

В. В. Коломієць

Державний НДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Черкаси, Україна

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ОКУЛЯРІВ НІЧНОГО БАЧЕННЯ ПЛОТОМ ВЕРТОЛЬОТУ ТА ЇХ ВПЛИВУ НА БЕЗПЕКУ ПОЛЬОТІВ

Анотація. У статті розглянуто особливості використанні окулярів нічного бачення та визначено основні фактори, які впливають на рівень безпеки польотів при виконанні польотів у темний час доби, а також важливість технічних параметрів окулярів нічного бачення. У зв'язку зі стрімким розвитком окулярів нічного бачення, та вимог до якості їхнього функціонування основною задачею для забезпечення авіаційної безпеки польотів є якісне виконання адаптації світлотехнічного обладнання вертольотів, навчання екіпажів та дотримання усіх обмежень та застережень при виконанні завдань в темну пору доби як для існуючих, так і нових вертольотів різного призначення, до складу обладнання яких входять окуляри нічного бачення другого й наступних поколінь.

Ключові слова: адаптація світлотехнічного обладнання, окуляри нічного бачення, безпека польотів, внутрішньо-кабінна інформація, закабінна інформація.

Вступ

Постановка проблеми. Використання окулярів нічного бачення вночі екіпажами призводить до інформаційного перевантаження або дефіциту інформації, що в поєднанні з жорстким лімітом часу можуть стати причиною помилкових дій та призвести до зниження безпеки виконання польотів. При застосуванні окулярів нічного бачення (ОНБ), як однієї з систем відображення візуальної інформації, необхідно врахувати реальні можливості зорового аналізатора льотчиків, зокрема: кутового розміру сприйманого зображення, рівня адаптованої яскравості, контрасту між об'єктом спостереження і фоном, критичної частоти миготіння, часу інерції очей, затримки сприйняття, сліпучої яскравості, відносної видимості.

Актуальність дослідження. Досвід застосування вертольотів у пошуково-рятувальних та в інших операціях продемонстрував, що авіаційний компонент виконання завдань вертольотами відіграє важливу роль щодо досягнення цілей операцій, а в деяких випадках виконує головну роль у вирішенні поставлених завдань.

Особливості застосування вертольотів, дозволяють все більш широке їх використання для ведення спостереження в нічних умовах, але тим самим вводиться ряд обмежень щодо досягнення авіаційної безпеки польотів. Важливе значення для забезпечення ефективних дій у темний час доби має використання екіпажем ОНБ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання визначення головних особливостей та факторів щодо впливу ОНБ та адаптації світлотехнічного обладнання на безпеку польотів вертольотів є та залишається малодослідженим. Склад і характеристики ОНБ повинні відповідати психофізіологічним можливостям і обмеженням льотчика зі сприйняття, переробці, своєчасного й грамотного використання інформації для прийняття рішення.

Інформаційне перевантаження або дефіцит інформації в поєднанні з жорстким лімітом часу можуть стати причиною помилкових дій льотчика під час використання ОНБ. Характеристики зорового аналізатору відображені в табл. 1.

Докладні пояснення по кожній з характеристик можна знайти в роботах Шибанова Г. П. [1, 2], Маслова С. В. [3]. Усі ці характеристики в повному обсязі повинні бути враховані при проектуванні й випробуваннях як самих ОНБ, так і вертольотів, обладнаних ними.

Таким чином, незважаючи на необхідність використання ОНБ при виконанні польотів вертольотами вночі для підвищення ефективності роботи пілотів, слід зауважити, що ще недостатньо досліджено вплив використання ОНБ на безпеку польотів.

Виклад основного матеріалу

До недавнього часу через низьку освітленість виконання більшості завдань з виявлення та розпізнавання цілей в нічних умовах викликало необхідність штучного підсвічування цих цілей. Але в ряді випадків таке підсвічування погіршує видимість через вплив засвічування шару атмосфери або просто недопустиме. У всіх цих ситуаціях для оснащення екіпажів потрібна найсучасніша техніка нічного бачення.

Виконання завдань екіпажем вертольотів, обладнаного окулярами нічного бачення, незалежно від метеоумов, при зменшенні висоти польотів до гранично малої, значно підвищили вимоги щодо забезпечення авіаційної безпеки льотчиків інструментальними засобами відображення закабінного простору, якими і є ОНБ.

На сьогоднішній день, у зв'язку зі стрімким розвитком ОНБ, та вимог до якості їх функціонування основною задачею для забезпечення авіаційної безпеки польотів є якісне виконання адаптації світлотехнічного обладнання вертольотів, навчання екіпажів та дотримання усіх обмежень та застережень при виконанні завдань в темну пору доби як для існуючих, так і нових вертольотів різного призначення, до складу обладнання яких входять ОНБ другого й наступних поколінь.

Сучасні ОНБ, на відміну від телевізійного та тепловізійного зображень на плоскому екрані індикаторів, дають можливість сприйняття тривимірного закабінного простору, забезпечуючи основні психофізіологічні механізми зорового орієнтування.

Таблиця 1 – Характеристики зорового аналізатора льотчика

Назва характеристик зорового аналізатора	Формула для розрахунку кількісного значення характеристики	Параметри, від яких залежать характеристики зорового аналізатора
Кутовий розмір зображення	$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = h/2l$	h – лінійний розмір спостережуваного об'єкта; l – відстань від очей льотчика до спостережуваного об'єкта візування; β – кут між двома променями, направленими від очей льотчика до крайніх точок зображення
Рівень яскравості (Середня із сприйняття очима яскравості)	$L_{vcp} = \frac{1}{A} \int_A L_v(A) dA$	$L_v(A)$ – моментальне значення яскравості елементарної ділянки dA світіння поверхні приладної панелі при використанні окулярів ОНБ; A – сприйняття очима сумарної площі світіння поверхні приладної панелі при використанні окулярів ОНБ
Яскравість об'єкта спостереження (кд / м ²)	$L_v = \frac{dI_v}{dA \cos \theta}$	L_v – сила світла, визначаємо як відношення світлового потоку який розповсюджується від джерела в розповсюдженному напрямленому всередину малого тілесного кута, до цього тілесного кута; θ – кут між розповсюджуючим направленням до ділянки; dA – видної в ОНБ цілі або світіння поверхні приладної панелі
Критична частота миготіння	$f_{kp} = 9,61g(10^{-4} L_v) + 65$	f_{kp} – частота появи світлового сигналу, яку око в змозі розпізнати; при $L_v = 30; 110; 250; 350$ (кд/м ²) КЧМ рівна відповідно 40; 45; 47; 49 Гц
Час інерції очей	$L_{vk}(t) = L_{v0} e^{-t/\tau}$	L_{v0} – яскравість в момент призупинення дії подразника; τ – постійна часу інерції ока
Сліпуча яскравість	$L_{vc} = L_{va} + \frac{840}{\sqrt[3]{\beta}} \times \sqrt[3]{L_{va}}$	L_{vc} , L_{va} – сліпуча та адаптуюча яскравість відповідно; β – тілесний кут, під яким льотчику видно освітлення поверхні (в стерadianах).
Перцептивна затримка очей	$t_{n3} = \frac{[d - (1 - \alpha)/n] \left[1 - \left(1 - \frac{\alpha \rho}{n} \right) \right]}{(d + 1) \alpha^2 \rho}$	α – 10 Гц, $\rho = 0,01$ с (частотні характеристики електроенцефалограми); d – число рівно ймовірних альтернативних сигналів, які поступають зовні в оперативну пам'ять льотчика; n – число нейтральних еталонів спостережуваних об'єктів в порівнянні зі знов сигналами, що надходять
Затримки сприйняття світових сигналів	$t_s = t_{n3} \left\{ 1 + \left[\frac{1}{1 + K \lg(E_v/E_{vn} + 1)} \right] \right\}$	E_v – освітленість сприйняття об'єкта; E_{vn} – порогове значення освітленості, яке забезпечує правильне сприйняття зображення об'єкта спостереження; K – коефіцієнт, значення якого експериментально встановлено рівним 0,85
Відносна видимість (енергетична характеристика зорового аналізатора)	$K_\lambda = \frac{R_\lambda}{R}$	R – зорове відчуття, яке викликається джерелом випромінювання довжиною хвилі 550 нм; R_λ – зорове відчуття, яке викликається джерелом тієї ж потужності, але генеруємим випромінюванням, довжина хвилі якої дорівнює λ
Яскравість, як функція відносної видимості	$L_v \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} K_\lambda(\lambda) d\lambda$	$\lambda_1 \dots \lambda_2$ – вибіркового діапазону випромінювання, характерний для кабіни конкретного ЛА

При цьому зберігається головний фактор глибинного зору – бінокулярний паралакс, коли людина бачить об'єкти через ОНБ кожним оком, як в природних умовах. Крім того, на відміну від плоского зображення, бінокулярні ОНБ дозволяють надійно оцінювати просторове положення вертольоту по відношенню до земної поверхні і зовнішніх об'єктів (орієнтирів, цілей), а також динаміку їхніх переміщень.

Застосовуючи ОНБ, екіпаж може спостерігати за навколишнім простором у полі зору окулярів тільки у відповідному секторі. Тому в залежності від умов польоту (висота, швидкість, метеорологічна дальність видимості, вологість повітря й прозорість атмосфери, природна нічна освітленість, рельєф місцевості, характер підстильної поверхні тощо) змінюється характер розподілу уваги екіпажу між візуальним і приладним пілотуванням. Показання приладів екіпаж зчитує з циферблатів або моніторів, переводячи погляд повз окуляри нічного бачення. Масштаб зображення закабінного простору становить приблизно 1:1 [4], проте відзначено наявність

помилки льотним складом (особливо малодосвідченого або який має перерви в польотах) в окомірних визначеннях геометричної висоти і дальності до об'єктів. Величина помилки може досягати до 10% від істинного значення. Працездатність сучасних ОНБ по відображенню закабінного простору зберігається до рівнів природної нічної освітленості від 1 лк до 5×10^{-3} лк в діапазоні спектра при певній довжині хвиль.

Пілотування вертольоту із застосуванням ОНБ має ряд особливостей (рис. 1), виходячи з такого:

зменшення розмірів полів зору в порівнянні з денними умовами, що призводить до створення “тунельного ефекту” уявлення закабінного простору;

виражена залежність якості електронного зображення закабінного простору від рівня природної нічної освітленості та інших зовнішніх умов;

обмеження дальності видимості закабінного простору. Низька роздільна здатність електронно-оптичних перетворювачів з передачі малорозмірних об'єктів і їх деталей;

низька завадо захищеність від світлових джерел, що потрапляють в поле зору ОНБ;

необхідність зчитування приладової інформації повз ОНБ, що вимагає від екіпажа відволікання уваги від спостереження за зовнішнім простором;

можливість виникнення у льотчика ілюзорних відчуттів, особливо в умовах обмеженої видимості,

відсутності видимості лінії природного горизонту, раптовою появою світлових перешкод, часткову або повну відмову ОНБ тощо;

виникнення відчуття втоми шийних м'язів, органів зору, наявність загального стомлення, що супроводжуються вираженим зростанням нервово-емоційної напруги, до кінця польоту тривалістю 3 години і більше в одну льотну зміну;

необхідність особливих методів психологічної підготовки льотчиків, пов'язаних зі зміною звичних для льотчика умов сприйняття закабінної і внутрікабінної інформації, зростанням (до граничних значень) психофізіологічного навантаження уваги й необхідності формування нової послідовності дій і перерозподілу функцій в екіпажі.

Підготовка льотчиків до виконання польотів з ОНБ проводиться на реальних вертольотах і в реальних умовах, що нерідко призводить до виникнення у екіпажа психологічної напруги і стресу.

Досвід проведення науково-дослідних робіт наземних і льотних випробувань на базах підприємств, аеродромах свідчить про позитивний ефект застосування ОНБ, що, в цілому, дозволяє обґрунтувати доцільність їх використання екіпажами сучасних вертольотів для вирішення специфічних завдань вночі. Розширюючи коло завдань, які вирішуються у нічному польоті, використання ОНБ вимагають досить суворої регламентації їх застосування, щоб уникнути передумов до виникнення особливих ситуацій та відповідного зниження безпеки польотів. Так, відповідно наказу Міністерства оборони України №2 від 05.01.2015 "Про затвердження правил виконання польотів державної авіації України" та за результатами випробувань [5–7], максимальний наліт екіпажа із застосуванням ОНБ в льотну зміну не повинен перевищувати 3 год, в одному польоті 2 год (на гранично малій висоті 1 год).

Після досягнення визначеного максимального нальоту чи закінчення стартового часу подальший політ екіпажу вертольоту дозволяється виконувати після відпочинку (сну) не менше 8 год.

Надмірне використання ОНБ, як правило, призводить до значних навантажень на органи зору екі-



Рис. 1. Особливості пілотування вертольоту з ОНБ

пажа, а згодом до скарг на больові відчуття і, як результат, може призвести до авіаційних інцидентів та подій.

Результати досліджень підтвердили, з одного боку, фізіологічну еквівалентність бінокулярних ОНБ, а з іншого інформативну нееквівалентність природної і приладової візуалізації закабінного простору при застосуванні ОНБ. Ця обставина не дозволяє класифікувати умови польоту в ОНБ, як політ за правилами візуальних польотів. При цьому основною перешкодою є не порушення відповідності між реальним простором і його зображенням, а нестабільність цієї невідповідності.

Якщо умовно ввести коефіцієнт адекватності (інформативності) відображення закабінного простору, то його величина в залежності від різних умов буде змінюватися від допустимих до неприйнятних значень. Тобто безпосередньо впливати на зміну необхідного рівня безпеки польотів із застосуванням ОНБ.

Виникнення ілюзій може сприяти до дезорієнтації льотчика, що може призводити до непередбачених, катастрофічних наслідків польоту. Особливо небезпечно виникнення ілюзій поблизу землі, на етапах зльоту, посадки, висіння, польоту на гранично-малій висоті (нижче ніж 50 м). Аналіз ілюзій просторового положення і руху, що зустрічалися у льотчиків в польотах з ОНБ,

засвідчив, що вони можуть зустрічатися на всіх режимах і етапах польоту. Ілюзії зберігаються, як правило, від кількох до десятків (30 с. та більше).

Основними причинами появи ілюзій (рис. 2) були:

напруженість, що виникала у льотчиків при освоєнні нового виду польотів;

різка зміна зовнішніх умов (зниження освітленості, поява опадів, світлових перешкод тощо);

втрата орієнтиру на режимі висіння над майданчиками з одноманітним рельєфом;

наявність високої трави, що відхиляється потоком, що йде від несучого гвинта і створює ілюзію переміщення вертольоту;

затримка уваги (погляду) на одному об'єкті, ділянці протягом тривалого часу.

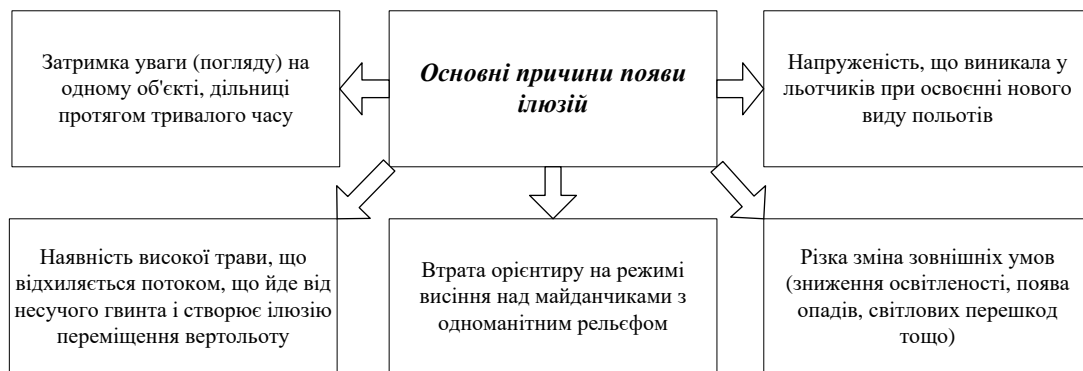


Рис. 2. Основні причини появи ілюзій

Для попередження появи ілюзій, а також їх парировання необхідно постійно переміщати погляд по склінню кабіни і простору підстильної поверхні, пілотувати більш плавно, ніж у денних умовах, а також не допускати різких рухів, поворотів голови і тіла. Крім того, при виникненні ілюзії важливо не втратити самовладання, перевести погляд на лінію горизонту, при її відсутності – на електромеханічні прилади. При збереженні ілюзії перейти на пілотування за приладами і набрати безпечні висоту і швидкості польоту. Безпека польоту, ефективність і якість взаємодії в системі “льотчик – вертоліт – ОНБ” забезпечуються:

достатнім професійним рівнем підготовки екіпажу;

необхідними характеристиками ОНБ (полями зору, чутливістю електронно-оптичних перетворювачів, завадо захищеністю від джерел світла);

прийнятними умовами польоту (рівнем природної нічної освітленості, висотою і швидкістю

польоту, характером і рельєфом підстилюючої поверхні, наявністю природних і штучних перешкод, метеорологічних умов тощо).

Головні висновки та перспективи використання результатів досліджень

Виконання завдань вертольотами вночі значно знижує можливості льотчика з повноцінного використання як закабінної, так і внутрікабінної інформації, ускладнює ведення орієнтування на місцевості.

Для успішного виконання завдань екіпажем вертольоту основне значення набувають інструментальні засоби відображення закабінного простору, системи автоматизації процесів пілотування, навігації та бойового застосування.

Розробка методу адаптації світлотехнічного обладнання вертольоту при використанні ОНБ в темну пору доби дозволить значно покращити рівень безпеки польотів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шибанов Г.П. Загальні вимоги до безпеки польотів. Т. IV / РАН, NASA США. М.: Наука, 2001. С. 377-401.
2. Шибанов Г.П. Роль ергономічних факторів в системі «спеціаліст - среда - авіатехніка» і критерії її ергономічної оцінки. Сб. «Техніка, економіка, інформація». Сер. «Ергономіка», п/я А-1420. Вып. Зс, 1982. С. 18-19.
3. Маслов С.В. Особенности обеспечения безопасности полётов вертолётов при использовании лётным составом очков ночного видения. / С.В. Маслов А.А. Есев, В.Е. Овчаров, А.В. Чунтул / Проблемы безопасности полётов - № 7, 2010. - С. 30 - 36.
4. Грузевич Ю.К. Оптико-електронні прилади нічного бачення / Ю.К. Грузевич / 2014. - С. 212-259.
5. Наказ Міністерства оборони України №2 від 05.01.2015 "Про затвердження правил виконання польотів державної авіації України".
6. Franck D.L., Geiselman e.e., Craig J.L. Panoramic Night Vision Goggle Flight Test Results. Proceedings of SPIE, 2000. – С. 146–154.
7. Goodman G.W. Future Night Vision. Armed Forces Journal International, 2001.– С. 22, 24.

Received (Надійшла) 10.01.2023

Accepted for publication (Прийнята до друку) 11.02.2023

Analysis of features affecting the safety of helicopter flights when using night vision goggles at night

V. Kolomiets

Abstract. The article discusses the main factors and features that affect the level of flight safety when using night vision goggles at night. The importance of technical parameters of night vision goggles to ensure effective actions in the dark time of day when used by pilots. In connection with the rapid development of night vision goggles and the requirements for the quality of their functioning, the main task for ensuring the aviation safety of flights is the high-quality implementation of the adaptation of the lighting equipment of helicopters, the training of crews and the observance of all restrictions and precautions when performing tasks in the dark, as for existing, as well as new helicopters of various purposes, the equipment of which includes night vision goggles of the second and subsequent generations.

Keywords: adaptation of lighting equipment, night vision goggles, flight safety, in-cabin information, behind-the-cabin information.