання при переміщенні прицільної марки залежно від відстані до цілі;
- оберտальна оптична система при зміні кратності телескопічного прицілу;
- окуляр при діоптрійному наведенні;
- посадочний кронштейн при переустановленні прицілу на посадочному місці зброї.

Неякісне збирання прицілу може привести до розгерметизації прицілу і, як результат, до запотівання оптики всередині прицілу при різкому перепаді температури в умовах постійних динамічних навантажень.

Постановка задачі

На практиці малогабаритні приціли у моноблочному виконанні зазвичай будуються за коліматорною схемою [4], що зменшує дальність прицілювання. Телескопічні приціли суттєво збільшують дальність, але не є моноблочними [5]. Також необхідно відмітити, що методики розрахунків таких прицілів є досить складними. Раніше були запропоновані варіанти конструктивного вирішення моноблочних прицілів з центрованою та децентрованою телескопічними лінзами [6]. Зважаючи на складність оптичної схеми для прицілів, були запропоновані спрощені інженерні мето-

дики розрахунку. Однак, недоліком таких рішень є невисока яскравість зображення прицільної сітки. Це знижує ефективність використання прицілів в умовах високого рівня зовнішнього освітлення. Отже доцільним є вдосконалення запропонованих раніше схемотехнічних рішень телескопічного прицілу без рухомих вузлів і без повітряних проміжків між оптичними компонентами та розробка методики його проектування.

Методика габаритного розрахунку оптичної схеми зорової труби

В роботі [7] було показано, що товста телескопічна (афокальна) лінза може бути використана як телескопічний візор галілейського типу в моноблочному виконанні. При умові введення в поле зору стрільця прицільної марки таке виконання візору вирішує цілу низку проблем, властивих прицілам з класичною схемою побудови. Зокрема, виключає запотівання внутрішніх оптичних поверхонь при різкій зміні температури (при десантуванні) і можливе роз'юстування прицілу в умовах динамічних впливів. Для збереження умови моноблочності прицілу марка 2 (Рисунок) має бути суміщена з ближньою до ока стрільця (другою за ходом променів) заломлюючою поверхнею телескопічної лінзи 1. Для відображення прицільної марки на безкінечності вона має знаходитись у фокальній площині оптичної схеми, що містить другу заломлюючу поверхню телескопічної лінзи і відбиваючу поверхню, сформовану спектроподільником, нанесеним на першу заломлюючу поверхню телескопічної лінзи.

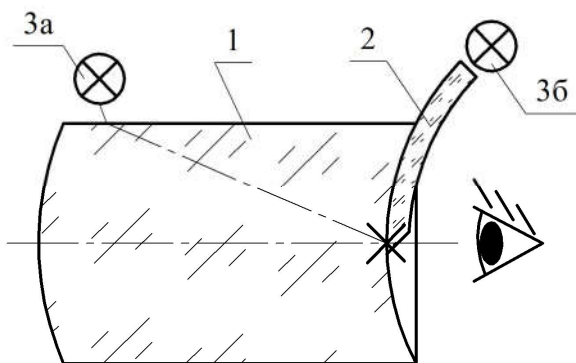


Рисунок. Оптична схема телескопічного прицілу, де: 1 – телескопічна лінза, 2 – прицільна марка, 3 – джерело світла, 4 – світлопровід

Для того, щоб виконати умову телескопічності лінзи, радіуси кривизни r_i її заломлюючих поверхонь мають задовольняти умові [8]:

$$r_2 = r_1 - d(n-1)/n, \quad (1)$$

де d – товщина лінзи вздовж оптичної осі, а n – показник заломлення матеріалу лінзи.

При такому виконанні прицілу перша заломлююча поверхня телескопічної лінзи виконує функцію об'єктиву з фокусною відстанню

$$f_1 = n r_1 / (n-1), \quad (2)$$

а друга заломлююча поверхня телескопічної лінзи виконує функцію окуляру з фокусною відстанню

$$f_2 = n r_2 / (n-1). \quad (3)$$

Тобто збільшення Γ^* телескопічного прицілу визначається відношенням f_1/f_2 і з урахуванням (1), (2) і (3) знаходиться за формулою:

$$\Gamma^* = n r_1 / [r_1 - d(n-1)]. \quad (4)$$

З цієї формули витікає, що для отримання великого значення показника Γ^* необхідно збільшувати довжину і використовувати матеріал з високим показником заломлення.

Для того, щоб прицільна марка була суміщена з другою за ходом променів заломлюючою поверхнею телескопічної лінзи, необхідно виконати умову:

$$1/d + 1/f_1 = 2/r_1$$

або з врахуванням (2):

$$r_1 = d(n+1)/n. \quad (5)$$

Дослідження [7] свідчать, що особливості інсталяції прицілу на стрілецькій зброї обмежують довжину моноблоку $d \leq 100$ мм.

Сучасний стан оптичного виробництва показує, що найбільший показник заломлення у видимій області спектру має скло марки СТФ 3, у якого $n_e=2,1863$ [9].

Послідовно підставляючи ці данні в формули (5), (1) і (4), отримуємо значення: $r_1=145,74$ мм; $r_2=91,48$ мм, $d=100$ мм і $\Gamma^*=1,59$ крат.

При такому збільшенні методична похибка прицілювання не перевищує 0,15 мрад. Маса прицілу становить до 400 г.

Абераційний розрахунок каналу формування прицільної сітки

За розрахунком, фокусна відстань каналу формування прицільної сітки $f_3=62,8$ мм. При цьому діаметр центральної точки прицільної марки типу «red dot» з кутовим розміром 1 мрад (відповідає середньому розміру голови людини на відстані 200 м) становитиме 0,063 мм.

Паралакс центральної точки прицільної марки визначається сферичною аберациєю оптичної системи, що формується сферичним дзеркалом радіусом $r_1=145,74$ мм і заломлюючою поверхнею радіусом $r_2=91,48$ мм, відстань між дзеркалом і цією поверхнею $d=100$ мм, показник заломлення на вході заломлюючої поверхні $n_e=2,1863$, а показник заломлення на її виході $n=1$.

Дані розрахунку паралаксу ρ для ряду значень висоти t променя на сферичному дзеркалі представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Дані розрахунку паралаксу

m (мм)	5	10	15	18	20
ρ (мрад)	0,12	0,23	0,4	1,1	1,26

Аналіз сучасного рівня прицілювання показує, що паралактична похибка прицілів для стрілецької зброї не перевищує 1 мрад [10, 11]. З цих даних витікає, що лінійна апертура телескопічної лінзи не має перевищувати 36 мм, аби забезпечити задану точність прицілювання. З конструктивної точки зору, для зручності інсталяції прицілу на стрілецькій зброї доцільно, щоб моноблок мав прямокутну апертуру з розмірами 21,6 мм (висота) і 28,8 мм (ширина). В ідеалі ширина s телескопічної лінзи має вписуватись в контур зброї, а висота h визначається залежністю $h=(36^2 - s^2)^{1/2}$.

При зазначених габаритах прицілу його поле зору визначається відомою формулою [8] і становить $3,5^\circ$ по вертикалі та $4,7^\circ$ по горизонталі при віддаленні ока від прицілу на 75 мм. При наближенні ока до прицілу на 25 мм поле зору суттєво збільшується і становить $5,5^\circ$ по вертикалі і $7,3^\circ$ по горизонталі.

Введення зображення прицільної сітки

Проблемним питанням при конструюванні моноблочного прицілу залишається введення зображення прицільної сітки в поле зору стрільця. Тут можна розглядати декілька варіантів технічного рішення проблеми.

Перший варіант. Сітка 1 виконується гравіруванням або травленням точки діаметром 0,063 мм. Підсвічування здійснюється природним світлом через поліровану прозору верхню площину телескопічної лінзи 2. Світло розсіюється на рельєфі сітки в бік нейтрального світлоподільника на першій заломлюючій поверхні телескопічної лінзи. Але при такому виконанні в полі зору стрільця можуть спостерігатись паразитні рефлекси від зовнішнього середовища. На нашу думку, доцільніше замість природного світла використовувати квазімонохромне джерело 3а схемою, наведеною на Рисунку, наприклад, світлодіод STAR/OLXHL-ND98, а замість нейтрального світлоподільника – спектроподільник

$\{(90\text{И}\times 3)(41\text{И}\times 3)\}[\times 9](90\text{И}\times 3)(41\text{И}\times 1,5)$ для $\lambda_{\text{max}}=0,625$ мкм. Водночас, джерело 3а розміщується поблизу першої заломлюючої поверхні збоку телескопічної лінзи 2, щоб діаграма його випромінювання мала мінімальний кут із оптичною віссю прицілу. Усі бокові площини телескопічної лінзи 2 непрозорі, прозорою залишається лише віконце навпроти джерела 3а.

Другий варіант. Сітка 1 виконується у вигляді дзеркальної точки. Її підсвічування здійснюється світлодіодом 3а, як у попередньому варіанті

виконання. Світло відбивається від дзеркальної точки у бік спектроподільника.

Третій варіант. Сітка 1 виконується фотографічним шляхом у вигляді прозорої точки на непрозорому фоні. Для її підсвічування використовується тонкий світлопровід 4 прямокутного перерізу зовні прицілу (Рисунок), вхідний торець якого контактує із світлодіодом 3б.

Методика використання прицілу

При інсталяції прицілу на зброї можуть застосовуватись дві технології. Перша – при виготовленні моноблока 1 прицільна марка 2 прив'язується до його бокової (розмір $14,4\pm 0,006$ мм) і нижньої (розмір $10,8\pm 0,006$ мм) базових поверхонь з жорсткими допусками. На зброї передбачаються дві базові площини, прив'язані до осі каналу ствола зброї, на які базується моноблок при розміщенні на зброї, із застосуванням спеціальної контрольно-юстувальної апаратури [12]. Друга – при виготовленні моноблока 1 прицільна марка 2 прив'язується до його бокової і нижньої поверхонь з вільними допусками. При інсталяції прицілу на зброї застосовується ствольний коліматор. Вибір технології здійснює головний конструктор зброї.

В режимі пошуку цілі стрілець максимально наближує око до прицілу і спостерігає оточуючий простір в полі зору $7,3^\circ$ по горизонталі (12,8 м на дальності 100 м). Після виявлення цілі стрілець віддаляється від прицілу на безпечну для ока відстань, не гублячи водночас зображення цілі. Зіставляючи зображення голови людини і прицільної точки, стрілець візуально оцінює дистанцію до цілі і визначає кутову поправку на пониження кулі, знаючи спроможності своєї зброї. Спостерігаючи за рухом цілі, стрілець визначає поправку на рух цілі. Розвертаючи зброю з прицілом, стрілець спрямовує вісь каналу ствола зброї в упереджувальну точку і виконує прицільний постріл.

Висновок

При виконанні телескопічного прицілу у вигляді суцільного моноблоку відсутні повітряні проміжки між оптичними елементами всередині прицілу, а також немає рухомих елементів. У підсумку це підвищує надійність прицілу і спрощує його експлуатацію у військових частинах.

Приціл доцільно інсталювати на автоматичній стрілецькій зброї замість коліматорного прицілу типу «red dot», оскільки при цьому в 1,59 раз зменшується методична похибка прицілювання, і збільшується дальність виявлення і розпізнавання цілі.

Приціл має проектуватись під конкретну зброю, враховуючи посадочне місце для прицілу.

Подальше вдосконалення прицілу має бути спрямоване на зменшення маси прицілу внаслідок впровадження методики прицілювання із використанням прицільних сіток спеціальної форми.

Література

- [1] П. І. Нор, В. А. Єфіменко, О. В. Василенко, “Взаємозв’язок світових тенденцій розвитку ОБТ і форм та способів ведення збройної боротьби”, *Стратегічна панорама*, № 4, с. 119-127, 2009.
- [2] И. Н. Ананьев, *Основы устройства прицелов*, Москва, СССР: Военное издательство Министерства Вооруженных Сил СССР, 1947.
- [3] J. H. Burge, “An easy way to relate optical element motion to system pointing stability”, *Current Developments In Lens Design And Optical Engineering VII, Proc. SPIE 6288*, 62880I-1-12, 2006.
- [4] Best Red Dot Sights [Hands-On]: Rifle, Pistol, & All Budgets [Online]. Available: <https://www.pewpewtactical.com/red-dot-sights>.
- [5] Sadowski Robert A., *Shooter's Bible Guide to Tactical Firearms: A Comprehensive Guide to Precision Rifles and Long-Range Shooting Gear*. Simon and Schuster, 2015.
- [6] Н. В. Сенаторов, В. И. Микитенко, “Моноблочный телескопический прицел для стрелкового оружия” *Артиллерийское и стрелковое вооружение: Международный научно-технический журнал*, Киев: НТЦ АСВ, №3(16), с.46-50, 2005.
- [7] Н. В. Сенаторов, В. И. Микитенко, “Моноблочный телескопический визир малого увеличения”, *Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування*, Вип. 27, с. 50-55, 2004.
- [8] Г. Г. Слюсарев, *Расчет оптических систем*, Ленинград, СССР: Машиностроение, 1975.
- [9] ГОСТ 3514-94. Стекло оптическое бесцветное. Технические условия. Межгосударственный стандарт.
- [10] А. В. Гурнович, Н. В. Сенаторов, В. Г. Колобродов и др., “Сопоставительный анализ телескопических прицелов для стрелкового оружия”, *Артиллерийское и стрелковое вооружение: Междунар. науч.-тех. журнал*, Киев: НТЦ АСВ, №3(12), с.35-41, 2004.
- [11] Н. В. Сенаторов, В. И. Микитенко, “Сопоставительный анализ оптических схем коллиматорных прицелов”, *Артиллерийское и стрелковое вооружение: Междунар. науч.-тех. журнал*, Киев, Украина: НТЦ АСВ, Вып. 7, с. 11-19, 2003.
- [12] Н. В. Сенаторов, И. М. Алексеенко, “Принцип блочно-модульного комплексирования стрелкового оружия с оптическим прицелом”, *Артиллерийское и стрелковое вооружение: Междунар. науч.-тех. журнал*, Киев: НТЦ АСВ, Вып. 4, с. 70-72, 2001.

УДК 535.885.5; 531.717.88

¹⁾В. Н. Сенаторов, ²⁾В. И. Микитенко, ³⁾Н. В. Сенаторов

¹⁾Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина

²⁾Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина

³⁾UA.RPA, Киев, Украина

ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИЙ ПРИЦЕЛ ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ

Анализ тенденций развития вооружения и военной техники ведущих стран мира позволил установить четкую тенденцию – упрощение эксплуатации вооружения при одновременном повышении его надежности. Касательно стрелкового оружия это означает, что в перспективе оно должно безотказно обеспечивать выполнение боевой задачи в жестких условиях эксплуатации.

Цель статьи – разработать методику проектирования усовершенствованной оптической схемы телескопического прицела без подвижных узлов и без воздушных промежутков между оптическими компонентами.

В статье разработана методика проектирования моноблочного телескопического прицела на базе афокальной линзы. На основании проведенного абберационного расчета канала формирования изображения прицельной сетки типа «red dot» определена линейная апертура афокальной линзы при заданной погрешности линии прицеливания. Рассмотрены технические решения касательно подсветки прицельной сетки при совмещении ее со второй преломляющей поверхностью афокальной линзы и предложена методика применения прицела при выполнении боевой задачи.

При проектировании телескопического прицела в виде сплошного моноблока – отсутствуют воздушные промежутки между оптическими компонентами внутри прицела, нет подвижных элементов. В итоге все это повышает надежность прицела и упрощает его эксплуатацию в войсковых частях.

Прицел целесообразно устанавливать на автоматическом стрелковом оружии вместо коллиматорного прицела типа «red dot», поскольку при этом уменьшается методическая ошибка прицеливания и увеличивается дальность обнаружения и распознавания цели.

Намечены пути дальнейшего совершенствования прицела.

Ключевые слова: надежность; прицельная сетка; стрелковое оружие; телескопическая линза; телескопический прицел.

¹⁾Volodymyr M. Senatorov, ²⁾Volodymyr I. Mykytenko, ³⁾Mykola V. Senatorov

¹⁾Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²⁾National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

³⁾UA.RPA, Kyiv, Ukraine

TELESCOPIC SIGHT WITH UPGRADED DURABILITY

Analysis of the leading world states trends on development of armament and military equipment permits to determine a clear tendency - simplification of armament operation at simultaneous upgrading it durability. Concerning to small armament it means, in perspective it should insure no-failure the battle task execution in the hard operation condition.

Paper purpose is to elaborate a methodology for designing improved telescopic sight optical scheme without movable nodes and air spaces between optical components.

Methodology for designing solid telescopic sight on base of afocal lens is elaborated in paper. Telescopic sight on base of afocal lens with thickness 100 mm from STF 3 grade glass is designed. Afocal lens linear aperture (36 mm) is determined on base of aberration calculation for channel of «red dot» type aiming reticle image formation at prescribed sighting line error. The technical solutions deal with illumination of aiming reticle at it coupling with the second refracting surface of afocal lens are considered in paper and the methodology for using that sight at battle task execution is proposed.

Air spaces between optical components within sight and movable elements are absent when telescopic sight is designed as solid monobloc unit. As result, this all increases a sight durability and simplifies it operation in military units.

There is reasonably to install a sight on small arms instead collimator sight «red dot» type, because a methodological aiming error is decreased and distance for target detection and recognition is increased in that case.

There are aspired the ways for further improving sight with purpose to decrease a sight weight due-to implementation of aiming methodology with specific form aiming reticle (pat Ukraine 37105A).

Key words: durability; sight reticle; small armament; telescopic lens; telescopic sight.

*Надійшла до редакції
05 червня 2020 року*

*Рецензовано
17 червня 2020 року*