

В. В. Коломієць

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

СТРУКТУРА УЗАГАЛЬНЕНОЇ МОДЕЛІ ВІЗУАЛЬНОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ, ЯКІ ЗНАХОДЯТЬСЯ В ЗАКАБІННОМУ ПРОСТОРІ ВЕРТОЛЬОТУ

Анотація. Однією з важливих тенденцій розвитку сучасних приладів нічного бачення є покращення їх функціональних можливостей та якості зображення. В статті проаналізовано підґрунтя для розробки математичної моделі візуального спостереження за допомогою приборів нічного бачення, що дозволяють алгоритмізувати методику випробувань окулярів нічного бачення і підвищити ефективність їх використання. Розроблено структури моделі візуального спостереження і моделі об'єкта спостереження в кабіні вертольота, метою яких являється підвищення ефективності наземних випробувань вертольотів та оцінка можливостей льотчика в ергатичній системі “льотчик - вертоліт - оточуюче середовище” здійснення спостереження та розпізнавання об'єктів з використанням окулярів нічного бачення. Розглянуто основні зорові відчуття, які виникають у льотчика, та результати відображення в свідомості спостерігача окремих властивостей об'єкта спостереження при його розпізнаванні.

Ключові слова: авіаційні окуляри нічного бачення, модель візуального розпізнавання, об'єкти спостереження.

Вступ

Постановка проблеми. Необхідну для пілотування вертольота інформацію (близько 90%), льотчик отримує через зоровий аналізатор [1-5]. Авіаційні окуляри нічного бачення (далі – ОНБ) розроблені для покращення видимості в умовах низької освітленості або повної темряви. Вони використовуються в авіації, де нічний час або умови обмеженої видимості можуть ускладнити польоти. ОНБ засновані на технології інфрачервоного бачення, яка дозволяє отримувати зображення з використанням інфрачервоного випромінювання. Ці окуляри збирають слабе випромінювання, яке є присутнім в темряві, і перетворюють його в зображення, яке може бути сприйняте людським оком.

ОНБ дозволяють пілотам бачити об'єкти, які недоступні для звичайного ока в умовах низької освітленості. Вони допомагають виявляти небезпеку, орієнтуватися в просторі, розрізняти контури та деталі об'єктів. Це може бути особливо важливо під час нічних польотів, при посадці або маневрах у темряві. Однак, при застосуванні ОНБ виникають проблемні питання щодо розпізнавання, відстеження та супроводження цілей та швидкого реагування на них, створення математичної моделі візуального спостереження об'єктів дає змогу підвищити ефективність наземних випробувань вертольотів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Авіаційні ОНБ Оптико-електронні системи (далі – ОЕС) дозволяють виявляти, розпізнавати, ідентифікувати та визначати координати цілей незалежно від часу доби та застосування противником засобів маскування видимого діапазону оптичного спектра. Поділяють на прилади нічного бачення (далі – ПНБ), тепловізійні прилади, комбіновані (мають декілька каналів на одній платформі, але з розділними об'єктивними), а також прилади з сумісними каналами зі спостереженням через загальний об'єктив.

У роботах А.В. Лузіова [5] розглядається біологічна роль інерції зору, даються відомості про влаштування та роботу ока-приймача, інформації, що

отримується людиною за допомогою світла, визначається залежність зорових функцій від світлової обстановки. Розглядаються закони змішування кольорів; кольорні простори; кольорний тон та частота, розрахунок кольору тощо. Утворився навіть цілий розділ науки, що одержав назву “офтальмоергономіка”, але розрахована вона переважно на біологів і фізіологів.

Треба підкреслити що якість зображення ПНБ визначається класом використаного електронно оптичного перетворювача (далі - ЕОП) та ступенем корекції аберацій оптичних компонентів об'єктива і окуляра. На відміну від поширених ЕОП другого покоління, ЕОП третього покоління принципово відрізняються від своїх попередників висококоєфективним напівпровідниковим фотокатодом, виготовленим на основі арсеніду галію (AsGa) [3]. Вони мають більшу чутливість та загальний коефіцієнт підсилення яскравості. Через це часто ПНБ, розроблені на їх основі, не потребують додаткового ІЧ-підсвічування. Тому третє покоління ЕОП цінується серед військових та співробітників силових структур [4]. На сьогодні, ПНБ, оснащені такими ЕОП, здатні працювати при низьких рівнях освітленості – до 10^{-5} лк (нічне небо, затягнуте хмарами) [8].

Покращення функціональних можливостей та якості зображення є однією з важливих тенденцій розвитку сучасних приладів нічного бачення. Значний внесок в теорію та практичне оцінювання технічних показників ПНБ належить Маслову С.В. та Есєву А.А. [10].

Глобальна оптимізація як спосіб розв'язання складних задач все частіше використовується у фізиці, техніці, біології, економіці та інших галузях людської діяльності.

В роботах Сокурєнко В.М. запропоновано здійснювати автоматизацію розрахунків окулярів для синтезу нових оптичних систем на основі сучасного методу глобальної оптимізації – адаптивного методу диференційної еволюції Коші та синтезовано дві оптичні системи окулярів, які містять дифракційні поверхні та мають практично дифракційно-обмежену якість зображення [6-9, 12-15].

Мета статті: розробка структури моделі візуального спостереження і моделі об'єкта спостереження (далі - ОС) в закабінному просторі вертольота для підвищення ефективності наземних випробувань вертольотів та оцінки можливостей льотчика в ергатичній системі "льотчик - вертоліт - оточуюче середовище" здійснювати спостереження та розпізнавання об'єктів з використанням ОНБ.

Виклад основного матеріалу

Моделі візуального спостереження - це програмні або апаратні системи, які призначені для аналізу та інтерпретації візуальної інформації з використанням обладнання для збору та обробки зображень. Ці моделі можуть виявляти об'єкти, рух та інші важливі деталі на зображеннях або в потоковому відео.

Моделі візуального спостереження мають широкі можливості для покращення безпеки, продуктивності та якості життя у багатьох галузях нашого

суспільства. У військовій сфері вони використовуються для розпізнавання, відстеження та супроводження цілей.

Зі зростанням обчислювальної потужності та розвитком штучного інтелекту, моделі візуального спостереження стають все більш потужними та точними.

Це відкриває нові можливості для інновацій та вдосконалення систем, які полегшують ефективність наземних випробувань вертольотів, обладнаних ОНБ та оцінки можливостей льотчика.

На рис. 1 наведена структура узагальненої моделі візуального спостереження:

- модель об'єкта спостереження;
- модель оптичної системи зорового аналізатора (очей);
- модель сітківки зорового аналізатора;
- модель розпізнавання об'єкта спостереження.

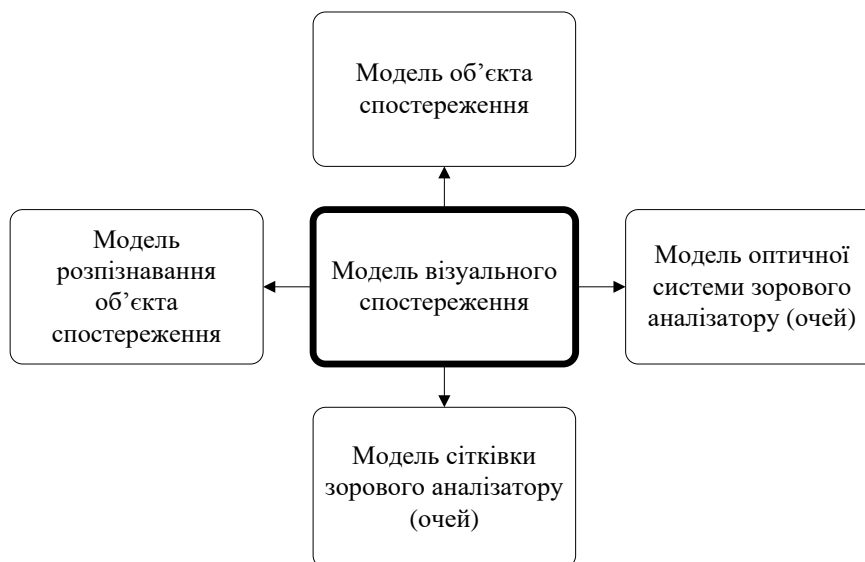


Рис. 1. Структура узагальненої моделі візуального спостереження в закабінному просторі вертольота

Кожний ОС (множина матеріальних об'єктів, які перебувають у просторово-часових та інших відношеннях) характеризується променистим потоком (дифузним відображенням світла), розподіленим в просторі та часі (кількість фотонів в одиницю часу):

$$\Phi(P, t) = B_P(P, t) \Omega_P S_P \cos \alpha_P, \quad (1)$$

де $B_P(P, t)$ – енергетична яскравість (променистість) ОС; Ω_P – тілесний кут випромінювання поверхні ОС; S_P – площа випромінюючої поверхні ОС; α_P – кут між напрямом випромінювання та нормаллю до випромінюючої поверхні.

Причиною випромінювання ОС є наявність відбитого від Місяця світла Сонця і тепловий обмін з навколишнім середовищем. Освітленість від Місяця на поверхні Землі може досягати 0,25 лк, а спектральний діапазон його світла становить 0,4...4 мкм.

Власне випромінювання ОС, пов'язане з тепловим обміном, має максимум випромінювання (λ_{\max} , м) у відповідності з законом Віна:

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T}, \quad (2)$$

де T – абсолютна температура випромінюючої поверхні (в Кельвінах).

Випромінювання ОС можна описати залежністю:

$$F = \sigma T^4, \quad (3)$$

де F – потужність на одиницю площі поверхні випромінювання; σ – постійна Стефана-Больцмана.

Розподіл випромінювання ОС по спектру підпорядковується закону Планка ($r_{\lambda, T}$, Вт/м²):

$$r_{\lambda, T} = c_1 \lambda^{-5} \left[e^{c_0/\lambda T} - 1 \right]^{-1}, \quad (4)$$

де c_1 – енергетична яскравість (променистість) ОС; λ – тілесний кут випромінювання поверхні ОС; e – площа випромінюючої поверхні ОС; c_0 – кут між напрямом випромінювання та нормаллю до

випромінюючої поверхні; T – абсолютна температура випромінюючої поверхні.

Основними характеристиками моделі оптичної системи зорового аналізатора є освітленість на сітківці ока та роздільна здатність ока.

Освітленість на сітківці ока (E_c , лк) розраховується як:

$$E_c = \tau_A \tau_G S_G \frac{E_G}{f_G^2};$$

$$\alpha = \frac{120^\circ}{D_G},$$
(5)

де α – роздільна здатність ока; E_G – освітленість на вході; S_G – площа вхідної зіниці; D_G – діаметр вхідної зіниці; f_G – фокусна відстань вхідної зіниці; τ_G – коефіцієнт пропускання потоку оптикою ока; τ_A – коефіцієнт пропускання потоку середовищем.

У середньостатистичної людини поле зору одного ока складає: по горизонту - 150° , по вертикалі - 125° (дані вірні тільки для ахроматичного зору). Сітківка зорового аналізатора (ока) представляє собою сферичну поверхню, на якій розташовані рецептори: колбочки які відповідають за денний зір а палички відповідають за нічний зір [5].

Рецептори функціонально поєднуються в рецептивні поля які виконують квантування світлового потоку за рахунок статистичної обробки квантів з шумів відбувається виділення корисного сигналу. З концентричних рецептивних полів в нейронний канал видаються для обробки сигнали про освітленість, координати поля, спектри випромінювання (колбочки).

На найбільш високому рівні обробки в сітківці концентричні гангліозні клітини порівнюють освітленість та координати полів, виділяючи контрасти.

Формування зображень і подальше формування образу ОС пов'язаний з подоланням невизначеностей у зв'язку з можливістю використання метричних співвідношень при проєктивному відображенні, окремим випадком якого є центральна проєкція і випадковістю процесу відображення [16].

Складність розпізнавання просторових об'єктів при спостереженні їх довільними ракурсами полягає у виявленні таких ознак, які інваріантні не тільки при ізоморфних перетвореннях (зміна масштабу, положення об'єкту тощо), але і при проєктивному відображенні.

Вважаємо, що деяке рецептивне поле – детектор реєструє проходження через нього межі зображення і визначає кут нахилу цієї межі до деякого фіксованого напрямку, допускаючи, що розміри поля настільки малі, що кордон є прямолінійним [17].

Матриця таких детекторів дозволяє виділити зображення у вигляді відрізків, сполучених у точках зламу-вершинах.

Вважаючи межі ребрами, приходимо до розгляду плаского неорієнтованого графа.

Втім кількість графів-зображень, які відповідають образу ОС, нескінченно [18]. Користуючись поняттям ізоморфізму графів, вдається звести не-

скінченну множину зображень до кінцевої множини ізоморфних графів. Характеристикою графів є кількість вершин у співвідношенні до опуклих та увігнутих вершин, послідовність розташування цих вершин по контуру тощо.

Вважаємо, що механізм розпізнавання зображень по формі в зоровому аналізаторі схожий до наведеного вище [16-18].







Для підтвердження цієї гіпотези розглянемо ймовірність розпізнавання ОС за формою [18,20]:

$$p = \exp \left[-F \left(\frac{A}{L} \right)^2 \right],$$
(6)

де F – коефіцієнт форми; A – роздільна здатність системи спостереження на місцевості; L – розмір об'єкту спостереження.

Значення коефіцієнтів форми, отримані експериментально та теоретично, представлені в табл. 1 [18].

Таблиця 1 – Значення коефіцієнтів форми

F	Форми об'єктів спостереження					
						
$F_{експ}$	1,72	0,97	1,58	2,78	-	-
F_{T1}	1,55	1,42	1,60	2,61	1,74	1,47
F_{T2}	1,65	1	1,65	2,73	1,93	1,39

Значення F_{T1} розраховують за формулами [18]:

$$F_{T1} = \sqrt{\frac{GR}{S}};$$

$$\bar{R} = \frac{R_{II} + R_0}{2},$$
(7)

де G – периметр по контуру зображення; R_{II} – радіус кола, вписаного в зображення; R_0 – радіус кола, описаного навколо зображення; S – площа зображення.

В основу обчислення коефіцієнта та форми F_{T1} та F_{T2} положенні об'єктивно існуючі співвідношення між периметром і площею геометричних фігур, їх залежність від масштабу, представлення про механізм виділення цих метричних ознак у вигляді концентричних полів.

Значення F_{T2} обчислювалося за формулою:

$$F_{T2} = e^{\frac{2+b_v}{b}},$$
(8)

де b – кількість вершин в графі – зображення; b_v – кількість увігнутих вершин.

З табл. 1 видно задовільний збіг значень F_{T2} до $F_{експ}$. Крім того, при обчисленні не використовуються метричні співвідношення. Додатково можна відмітити простоту виразу для розрахунку значення F_{T2} , що також свідчить на користь запропонованої гіпотези (методики).

Розглянемо основні зорові відчуття, які виникають у льотчика, та результати відображення в свідомості спостерігача окремих властивостей ОС при його розпізнаванні, які представлені на рис. 2.



Рис. 2. Структура властивостей об'єкта спостереження

Світловідчуття характеризується мінімальною освітленістю на зіниці, що викликає почуття світла [5]. Порогова освітленість денного зору складає 7×10^{-8} лк при темному фоні нічний зір залежить від площі рецептивного поля: при

$$S_{max}=15, E_{пор}=1,5 \times 10^{-9} \text{ лк}$$

при темному фоні.

Прямий контраст (відчуття контрасту за яскравістю) обчислюється за формулою:

$$K_{ПР} = \frac{B_{\Phi} - B_O}{B_O}, \quad (9)$$

де B_O, B_{Φ} – яскравість об'єкта і фону.

Відчуття руху виникає при зміщенні зображення з рецептивного поля.

Порогова швидкість переміщення точкового зображення $\omega_{пор}$ визначається часом формування світловідчуття (t_c) та такою роздільною здатністю сітківки α :

$$\omega_{пор} = \frac{\alpha}{t_c}. \quad (10)$$

Час, необхідний для виникнення зорового відчуття, залежить від яскравості об'єкта і довжини хвилі випромінювання й змінюється в межах 0,02 ... 0,1 с.

В одиночному зоровому акті для виключення флуктуації потоку необхідно прийняти певну кількість фотонів.

Підвищення гостроти зору означає зменшення площі приймача, що компенсується збільшенням часу підсумовування фотонів.

При

$$t_c = 0,02 \text{ с та } \alpha = 1'$$

отримуємо порогове значення кутової швидкості точкового джерела порядку $1^\circ/\text{с}$ [5].

Висновки

Модель візуального розпізнавання об'єктів, яка знаходиться в закабінному просторі вертольота, може бути використана для різних цілей і завдань, в залежності від конкретних потреб операторів вертольота що дозволяє приймати швидкі та відповідні рішення для забезпечення безпеки польотів, навігації та виконання різних завдань.

Використання моделі візуального розпізнавання об'єктів при формуванні алгоритмів забезпечення наземних випробувань бойових вертольотів, обладнаних авіаційними окулярами нічного бачення, дозволить підвищити якість і достовірність випробувань, а також буде сприяти скороченню термінів, обсягів та витрат на їх проведення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Коломієць В.В. Аналіз особливостей використання окулярів нічного бачення пілотом вертольоту та їх впливу на безпеку польотів /В.В. Коломієць // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2023. – №1. – С. 36-39. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2023.1.036>
2. Неня О.В. Сучасні теплові зори для спеціального та повсякденного застосування / Сучасна спеціальна техніка. 2016. № 4(47)- С. 212-259. Режим доступу <https://elar.naiu.kiev.ua/server/api/core/bitstreams/11475cb8-6431-41b6-8dea-13063954eae/content>

3. Розрахунок і конструювання оптико-електронних приладів : навч. посібник / А. С. Литвиненко, Г. О. Петченко, О. М. Ляшенко, О. М. Діденко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 139 с. ISBN 978-966-695-558-9
4. Guterman P. S. Assessing night vision goggle performance in security applications [Electronic resource] / P. S. Guterman // Academia. – Режим доступу <https://yorku.academia.edu/PearlGuterman> (дата звернення: 21.08.2023). – Назва з екрана.
5. Луизов А. В. Глаз и свет : / А. В. Луизов. – Л. : Энергоатомиздат, 1983. – С. 139, [5]. :табл. - Библиогр.: С. 144.
6. Сокурєнко В. М., Макаренко Я. І. Розробка оптичних систем методами глобальної оптимізації // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2015. – № 50(2). – С. 51-60.
7. Режим доступу <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/16144>
8. Сокурєнко В. М., Вакулєнко М. М. Автоматизований розрахунок окулярів з дифракційними оптичними елементами // Вісник Хмельницького національного університету: Технічні науки. – Хмельницький. – 2018. – №1 (257). – С. 107-112. Режим доступу http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2018/2018_1/jrn/pdf/21.pdf
9. Сокурєнко В. М., Бондарчук Д. П. Автоматизований параметричний синтез фотооб'єктива зі зменшеною дисторсією // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2018. – № 56(2). – С. 18-24. Режим доступу <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/24142>
10. Проскурін В.С., Сокурєнко В.М. Автоматизований розрахунок оптичної системи приладу нічного бачення зі збільшеним кутом огляду // XIV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 18-19 травня 2021 року, : Оптичні та оптико-електронні прилади і системи.– Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021 – С. 122-125. Режим доступу <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/46727/1/Page122-125.pdf>
11. Clark G. Helicopter Handling Qualities in the Degraded Visual Environment / G. Clark. – DVEY London : University of Liverpool, 2003. Режим доступу <https://livrepository.liverpool.ac.uk/id/eprint/3174810>
12. Микитенко В.І. Порівняння якості роботи фільтрів для зменшення шумів зображень тепловізійного каналу оглядових оптико-електронних пристроїв / Балахонова Н. О., Микитенко В. І., Пашков Р. А. // Вісник КПІ. Серія приладобудування. - 2019. - Вип. 57(1). - С.26 – 35. Режим доступу http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_prylad_2019_57%281%29_6
13. Сокурєнко В.М. Числове дослідження стохастичних методів безперервної глобальної оптимізації / В. М. Сокурєнко, В. С. Неділюк // Наукові вісті Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". - 2012. - № 1. - С. 81-88. Режим доступу http://nbuv.gov.ua/UJRN/NVKPI_2012_1_12
14. Сокурєнко В. М., Макаренко Я. І. Розробка оптичних систем методами глобальної оптимізації // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2015. – № 50(2). – С. 51-60. Режим доступу <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/16144>
15. Сокурєнко В. М., Вакулєнко М. М. Автоматизований розрахунок окулярів з дифракційними оптичними елементами // Вісник Хмельницького національного університету: Технічні науки. – Хмельницький. – 2018. – №1 (257). – С. 107-112. Режим доступу http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2018/2018_1/jrn/pdf/21.pdf
16. Сокурєнко В. М., Тростянська О. В. Синтез оптичної системи окуляра для мікродисплея з високою роздільною здатністю // Вісник Хмельницького національного університету: Технічні науки. – Хмельницький, 2019. – №6(279). – с. 206-210. DOI 10.31891/2307-5732-2019-279-6-206-210
17. Рішення Dahua Full-color AI для відеокamer з штучним інтелектом: робить ніч такою ж барвистою, як і день / <https://www.bezpeka-shop.com/ua/blog/obzor/reshenie-dahua-full-color-ai-dlya-videokamer-s-iskusstvennym-intellekтом>
18. Назаренко Л. А. Основи радіометрії та фотометрії: монографія / Л. А. Назаренко, В. М. Сорокін; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014. – 352 с. Режим доступу <https://core.ac.uk/download/pdf/187144168.pdf>
19. Tatyanko D. N. Quantum efficiency improvement of optical radiation trap-detectors / D. N. Tatyanko, P. I. Neyezhnikov, Ye. P. Timofeev, A. S. Litvinenko, K. I. Suvorova, O. M. Didenko // Semiconductor physics, quantum electronics & optoelectronics. - 2019. - Vol. 22, № 1. - С. 104-110. DOI: <https://doi.org/10.15407/spqeo22.01.104>
20. Микитенко В.І. Ефективність інфрачервоних оптико-електронних систем спостереження: монографія / В.Г. Колобродов, В.І. Микитенко, Є.Г. Балінський // Київ: «Вік принт», 2017. - 202 с. Режим доступу <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/26726>
21. Микитенко В.І. Обґрунтування параметрів оптико-електронної системи спостереження для мікросупутників / Тимчик Г.С., Колобродов В.Г., Микитенко В.І. // Перша Всеукраїнська конференція «Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки» (3-5 червня 2008 р.). Збірник тез доповідей / КП СПБ «Арсенал». - Київ, 2008. - С. 47 - 48.

Received (Надійшла) 30.11.2023

Accepted for publication (Прийнята до друку) 24.01.2024

Structure of the generalized model visual observation and recognition of objects, which are located in the cabin space of the helicopter

Volodymyr Kolomiets

Abstract. One of the important trends in the development of modern night vision devices is the improvement of their functionality and image quality. The article analyzes the basis for the development of a mathematical model of visual observation with the help of night vision devices, which allows to algorithmize the methodology of testing night vision glasses and increase the efficiency of their use. The structures of the model of visual observation and the model of the object of observation in the cockpit space of the helicopter were developed, the purpose of which is to increase the efficiency of ground tests of helicopters and to assess the capabilities of the pilot in the energetic system "pilot - helicopter - environment" to observe and recognize objects using night vision goggles vision. The basic visual sensations experienced by the pilot and the results of the reflection in the mind of the observer of certain properties of the object of observation during its recognition are considered.

Keywords: aviation night vision goggles, visual recognition model, surveillance objects.