

УДК 623.4.054:681.518

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.4\(24\).71-77](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.4(24).71-77)**В. М. СЕНАТОРОВ,**

кандидат технічних наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0001-5387-5693>

(Центральний науково-дослідний інститут

озброєння та військової техніки

Збройних Сил України, м. Київ)

М. В. СЕНАТОРОВ, кандидат технічних наук

(ТОВ «ЮА.РПА», м. Київ)

Застосування нашоломної системи індикації у сухопутних військах

Розглянуті проблеми, що виникають при проектуванні нашоломних систем індикації, призначених для Сухопутних військ: сприйняття оператором транспортного засобу колімованого зображення в замкнутому просторі; раціональний вибір формувача зображення; методики розрахунку обраної оптичної схеми; компоновка індикатора на захисному шоломі/голові оператора. Перспективна НСІ повинна проектуватись окремо для кожного типу захисного шолому, аби врахувати особливості його експлуатації. В процесі проектування доцільно орієнтуватись на OLED дисплеї стандартного формату. Сприйняття колімованого зображення в замкнутому просторі повинно перевіритись експериментально. Також доцільно провести дослідження впливу зовнішніх факторів на голографічний оптичний елемент на основі біхромату желатину.

Ключові слова: нашоломна система індикації, колімоване зображення, формувач зображення, оптична схема, захисний шолом

Рассмотрены проблемы, возникающие при проектировании нашлемных систем индикации, предназначенных для Сухопутных войск: восприятие оператором транспортного средства коллимированного изображения в замкнутом пространстве; рациональный выбор формирователя изображения; методики расчета выбранной оптической схемы; компоновка индикатора на защитном шлеме/голове оператора. Перспективная нашлемная система индикации должна проектироваться отдельно для каждого типа защитного шлема, дабы учесть особенности его эксплуатации. В процессе проектирования целесообразно ориентироваться на OLED дисплеи стандартного формата. Восприятие коллимированного изображения в замкнутом пространстве должно проверяться экспериментально. Также целесообразно провести исследования влияния внешних факторов на голографический оптический элемент на основе бихромата желатина.

Ключевые слова: нашлемная система индикации, коллимированное изображение, формирователь изображения, оптическая схема, защитный шлем

Як показали останні міжнародні виставки озброєння та військової техніки, нашоломна система індикації (НСІ), яка була застосована вперше в авіації [1], знаходить широке застосування і у Сухопутних військах (рис. 1-3, робоче місце командира транспортного засобу, оператора дистанційно керованого агрегату, спорядження стрілка і таке інше). Переваги такої системи перед бортовим індикатором полягають в тому, що при комплексуванні з системою позиціонування захисного шолома, інформація буде відповідати реальному напрямку спостереження в заданих координатах і зберігатися перед очима оператора при будь-якому довільному положенні голови. Окрім того, вивільнюється місце на приладній дошці транспортного засобу, оскільки виключається ряд бортових дисплеїв, функцію яких виконуватиме НСІ.

Нашоломна система індикації відноситься до особливого класу систем відображення інформації індивідуального користування. Це пояснюється, в основному, задачами, що вирішуються за її допомогою, та ергономічними вимогами, пов'язаними з її розміщенням на захисному шоломі/голові оператора. Основні задачі НСІ – відображати в полі зору оператора растрову відеоінформацію від оглядових телевізійних/тепловізійних систем для пошуку, виявлення та розпізнавання цілей, а також символічну/графічну інформацію про стан систем транспортного засобу, прицільні мітки і таке інше. Елементи конструкції НСІ не повинні обмежувати оператора огляд оточуючого простору (в т.ч. приладної панелі в разі застосування всередині транспортного засобу) і забезпечувати безпеку експлуатації. Поле зору індикатора доцільно обмежувати зоною чіткого бачення людського ока, тобто $30...35^\circ$ [2].

Проблематика конструювання нашоломної системи індикації пов'язана із:

- сприйняттю оператором транспортного засобу колімованого зображення;
- вибором формувача зображення;
- габаритним і абераційним розрахунками обраної оптичної схеми;
- компоновкою індикатора на захисному шоломі/голові оператора.

Сприйняття оператором транспортного засобу колімованого зображення

Якщо льотчик знаходиться у відкритому просторі, більшість часу спостерігаючи простір цілей і лише інколи звертаючи увагу на приладну дошку (необхідна інформація про стан систем носія відображається на дисплеях), то індикатор має бути колімованого типу [2]. На відміну від цього оператор транспортного засобу знаходиться у замкнутому просторі, тому сприйняття ним колімованого зображення має бути досліджене окремо.

Глибина чіткого бачення ока людини без акомодатії залежить від діаметра зіниці $D_{\text{зін}}$. Зокрема, при яскравості всередині транспортного засобу не менше 135 кд/м^2 $D_{\text{зін}} = 4 \text{ мм}$ [3]. При цьому положення передньої $P_{\text{пер}}$ і

задньої $P_{зад}$ межі чітко спостережуваного простору визначається залежностями [4]:



Рис. 1. Нашоломний індикатор Iron Vision (Ізраїль)



Рис. 2. Нашоломний індикатор Battle View 360 (Швеція)



Рис. 3. Бойовий шолом з окулярами змішаної реальності HoloLens 2 (США)

$$P_{пер} = D_{зін} f' P_{нав} / (D_{зін} f' + P_{нав} d_{дон}), \quad (1)$$

$$P_{зад} = D_{зін} f' P_{нав} / (D_{зін} f' - P_{нав} d_{дон}), \quad (2)$$

де: $P_{нав}$ – віддалення площини, на яку акомодоване око, $f' = 22,8$ мм – усереднене значення фокусної відстані ока людини, а $d_{дон}$ – припустимий кружок нерізкості на сітківці: $d_{дон} \approx 0,006$ мм [2].

При колімації $P_{зад} \rightarrow \infty$ і підстановка цього значення в (2) при $D_{зін} = 4$ мм дає результат $P_{нав} = 15,2$ м, а підстановка останнього значення в (1) визначає $P_{пер} = 7,6$ м. Це означає, що оператор транспортного засобу не може одночасно чітко (без переакомодації) бачити колімоване зображення, що сформоване індикатором, та обстановку всередині транспортного засобу, в т.ч. зображення на дисплеях. Звідси також витікає, що індикатор повинен мати в своєму складі сумуючий оптичний елемент (наприклад, напівпрозоре дзеркало), аби оператор мав

змогу бачити одним оком колімоване зображення, сформоване індикатором, або обома очима обстановку всередині транспортного засобу при акомодатії на кінцеву відстань.

При відображенні інформації, сформованої на індикаторі на кінцевій відстані, $P_{пер}$ має бути не менше відстані найкращого зору людини, тобто $P_{пер} > 250$ мм. Підстановка цього значення в (1) при $D_{зін} = 4$ мм дає результат $P_{нав} = 254$ мм, а підстановка останнього значення в (2) визначає $P_{зад} = 258$ мм. Це означає, що оператор транспортного засобу не може одночасно чітко (без переакомодації) бачити зображення, сформоване індикатором на відстані найкращого зору, та обстановку всередині транспортного засобу.

При відображенні інформації, сформованої на індикаторі, на проміжну відстань, при якій оператор чітко бачить приладну дошку, $P_{нав} \approx 1000$ мм. Підстановка цього значення в (1) і (2) визначає межі чіткого спостереження $P_{пер} = 0,94$ м, $P_{зад} = 1,07$ м. Тобто глибина чіткого бачення оператора становить лише 130 мм. Це означає, що оператор транспортного засобу може одночасно чітко (без переакомодації) бачити зображення, сформоване індикатором і приладну дошку, але не може бачити без переакомодації обстановку всередині транспортного засобу, віддалену на відстань більше 1,07 м.

На думку авторів, проблему сприйняття колімованого зображення всередині транспортного засобу можна вирішити лише натурним експериментом із залученням досвідчених операторів різних класів транспортних засобів.

Вибір формувача зображення

До кінця минулого століття єдиним можливим формувачем зображення для НСІ були мініатюрні монохромні електронно-променеві трубки (ЕПТ, діаметр 11-22 мм, довжина 75-110 мм). Однак ЕПТ мали ряд суттєвих недоліків, які стримували розвиток НСІ. Окрім великих габаритів і маси для них характерне велике енергоспоживання і, відповідно, велике виділення тепла; також необхідно підводити до захисного шолома високу напругу (8-13 кВ), що створювало небезпеку для оператора. Велика довжина формувача змушувала ускладнювати оптичну схему для раціональної компоновки індикатора на захисному шоломі [5].

В 90-ті роки минулого століття з'явилися серійні технології, що дозволили створювати плоскі мініатюрні дисплеї, які не мали недоліків, що властиві ЕПТ. Найбільш прийнятними кандидатами на заміну ЕПТ в НСІ вважались рідкокристалічні (LCD), електролюмінісцентні і плазмові дисплеї (PDP). Свого часу за кордоном були створені монохромні жовті електролюмінісцентні дисплеї на активних матрицях з діагоналлю 12 мм, рідкокристалічні індикатори з діагоналлю понад 25 мм, а також монохромні зелені дисплеї на основі органічних світловипромінюючих діодів (OLED). Найбільшого успіху досягла японська фірма JVC, рідкокристалічна матриця 8K4K D-ILA якої має розмір пікселя 4,8 мкм і діагональ 44,6 мм [6]. В той же час з'явилися і НСІ на базі рідкокристалічних панелей. Для рідкокристалічних індикаторів основною

проблемою в той час було створення підсвічування з високою яскравістю до 6000 кд/м^2 , терміном служби понад 30000 год., високим контрастом і забезпеченням роботи при низьких температурах.

З цієї точки зору безумовну перевагу мають дисплеї на базі органічних світловипромінюючих діодів [7]. До їхніх переваг над рідиннокристалічними слід віднести: відсутність необхідності підсвічування, завдяки чому вони мають меншу товщину; великі кути випромінювання, що дозволяє використовувати світлосильний об'єктив; відсутність інерційності; висока контрастність; висока яскравість (понад 10^5 кд/м^2); широкий температурний діапазон експлуатації ($-40 \dots 70^\circ\text{C}$).

Очікується, що на заміну OLED дисплеїв прийдуть в найближчий час TMOS дисплеї (Time-Multiplexed Optical Shutter – з оптичним затвором часового мультиплексування) [8]. Ця технологія використовує інерційність сітківки людського ока. Також ведуться розробки TFT дисплеїв (Thin-Film Transistor), що працюють за технологією органічних тонкоплівкових транзисторів [9]. За оцінками фахівців це приведе до зниження вартості формувачів зображення [8, 9].

Як витікає з цього короткого аналізу формувачів зображення, кожний з типів дисплеїв має свої переваги і недоліки. Тому при виборі дисплея для НСІ необхідно враховувати вимоги до системи індикації. На наш погляд, для НСІ найбільш прийнятні OLED дисплеї стандартного формату 3 : 4, виробництво яких може налагодити ІФН ім. В.Є. Лощкарьова, враховуючи досвід розробки електролюмінісцентних індикаторів.

Розрахунки оптичної схеми

Оптична схема НСІ може будуватись на базі рефракторної, рефлекторної або голографічної оптики. Принциповим моментом при проектуванні оптичної схеми НСІ є відстань l_1 від ока до найближчої оптичної деталі індикатора. Враховуючи можливість використання оператором протигазу, ця відстань має бути не менша, ніж 20 мм (саме таке значення відстані вихідної знімки в танкових прицілах). Друге обмеження пов'язане з полем зору індикатора. Як було відмічено вище, воно не має перевищувати $2\beta \leq 35^\circ$ (28° горизонтальна складова $2\beta_x$ і 21° вертикальна складова $2\beta_y$ поля зору при стандартному форматі формувача зображення).

Рефракторна оптична схема індикатора

Рефракторна оптична схема НСІ (рис. 4) будується на базі лінзового об'єктива 1, в фокальній площині якого розміщено формувач зображення 2 [10]. Для суміщення зображення, створеного формувачем 2, з оточуючим простором використовується напівпрозоре дзеркало 3, яке утворює з лінією візування кут 45° . Для зручності компоновки елементів НСІ на шоломі/голові оператора в оптичну систему може бути введено додаткове дзеркало 4 (на рис. 4 умовно повернуто разом із формувачем зображення на 90° навколо вертикальної оптичної осі).

Для того, щоб растрове зображення, сформоване оптичною схемою, відповідало реальним об'єктам навколишнього середовища, об'єктив 1 повинен задовольняти критерію якості C_D Д.С. Волосова [11]:

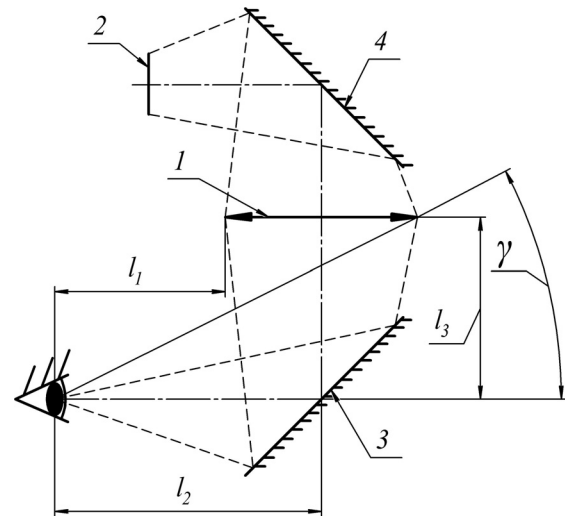


Рис. 4. Рефракторна оптична схема НСІ: 1 – об'єктив, 2 – формувач зображення, 3 – напівпрозоре дзеркало, 4 – додаткове дзеркало

$$C_D = 0,24 \pm 0,02 \geq 0,1 A f'^{1/2} \operatorname{tg} \beta, \quad (3)$$

де: A – відносний отвір об'єктива;

f' – фокусна відстань об'єктива.

Для мінімізації габаритів НСІ в ній використовується світлосильний об'єктив 1 з відносним отвором 1:1, тобто $f' \approx D$, де D – діаметр вихідної знімки об'єктива.

Підставляючи в формулу (3) усі відомі значення, знаходимо $f' \geq 58$ мм. Габарити прямокутного перерізу об'єктива 1 не мають перевищувати $44,6 \times 34,8$ мм. Габарити робочої площадки формувача зображення 2 при цьому становлять $29,3 \times 22$ мм. При розмірі пікселя $4,8$ мкм роздільна здатність індикатора становить $0,08$ мрад ($17''$).

При таких габаритах об'єктива мінімальна відстань l_2^{\min} від ока оператора до оптичної осі об'єктива згідно рис. 4 становить $37,4$ мм. Максимальне віддалення l_3^{\max} об'єктива від напівпрозорого дзеркала визначається залежністю:

$$l_3^{\max} = (D_e - D_{\text{зін}}) / 2 \operatorname{tg} \beta_e - l_2^{\min},$$

де $D_e = 34,8$ мм – вертикальна складова прямокутного перерізу об'єктива і становить $45,7$ мм.

Кут γ , при якому конструкція індикатора не затіняє оточуючий простір, визначається залежністю:

$$\operatorname{tg} \gamma = l_3^{\max} / (l_2^{\min} + D_e / 2)$$

і становить 40° , що близько до можливостей людського ока спостерігати оточуючий простір у верхній напівсфері.

Мінімальне віддалення l_3^{\min} об'єктива від напівпрозорого дзеркала визначається залежністю:

$$l_3^{\min} \approx (l_2^{\min} \operatorname{tg} \beta_e + D_{\text{зін}} / 2) / (1 - \operatorname{tg} \beta_e)$$

і становить 11 мм. При цьому вертикальна складова прямокутного перерізу об'єктива D'_e визначається залежністю:

$$D'_e = [D_{\text{зін}} + 2(l_1 + l_3^{\text{мін}}) \text{tg}\beta_e] / (1 - \text{tg}\beta_e)$$

і становить 19 мм, тобто діаметр вихідної зіниці об'єктиву D' сягає лише 31,7 мм. Габарити робочої площинки формувача зображення 2 при цьому становлять 16,8 x 12,2 мм. При розмірі пікселя 4,8 мкм роздільна здатність індикатора становить 0,15 мрад (31").

Конструкція знаходиться поза межами поля зору індикатора, а затінення оточуючого простору починається з кута β_e .

Таким чином, обираючи параметр l_3 в діапазоні 11...45,7 мм в залежності від конструкції шолому, до якого кріпиться індикатор, конструктор має усі параметри оптичної схеми, необхідні для габаритного розрахунку.

Рефлекторна оптична схема індикатора

Рефлекторна схема НСІ (рис. 5) будується на базі напівпрозорого дзеркала 1 і дзеркального об'єктиву 2, в фокальній площині якого за допомогою проєкційного об'єктиву 3 створюється проміжне зображення формувача 4 [10]. Тобто, по суті це схема мікроскопу, роль окуляра в якому виконує дзеркальний об'єктив 2. Вихідною зіницею в цій схемі є зображення апертурної діафрагми проєкційного об'єктиву 3 в дзеркалі 2.

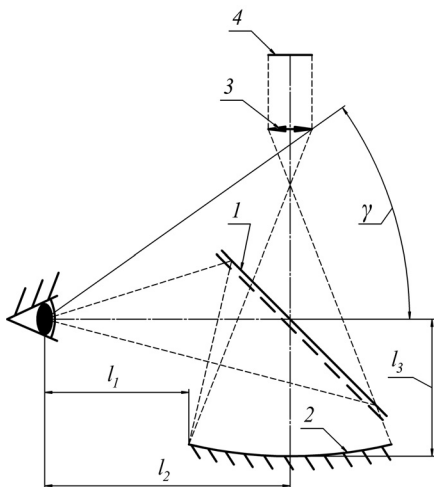


Рис. 5. Рефлекторна оптична схемі НСІ: 1 – напівпрозоре дзеркало, 2 – дзеркальний об'єктив, 3 – проєкційний об'єктив, 4 – формувач зображення

Для мінімізації польових аберацій дзеркального об'єктиву 2 вихідна зіниця індикатора повинна співпадати з центром кривизни дзеркала 2.

При 20-ти мм обмеженні відстані від ока до найближчої оптичної деталі (дзеркального об'єктиву 2) габаритні розміри оптичної схеми становлять: $l_2 = 30$ мм, $l_3 = 13,4$ мм. Фокусна відстань $f'_{\text{оз}}$ дзеркального об'єктиву 2 визначається за формулою

$$f'_{\text{оз}} = (l_2 + l_3)/2$$

і становить 21,7 мм.

Габарити прямокутного перерізу об'єктиву 2 не мають перевищувати 25,5 x 19,1 мм.

Кут γ , при якому конструкція індикатора не затінює оточуючий простір, становить $\approx 45^\circ$, що близько до

можливостей людського ока спостерігати оточуючий простір у верхній напівсфері.

Для спрощення конструкції індикатора і зменшення її впливу на умови спостереження оточуючого простору напівпрозоре дзеркало 1 і дзеркальний об'єктив 2 мають бути виконані у вигляді оптичного моноблоку.

Суттєвим недоліком розглянутої схеми є низьке світлопропускання в каналі формування растрової інформації (до 20%). Якщо це не суттєво при використанні НСІ всередині транспортного засобу, то при роботі на відкритій місцевості в сонячний день це може завадити сприйняттю інформації. Тому ряд провідних фірм перейшли на децентровані оптичні схеми побудови НСІ. На наш погляд, найбільш вдалим є оптичні схеми [12, 13], що описані в патентах США.

В першій з них (рис. 6) формувач зображення 1 знаходиться у фокальній площині позаосьової оптичної схеми, що містить лінзові компоненти 2 та напівпрозорий концентричний або телескопічний меніск 3. При малій товщині меніску 3 така його форма практично не впливає на якість сприйняття оточуючого простору. При використанні монохромного формувача зображення 1 на меніск 3 замість нейтрального покриття наноситься інтерференційне покриття типу $\{(90\text{ИЭх}3)(4\text{ИЭх}3)\} \times 9$; $(90\text{ИЭх}3)(4\text{ИЭх}1,5)$, максимум відбиття якого співпадає з максимумом випромінювання формувача 1.

В другій схемі (рис. 7) формувач зображення 1 знаходиться у фокальній площині позаосьової оптичної схеми, що містить лінзові компоненти 2 та складну оптичну деталь, яка склеєна з двох призматичних елементів 3 і 4.

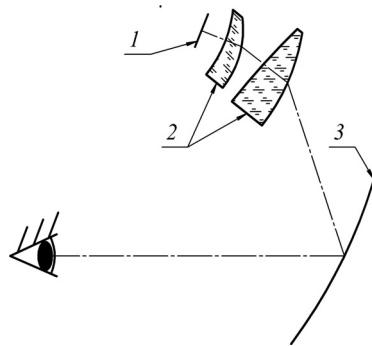


Рис. 6. Варіант побудови оптичної схеми НСІ: 1 – формувач зображення, 2 – лінзовий компонент об'єктиву, 3 – напівпрозорий меніск

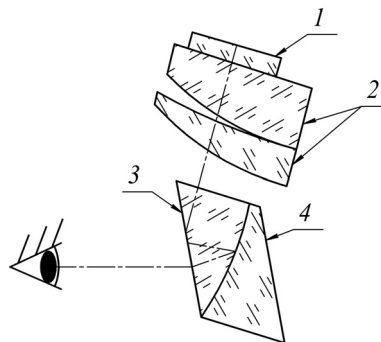


Рис. 7. Варіант побудови оптичної схеми НСІ: 1 – формувач зображення, 2 – лінзовий компонент об'єктиву, 3, 4 – призматичні оптичні елементи

В другій схемі (рис. 7) формувач зображення 1 знаходиться у фокальній площині позаосьової оптичної схеми, що містить лінзові компоненти 2 та складну оптичну деталь, яка склеєна з двох призматичних елементів 3 і 4.

Елемент 3 обмежений вхідною дифракційною поверхнею для корекції астигматизму і хроматизму зображення при використанні кольорового формувача зображення 1, плоскою поверхнею і асферичною тороїдною поверхнею з нейтральним світлоподільником типу 44P.43P.44P.43P. Елемент 4 обмежений асферичною тороїдною поверхнею і плоскою поверхнею, яка паралельна плоскій поверхні елементу 3. Разом елементи 3 і 4 складають плоско-паралельну пластину, що не впливає на якість сприйняття оточуючого простору. Конструктивною особливістю схеми є те, що після проходження вхідної дифракційної поверхні на елементі 3 відбувається повне внутрішнє відбиття світла від плоскої поверхні до тороїдної.

Голографічна оптична схема індикатору

Дія голографічного оптичного елемента (ГОЕ) основана на явищі дифракції на інтерференційній структурі, сформованій двома когерентними пучками променів. Якщо ми маємо рівняння двох світлових хвиль в експоненційній формі: об'єктової $O = E_o e^{i(\phi_o)}$ і опорної $R = E_r e^{i(\phi_r)}$, де i – інтенсивність, E – амплітуда, ϕ – фаза, то розподіл інтенсивності I в інтерференційній картині, записаний в світлореєструючому середовищі як сума цих світлових хвиль, виражається формулою

$$I = E_o^2 + E_r^2 + E_o E_r e^{i(\phi_o - \phi_r)} + E_o E_r e^{-i(\phi_o - \phi_r)}. \quad (4)$$

Перші два члени рівняння (4) характеризують постійну складову інтенсивності. Третій та четвертий члени рівняння містять інформацію про фазу об'єктової хвилі.

При експонуванні світлореєструючого середовища протягом часу t – розподіл світлопропускання в ньому T описується рівнянням

$$T = T_o - \beta I t, \quad (5)$$

де: T_o – початкове світлопропускання середовища, а β – постійна світлочутливість середовища.

Підставляючи (4) в (5), отримуємо наступний вираз для розподілу світлопропускання

$$T = T_o - \beta t (E_o^2 + E_r^2) - \beta t E_o E_r [e^{i(\phi_o - \phi_r)} + e^{-i(\phi_o - \phi_r)}]. \quad (6)$$

Оптична деталь з таким розподілом світлопропускання зветься ГОЕ. Для відновлення об'єктової хвилі деталь необхідно освітити світловим пучком променів, подібним або близьким за формою до опорної хвилі. Таке відновлення можна описати рівнянням

$$E_R = E_r e^{i \phi_R} T. \quad (7)$$

Застосований символ R замість r означає, що відновлюючий пучок не повинен строго відповідати опорному

пучку, який був використаний при запису голограми. Підставивши рівняння (6) в (7), отримуємо:

$$E_R = E_r e^{i \phi_R} T_o - E_r e^{i \phi_R} \beta t (E_o^2 + E_r^2) - E_r e^{i \phi_R} \beta t E_o E_r [e^{i(\phi_o - \phi_r)} + e^{-i(\phi_o - \phi_r)}]. \quad (8)$$

Перша складова рівняння (8) описує хвилю, що розповсюджується в напрямку опорної хвилі. Друга складова являє віртуальну об'єктову хвилю. Якщо фази опорної і відновлюючої хвиль рівні, то друга складова буде ідентична об'єктовій хвилі за винятком амплітуди. У підсумку ми отримуємо повністю відновлену об'єктову хвилю. Третя складова описує реальну об'єктову хвилю.

З рівняння (8) видно, що фаза ϕ_o позитивна у реальній об'єктовій хвилі і негативна у віртуальній. Це означає, що ці дві хвилі лежать по різні боки голограми. Реальне зображення може створюватись хвилями, що йдуть у позитивному напрямку. Цей напрямок співпадає з напрямком опорного пучка.

На цьому ефекті і будуються усі ГОЕ: лінзи, дзеркала [14]. Основним реєструючим середовищем є біхромат желатину, у якого високі показники модуляції. Конструктивною особливістю ГОЕ є те, що їхня дія описується законами фізичної оптики, а не геометричної. Наприклад, якщо опорна хвиля сферична, а об'єктова – плоска, то при відновленні сферичною хвилею формується плоска, що еквівалентно дії лінзи або дзеркала, а напрямок її розповсюдження визначається схемою запису ГОЕ. Специфіка роботи ГОЕ передбачає використання яркісного формувача зображення з квазімонохроматичним спектром світіння (ширина спектру на рівні сигналу 0,5 не повинна перевищувати 10 нм).

Методи розрахунку оптичних схем на базі ГОЕ наведені в роботі [15]. На рис. 8 зображена принципова оптична схема голографічної НСІ.

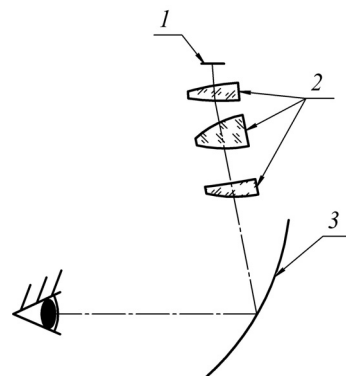


Рис. 8. Голографічна оптична схема НСІ: 1 – формувач зображення, 2 – лінзові компоненти проекційного об'єктиву, 3 – голографічне відбиваюче дзеркало

Особливістю цієї схеми є те, що проекційний об'єктив створює проміжне зображення, створене формувачем 1, в фокальній поверхні відбиваючого ГОЕ 3. Тому вихідною зніцею в цій схемі є зображення апертурної діафрагми проекційного об'єктиву, створене ГОЕ 3.

Як видно з рис. 8, ця схема близька за компоновкою до схеми, зображеної на рис. 6. Відмінності лише в принципі формування зображення та конструктивному виконанні елементу 3.

Досвід одного з авторів, набутий при створенні бортових голографічних пілотажно-прицільних індикаторів [16] показує, що застосування ГОЕ дає певні переваги при компоновці, але веде до ряду технологічних проблем. Біхромат желатину є органічною речовиною, яка зазнає впливу вологи. Тому ГОЕ має бути захищеним захисним склом. Вплив ядерного вибуху на біхромат желатину не досліджений. В полі зору оператора можуть з'являтися паразитні зображення при попаданні на голограму яскравого світла, що містить складову спектра формувача зображення. Тому автори є прихильниками використання інтерференційного дзеркала замість ГОЕ, жертвуючи кольором зображення. Принципова оптична схема такого НСІ ідентична схемі на рис. 8. Наприклад, інтерференційне покриття $\{(90\text{И}\times 3)(41\text{И}\times 3)\times 9\}$ $(90\text{И}\times 3)(41\text{И}\times 1,5)$ має нульову групу міцності.

Компоновка індикатора на захисному шоломі/голові оператора

При компоновці індикатора на захисному шоломі/голові оператора необхідно враховувати наступне:

- індикатор повинен мінімально зміщувати центр тяжіння шолому;
- маса і габарити індикатора повинні бути мінімальними (сучасні НСІ мають масу приблизно 1,5 кг);
- індикатор не повинен обмежувати свободу рухів оператора;
- можливість застосування оператором протигазу, навушників;
- індикатор повинен мінімально обмежувати поле зору оператора;
- безпеку оператора в разі аварії транспортного засобу;
- індикатор повинен мати засоби для індивідуальної підгонки на шоломі в залежності від бази очей людини.

ВИСНОВОК

Перспективні НСІ повинні проектуватись окремо для кожного типу захисного шолому, аби врахувати особливості його експлуатації.

В процесі проектування доцільно орієнтуватись на OLED дисплеї стандартного формату.

Сприйняття колімованого зображення в замкненому просторі повинно перевіритись експериментально. Оцінку можна провести із застосуванням захисного шолому з коліматорним візором системи цілевказування «Сура» (розробник КП СПБ «Арсенал»).

Також доцільно провести дослідження впливу зовнішніх факторів на голографічний оптичний елемент на основі біхромату желатину. Дослідження можуть провести Інститут фізики та Інститут ядерних досліджень НАНУ.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Кучерявый А. А. Бортовые информационные системы. Курс лекций / под ред. В. А. Мишина и Г. И. Ключева. Ульяновск: УлГТУ, 2004. 504 с.
2. Луизов А. В. Глаз и свет. Л.: Энергоатомиздат, 1983. 140 с.
3. Гигиена труда в танковых и мотострелковых частях. [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://studopedia.ru/1_56763_gigiena_truda_v_tankovih_i_motostrelkovih_chastyah.html. Дата обращения 09.09.2019.
4. Кулагин С. В., Апарин Е. М. Проектирование фото- и кино-приборов. М.: Машиностроение, 1986. 280 с.
5. Сенаторов В. Н., Борисюк А. А., Четырин С. П. Решение задачи скрытого прицеливания стрелкового оружия с помощью телевизионного прицела // Артиллерийское и стрелковое вооружение: Межд. науч.-техн. журн. Киев: КБ АВ. 2007. № 1(22)/2007. С. 9–12.
6. JVC Develops 1.75 inch 8K4K D-ILA Device. [Электронный ресурс]. – Режим доступа www.jvc-victor.co.jp. Дата звернення 17.10.2019.
7. Как это работает. OLED-дисплей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://hi-news.ru/Темы/Это интересно>. Дата звернення 17.10.2019.
8. ТМOS-дисплеи составят конкуренцию OLED и ЖК в 2010 году. [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://3dnews.ru/581518>. Дата звернення 17.10.2019.
9. Что такое LCD TFT дисплей. Современные технологии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа www.techno-guide.ru/informatsionnye-tekhnologii/displei/osobennosti-lcd-tft-tekhnologii-displeev.html. Дата обращения 17.10.2019.
10. Бородин В. Т., Рыльский Г. И. Пилотажные комплексы и системы управления самолетов и вертолетов. М.: Машиностроение, 1978. 215 с.
11. Волосов Д. С. Фотографическая оптика. М.: Искусство, 1971. 670 с.
12. Headgear display system using off-axis image sources: пат. 5576887, США. МПК G02B 27/0172; опубл. 19.11.1996 р.
13. High brightness see-through head-mounted display: пат. 6147807, США. МПК G02B 27/14; опубл. 14.11.2000 р.
14. Новые тенденции в развитии систем отображения информации и управления боевых самолетов (обзор по материалам иностранной печати) / под общ. ред. Федосова Е. А. М.: Научно-информационный центр, 1984. 62 с.
15. Ган М. А. Теория и методы расчета оптических систем с голографическими оптическими элементами: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: ГОИ им. С. И. Вавилова. 1992. 32 с.
16. Сенаторов В. Н., Полежаев В. В. Авиационные стрелковые прицелы и пилотажно-прицельные индикаторы // Артиллерийское и стрелковое вооружение: Межд. науч.-техн. журн. Киев: КБ АВ. 2008. № 1(26)/2008. С. 30–34.

REFERENCES

1. *Kucheryavyu, A. A.* (2004), "Bortovyye informatsionnye sistemy" [Onboard information systems] Pod red. V. A. Mishina and G. I. Klyueva. 2-e izd. pererab. i dop. UIGTU, Ul'yanovsk, 504 p.
2. *Luizov, A. V.* "Glaz i svet" [Eye and light], Energoatomizdat, L., 1983. 140 p.
3. "Gigiena truda v tankovih i motostrelkovih chastyah" [Occupational hygiene in tank and infantry units], available at: http://studopedia.ru/1_56763_gigiena_truda_v_tankovih_i_motostrelkovih_chastyah.html. Data zvernennya 09.09.2019.
4. *Kulagin, S. V. and Aparin, E. M.* "Proektirovaniye foto- i kino- priborov" [Designing of photo- and film instrumentation], Mashinostroyeniye, M. 1986. 280 p.
5. *Senatorov, V. N., Borisyuk, A. A. and Chetyrin, S. P.* "Resheniye zadachi skrytogo protselivaniya strelkovogo oruzhiya s pomoshch'yu televizionnogo pritsela" [Solution of covert aiming task using TV sight], Artilleriyskoye i strelkovoye vooruzheniye: Mezhd. nauch.-tehn. zhurnal. K.: KB AV. 2007. № 1(22)/2007. Pp. 9–12.
6. JVC Develops 1.75 inch 8K4K D-ILA Device, available at: www.jvc-victor.co.jp. Data zvernennya 17.10.2019.
7. "Kak eto rabotaet. OLED-displey" [How it works. OLED-displey], available at: https://hi-news.ru/temy/Eto_interesno. Data zvernennya 17.10.2019.
8. "TMOS-displei sostavyat konkurentsiyu OLED i ZhK v 2010 godu" [TMOS- displays will compete with OLED and LC in 2010], available at: <https://3dnews.ru/581518>. Data zvernennya 17.10.2019.
9. "Chto takoe LCD TFT displei. Sovremennyye tehnologii" [What are LCD TFT displays/ Modern technologies], available at: www.techno-guide.ru/informatsionnye-tehnologii/displei/osobennosti-lcd-tft-tehnologii-displeev.html. Data zvernennya 17.10.2019.
10. *Borodin, V. T. and Ryl'skiy, G. I.* (1978), "Pilotazhnye komplekxy i sistemy upravleniya samoletov i vertoletov" [Aerobatic complexes and systems for aircraft and helicopters], Mashinostroyeniye. M. 215 p.
11. *Volosov, D. S.* (1971), "Fotograficheskaya optika" [Photographic optics], Iskusstvo, M. 670 p.
12. Headgear display system using off-axis image sources. Pat. USA № 5576887 dated on 19.11.1996, cl. G02B 27/0172.
13. High brightness see-through head-mounted display. Pat. USA № 6147807 dated on 14.11.2000, cl. G02B 27/14.
14. *Fedosov, E. A.* (1984), "Novyye tendentsii v razvitiy sistem otobrazheniya informatsii i upravleniya boevykh samoletov (Obzor po materialam inostrannoy pechati)" [New trends in the development of information display systems control of combat aircraft (Foreign press review)], Nauchno-informatsionnyy centr, M. 62 p.
15. *Gan, M. A.* (1992), "Teoriya i metody rascheta opticheskikh sistem s golograficheskimi opticheskimi elementami. Avroref. diss. ... d-ra tehn. nauk" [Theory and calculation methods of optical systems with holographic optical elements. Abstract of diss. for the degree Dr. of Technical Sciences], GOI im. S.I. Vavilova. SPb. 32 p.
16. *Senatorov, V. N. and Polezhaev, V. V.* (2008), "Aviatsionnye strelkovyye pritsely i pilotazhno-pritselnye indikatorny" [Aviation riflescopes pilot-sighting indicators], Artilleriyskoye i strelkovoye vooruzheniye: Mezhd. nauch.-tehn. zhurn. K.: KB AV. № 1(26)/2008. Pp. 30 -34.

Відомості про авторів:**Сенаторов Володимир Миколайович**

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України,
м. Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5387-5693>
v.senatorov1945@i.ua

Сенаторов Микола Володимирович

кандидат технічних наук
ТОВ «ЮА.РПА», м. Київ, Україна
mykola.senatorov@gmail.com

Information about the authors:**Volodumir Senatorov**

Candidate of Technical Sciences
Senior Scientist

Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv
<https://orcid.org/0000-0001-5387-5693>
v.senatorov1945@i.ua

Mykola Senatorov

Candidate of Technical Sciences
UA. RPA Ltd, Kyiv
mykola.senatorov@gmail.com

Стаття надійшла до редколегії 31.10.2019 р.