

УДК 621.344.4+53.083

**О.В. Неня,**  
к.ю.н. (ДНДІ МВС України)

## ВІДМІННОСТІ Й ОСОБЛИВОСТІ ПРИСТРОЇВ НІЧНОГО БАЧЕННЯ ТА ТЕПЛОВІЗОРІВ<sup>1</sup>

*Розглянуто принцип роботи пристроїв нічного бачення та тепловізорів, висвітлено їх характеристики та технічні можливості, наведено види їх класифікацій за різними критеріями, а також проаналізовано аспекти їх розділення на покоління, зокрема залежно від функціональних характеристик і технічних можливостей їх основного елемента.*

*Наведено основні переваги і недоліки, особливості та відмінності пристроїв нічного бачення та тепловізорів, а також окреслено пріоритетні напрями подальшого їх розвитку.*

**Ключові слова:** *пристрій нічного бачення, тепловізор, принцип дії, приймач випромінювання, електронно-обчислювальний пристрій, матриця, болометр.*

*Рассмотрен принцип работы приборов ночного видения и тепловизоров, освещены их характеристики и технические возможности, приведены виды их классификаций по различным критериям, а также проанализированы аспекты их разделения на поколения, в частности в зависимости от функциональных характеристик и технических возможностей их основного элемента.*

*Приведены основные преимущества и недостатки, особенности и отличия приборов ночного видения и тепловизоров, а также обозначены приоритетные направления дальнейшего их развития.*

**Ключевые слова:** *прибор ночного видения, тепловизор, принцип действия, приемник излучения, электронно-вычислительное устройство, матрица, болометр.*

*The principle of operation of devices of night vision and thermal imagers is considered, their characteristics and technical capabilities are stated, types of their classifications by various criteria are given and also aspects of their division into generations, in particular depending on functional characteristics and technical capabilities of their basic element are analyzed.*

*Main advantages and shortcomings, features and differences of devices of night vision and thermal imagers are given and also the priority directions of their further development are designated.*

**Keywords:** *device of night vision, thermal imager, principle of action, radiation receiver, electronic computer, matrix, bolometer.*

Перед тим як ми зупинимося на актуальному питанні – відмінностях технічних можливостей тепловізорів (далі – ТПВ) і пристроїв нічного бачення (далі – ПНБ), хотілося б акцентувати увагу на важливих нюансах: систематизаційному і понятійному.

<sup>1</sup> Продовження в наступному номері.

Окремі науковці та фахівці в охоронній, правоохоронній, рятувальній, пошуковій та інших видах діяльності до ПНБ відносять також ТПВ, наприклад: В.Ю. Алферов, А.Є. Федюнін, М.М. Перетятко [1]. Проте доцільно, на нашу думку, розглядати ПНБ і ТПВ як окремі групи пристроїв, і не тільки через відмінності у принципах їх дії. Ще однією причиною є те, що ТПВ можуть використовуватися не тільки в умовах недостатньої освітленості та вночі, а й удень, оскільки мають широкий спектр функціональних можливостей. Вони можуть бути орієнтовані на виконання різних завдань, наприклад, пошук “гарячих” (“холодних”) місць, наявність яких свідчить про порушення нормального режиму експлуатації об’єкта або обладнання, для виявлення небезпечних дефектів, втрат енергії тощо [2].

Що стосується ПНБ – це категорія оптико-електронних і цифрових пристроїв, призначених для ведення спостережень уночі або в умовах недостатньої освітленості.

Кожен ПНБ працює за принципом багаторазового посилення яскравості зображення в області видимого та ближнього інфрачервоного (далі – ІЧ) спектра випромінювань.

ПНБ складається з об’єктива, електронно-оптичного перетворювача (далі – ЕОП) з блоком живлення, окуляра та ІЧ-випромінювача.

Схема ПНБ наведена на рис. 1 [3]. Функціональна блок-схема оптичного тракту сучасного ПНБ представлена на рис. 2 [4].

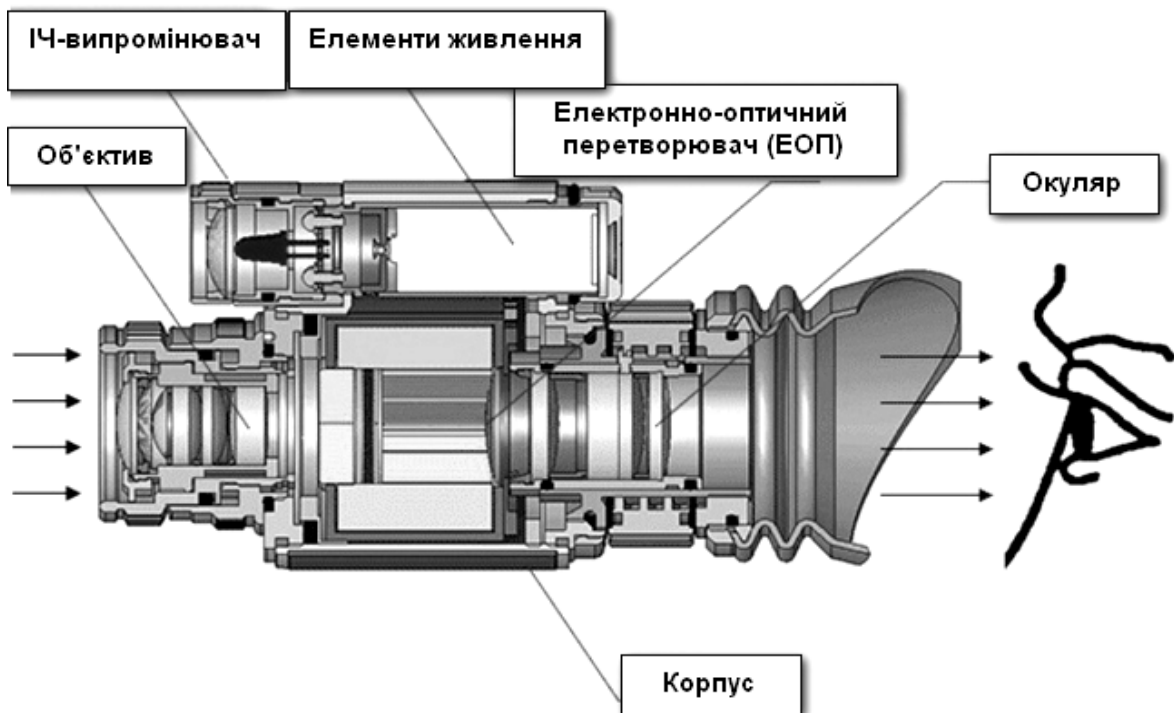


Рис. 1. Схема ПНБ

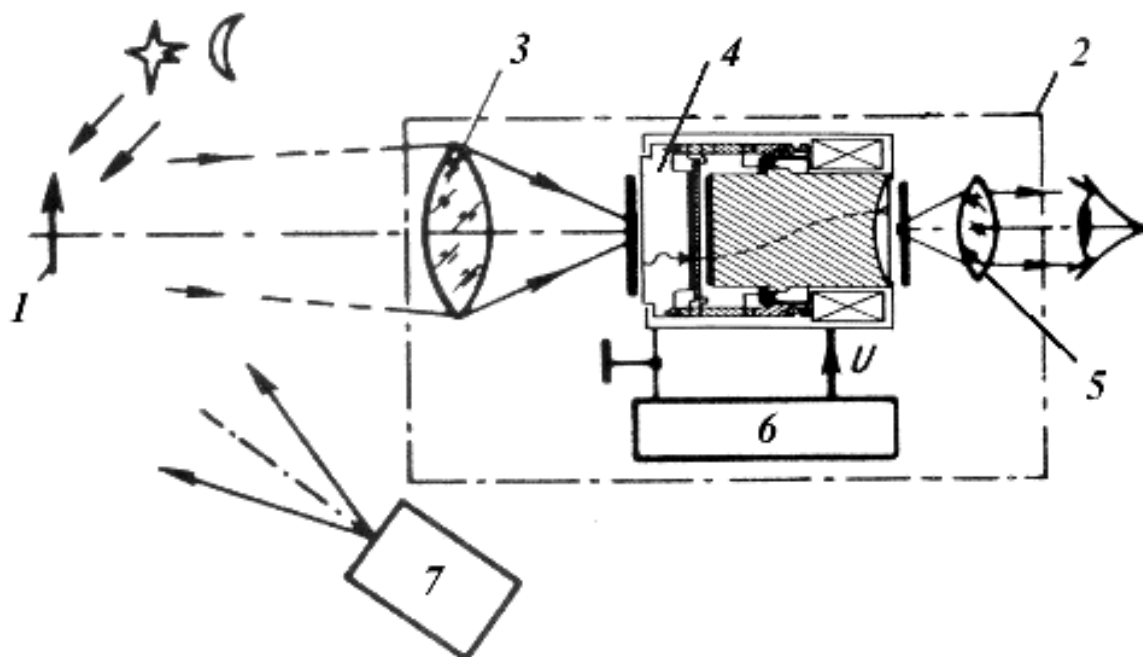


Рис. 2. Функціональна блок-схема оптичного тракту сучасного ПНБ:  
 1 – об'єкт спостереження; 2 – корпус ПНБ; 3 – об'єктив; 4 – ЕОП з вбудованими мікроданальною пластинною (далі – МКП), волоконно-оптичним елементом та високовольтним джерелом живлення; 5 – окуляр; 6 – елементи живлення; 7 – вбудований ІЧ-освітлювач

Принцип дії ПНБ дуже схожий з принципом дії ока людини – сприйнятті відбитого світла.

Отже, принцип дії ПНБ такий: відбите від об'єкта світло потрапляє на вхідну лінзу оптичної системи ПНБ – об'єктив, який фокусує зображення об'єкта на поверхні основного елемента будь-якого ПНБ – електронно-оптичному перетворювачі (далі – ЕОП), який ще називають фотокатодом. ЕОП посилює в кілька сотень або тисяч разів світловий потік, який надійшов на нього через об'єктив, і передає зображення об'єкта на люмінесцентний екран. Вихідною оптичною системою ПНБ є окуляр, який формує картину (зображення) для ока.

ЕОП – це вакуумний фотоелектронний прилад для перетворення невидимого оком зображення (в ближньому ІЧ, ультрафіолетовому (далі – УФ) або рентгєнівському спектрі) у видиме або для посилення яскравості видимого зображення [5].

Описаний вище алгоритм відображає пасивний режим роботи ПНБ або це ще можна охарактеризувати як спостереження у ближньому ІЧ-діапазоні (довжина хвилі 0,7...1,5 мкм). Тобто пристрій всього лише пасивно підсилює світловий потік, що потрапляє на нього.

Якщо ж світла немає, або його настільки мало, що ЕОП технічно не може його посилити до величин помітних неозброєним оком – люмінесцентний екран залишиться темним, тобто нічого не буде видно. Для таких випадків практично всі існуючі на сьогодні ПНБ цивільного призначення мають у своїй конструкції вбудований, а іноді з'ємний ІЧ-освітлювач (іноді його називають “підсвічуванням”). ІЧ-освітлювач слугує додатковим джерелом світла і використовується,

коли природної освітленості навколишнього середовища для комфортної роботи ПНБ недостатньо. Як джерело світла в ІЧ-освітлювачах використовуються ІЧ-світлодіоди, рідше – більш дорогі лазерні діоди ІЧ-діапазону. Необхідно зазначити, що лазерне випромінювання становить небезпеку для зору і тому використання лазерних діодів в ІЧ-освітлювачах заборонено законодавством деяких країн. Режим роботи ПНБ із включеним ІЧ-освітлювачем називається активним. Дальність дії ІЧ-освітлювача залежить від його потужності [6].

Окремо зупинимося на принципі дії такого основного елемента ПНБ, як ЕОП.

ЕОП перетворює фотони в електрони (фотокатод), прискорює (підсилює) їх і перетворює назад у світло, передаючи зображення об'єкта на люмінесцентний екран. Таким чином, зображення об'єкта, що спостерігається через об'єктив, проектується в перевернутому вигляді на вхідне скло ЕОП, що становить "високовакуумну лампу" з двома плоскими торцями, вхідним і вихідним вікнами відповідно. На внутрішній стороні вхідного вікна нанесено тонкий напівпрозорий шар світлочутливого матеріалу (фотокатод), що випускає електрони під час поглинання квантів світла. На внутрішній стороні вхідного вікна знаходиться шар люмінофора – матеріалу, що випромінює світло під час попадання на нього електрона (екран). Перенесення електронів, емітованих фотокатодом, забезпечується електростатичним полем, для чого до фотокатоду та екрану докладено напругу в кілька кВ. Отримане на екрані зображення розглядається через окуляр [4].

Ступінь інформативності зображення (яскравість зображення), одержуваного на екрані ЕОП, значною мірою залежать від основних його характеристик, зокрема: *коефіцієнта перетворення* – відношення величини світлового потоку, випромінюваного екраном (в люменах), до величини світлового потоку (в люменах), що падає на фотокатод від джерела; *коефіцієнта посилення яскравості* – відношення світимості (величини яскравості) на виході ЕОП (на екрані) до освітленості на вході (що відповідає величині освітленості фотокатода); роздільної здатності; інтегральної та спектральної чутливості.

Хотілося б, також, акцентувати увагу на тому, що ПНБ мають низьку ефективність у сутінках, оскільки надлишок світла буде засвічувати датчики, налаштовані на посилення слабких джерел світла. ІЧ-камера незалежно від освітлення завжди дає чітку картинку теплового випромінювання об'єктів незважаючи на те, чи то повна темрява, чи зображення формується при направленому світлі потужного прожектора.

Тільки прилади з ЕОП, які мають високі характеристики, у поєднанні з надсвітлосильною оптикою (світлосила – не більше 1,5) можуть забезпечити прийнятні параметри під час спостереження у вечірній і нічний час доби, за умов наявності 1/4 Місяця на небі. При більш низькій освітленості є необхідність ІЧ-підсвічування.

Отже, всі ПНБ, у тому числі з ІЧ-підсвічуванням, працюють, фіксуючи відбиту енергію видимого світла. Проте кількість відбитого світла, яке вони сприймають, не є єдиним чинником отримання кінцевого зображення. Так само важливою є контрастність самого об'єкта.

Якщо дивитися на об'єкт, що контрастує з навколишнім середовищем, то шанси знайти його будуть досить високі. Якщо об'єкт не має достатнього кон-

трасту, то його буде складно помітити незалежно від освітленості. Темний об'єкт, на темному тлі має поганий контраст і його буде непросто побачити. Вночі ж, коли нестача видимого світла природно зменшує контраст зображення, продуктивність звичайної камери зменшується ще більше.

Існують два основних способи класифікації ПНБ:

*1. За функціональним призначенням:*

- Монокуляр нічного бачення – призначений для спостереження одним оком зі збільшенням від одного до кількох разів.
- Бінокль нічного бачення – призначений для спостереження двома очима зі збільшенням від одного до кількох разів.
- Окуляри нічного бачення – призначені для спостереження двома очима без збільшення (збільшення один крат).
- Нічний приціл – прилад нічного бачення, який закріплюється на стрілецьку зброю, призначений як для спостереження, так і для ведення прицільної стрільби.
- Псевдобінокляри – прилади нічного бачення з одним об'єктивом і двома окулярами, призначені для спостереження двома очима зі збільшенням до кількох разів. Крім комфорту такі пристрої забезпечують більшу яскравість, спостережуваних в ННБ об'єктів, головним чином за рахунок спостереження двома очима. Такий ефект отримується завдяки підсумовуванню електричних сигналів від кожного ока в зоровому центрі людського мозку.

*2. За типом (поколінням) ЕОП, що входить до конструкції ПНБ.*

За прийнятою у світі класифікацією ЕОП розділяються на три покоління: I (GenI); II (GenII) та з деякими проміжними ступенями – I+, II+, II++ (GenI+, GenII+, GenII++); III (GenIII), хоча на сьогодні вже з'явилися наступні – четверте і п'яте покоління.

Необхідно відмітити, що ПНБ розділяються на покоління як і ТПВ. Іншим є основний елемент, що входить до конструкції ПНБ, і за характеристиками якого їх розділяють на покоління.

Із середини 30-х рр. минулого століття існувало і так зване “нульове” покоління ЕОП, проте, ЕОП цього типу в 90-і рр. були зняті з виробництва в усьому світі і замінені більш ефективними, але й більш дорогими перетворювачами наступних поколінь.

Для наступних поколінь ПНБ характерні такі технічні характеристики та показники.

**I покоління**

Дані ЕОП мають скляну вакуумну колбу з чутливістю фотокатода 120–250 мкА/лм. Коефіцієнт підсилення світла в них становить 120–1000, роздільна здатність в центрі 25–35 штрих./мм, ресурс роботи біля 1000 год. Особливістю цього типу ЕОП є те, що чітке зображення спостерігається тільки в центрі, зі спотворенням і меншою роздільною здатністю по краях. Завдяки низькому посиленню ПНБ цього покоління дуже критичні до світлосили оптики і параметрів ЕОП.

**I + покоління**

У приладах цього покоління запроваджено використання плоско-увігнутих лінз, які виготовляються з волоконно-оптичних пластин (далі – ВОП), що становлять пакет із безліччю світловодів, і встановлювалися замість вхідного і вихідного вікон. Завдяки застосуванню ВОП роздільна здатність стала по всьому полю зору такою ж, як і в центрі.

Характерним є використання чутливого фотокатода типу: S-20. Завдяки цьому світлочутливість становила близько 230 мкА/лм.

Коефіцієнт посилення світла в таких ЕОП становить 1000, а роздільна здатність у центрі не гірше 45 штрих./мм. ПНБ покоління I + відрізняються від приладів I покоління чіткішою картинкою і більшою дальністю дії в пасивному та активному режимах, а також ресурс роботи досягає 2000 год.

Крім того, в цьому поколінні ПНБ стали застосовувати дзеркально-лінзові об'єктиви, які дали змогу поліпшити масогабаритні параметри.

На цей час ЕОП покоління I + ще застосовуються в нічних прицілах для мисливських рушниць і успішно використовуються там, де потрібне тільки перетворення довжин хвиль ближнього ІЧ-діапазону у видиме світло.

У ПНБ I та I+ поколінь збільшення коефіцієнта посилення світла (яскравості) досягається, зокрема, за рахунок використання так званих каскадних ЕОП. Вони становлять багатомірні ЕОП, де екран попереднього ЕОП з'єднаний з фотокатодом наступного. Так, трикамерні ЕОП при використанні багатоцільового вхідного фотокатода дають посилення яскравості до  $10^6$  разів.

### **II покоління**

Запроваджено використання вторинно-емісійного підсилювача у вигляді мікроканальної пластини (далі – МКП), яка становить тонку пластинку з нахиленими мікроканалами діаметром 10–12 мкм, число яких може сягати понад 1 млн. Використання МКП дає змогу отримати коефіцієнт посилення світла до 50 000. Проте через наявність розгінної камери, що передбачена конструктивною необхідністю функціонування МКП, ЕОП цього покоління мають значну довжину.

Обертання зображення в ЕОП з МКП, що належать до II-покоління, як і раніше здійснюється за рахунок електростатичного фокусування. Світлочутливість таких приладів становить від 230 мкА/лм до 850 мкА/лм в сучасних ЕОП, роздільна здатність у центрі поля – 32–38 штрих./мм.

### **II+ покоління**

На відміну від II покоління, це покоління ЕОП має відмінний принцип роботи завдяки відсутності розгінної камери. Так, електрон, вибитий із катода ЕОП, попадає безпосередньо на МКП, а потім – на люмінофорний екран. Така конструкція має як свої переваги – значно менші габаритні розміри та більш чіткі зображення, так і недоліки – нижчий, у порівнянні з ЕОП II покоління, коефіцієнт посилення світла (біля 35 000).

Як правило, ЕОП цього покоління також мають автоматичне регулювання яскравості; захист від засвічень точковими джерелами світла і гарну якість зображення по всьому полю екрану; високу чутливість фотокатода – до 600 мкА/лм, зі зміщенням піка чутливості в ІЧ-область; роздільну здатність до 40–45 штрих./мм та ресурс роботи до 3000 год.

Ці прилади належать до класу професійної техніки й нині знаходяться на озброєнні армій більшості західних країн, оскільки працюють при дуже низьких рівнях освітленості, що відповідає зоряному небу і зоряному небу в легких хмарах.

### **III покоління**

ЕОП цього покоління відзначаються наступним кроком у розвитку – підвищенням чутливості напівпровідникового фотокатода, зі ще більшим зміщенням, у порівнянні з ЕОП II+ покоління, піку чутливості в ІЧ-область. Це досягається,

в першу чергу, завдяки використанню арсеніду галію (GaAs) для виготовлення фотокатода.

Висока чутливість ЕОП III-го покоління дає змогу ПНБ на їх основі працювати в умовах гранично низької освітленості, що відповідає зоряному небу в хмарах. Картинка в такому приладі насичена, чітка, з хорошим контрастом і опрацюванням деталей. Єдиним незначним недоліком є відсутність захисту від бічних джерел світла, оскільки відсутня волоконно-оптична шайба на вході ЕОП.

Виробництво таких ЕОП виявилось технологічно дуже складним і, як наслідок, – мало високу вартість, й отже, потребувало альтернативних рішень. Тому на сьогодні виробництво (в обмеженій кількості) ЕОП III покоління існує тільки в двох країнах: Російській Федерації та Сполучених Штатах Америки.

ЕОП III покоління російського виробництва мають: чутливість біля 1200 мкА/лм, роздільну здатність – 45 штрих./мм. Що стосується ЕОП III-го покоління американського виробництва, то їх чутливість досягає 2700 мкА/лм, а роздільна здатність – 75 штрих./мм.

ЕОП III покоління є ключовою військовою технологією. Нині їх активно використовують служби безпеки, охорони правопорядку, служби порятунку розвинених країн.

Схема найбільш досконалого ЕОП III покоління представлена на рис. 3 [7].

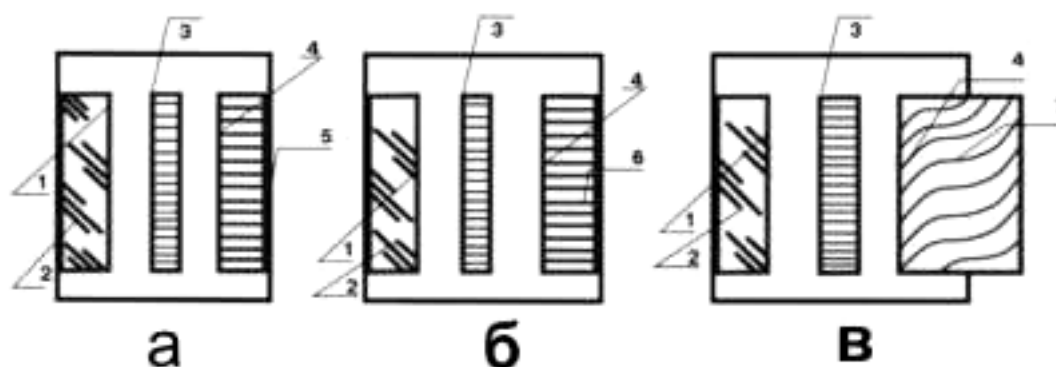


Рис. 3. Схема ЕОП III покоління:

1 – фотокатод із негативною електронною спорідненістю (на основі GaAs), нанесений на скляне вхідне вікно; 2, 3 – мікроканална пластина; 4 – екран, нанесений на вихідне скляне вікно 5 (рис. 3а) або на ВОП 6 (рис. 3б) без обертання зображення для стикування з матрицею пристрою із зарядовим зв'язком (далі – ПЗЗ) телевізійної камери, або на ВОП 7 (рис. 3в) з обертанням зображення на  $180^\circ$

Альтернативою ЕОП III покоління стало розроблення ЕОП з повністю аналогічною конструкцією, оптичними та електричними параметрами, проте з добре освоєним і дешевшим мультилужним (S-25R) фотокатодом надмініатюрної конструкції з особливо високою чутливістю в ІЧ-області. Такий фотокатод виявився більш стійким до дії позитивних іонів, що виникають у каналах МКП і бомбардують фотокатод.

На базі таких фотокатодів були випущені ЕОП SUPER II + і SUPER II ++ поколінь. У таких приладів, як правило, інтегральна чутливість становить 600–700 мкА / лм, роздільна здатність – до 50–55 штрих./мм (для SUPER II +) та до 60–75 штрих./мм (для SUPER II ++), а їх частотно-контрастна характеристика не поступається ЕОП III покоління.

Найбільшого успіху в розробці ЕОП покоління SUPER II ++ досягла компанія DEP-photonis (Нідерланди), яка ніколи не виробляла і не виробляє ЕОП III покоління [8; 4].

Для більшої наочності наведемо в порівняльній таблиці 1 ряд важливих характеристик, описаних вище поколінь ЕОП [4].

Таблиця 1

Середні характеристики ЕОП, існуючих на сьогодні поколінь

Покоління ЕОП	Тип фотокатода	Інтегральна чутливість, мкА/лм	Чутливість на довжинах хвиль 830-850 нм, мА/Вт	Коефіцієнт посилення світла, ум. од.	Доступна дальність розпізнання фігури людини в умовах ПНО*, м	
0	«Стакан Холста»	S-1	20–40	біля 1, ІЧ-підсвілювання	–	
	0	S-20	150–200	тільки при світлі луни або ІЧ-освілювачі	До 100	
	SUPER 0				100–200	
I**	I	S-20	150–200		250–500	60
	I+	S-25	150–200	500–1000	90	
	Super I+	S-25R	250–350		25–35	110
II	II	S-25	220–300	(2,5–3,0)×10 <sup>4</sup>	150	
	II+				200	
	Super II+ або II++	S-25R	350–500		30–40	250
III	III	Ga-As	1000–1350	70–120	(3,0–4,0)×10 <sup>4</sup>	250
	Mil-Spec III	Ga-As	1550–1800	80–190	(3,0–5,5)×10 <sup>4</sup>	300

\*нормована “природна нічна освітленість” –  $5 \times 10^{-3}$  лк (світло зірок без світла місяця і хмар); для ЕОП III покоління – при  $5 \times 10^{-4}$  лк, (“похмуре” світло зірок, небо в хмарах).

\*\* не враховуються багатокамерні ЕОП і ЕОП зі збільшеним діаметром фотокатода (25 мм проти 18 мм), вони припускають спеціальні конструкції ПНБ.

Новітня технологія виробництва ЕОП III покоління – це Pinnacle або Thin-filmed (зі скороченим іонним бар’єром) ЕОП, у яких трансмісія складає близько 80 %.

### III+ покоління та IV покоління

Ми цілеспрямовано об’єднали ці покоління, оскільки між ними існують тонкі грані – окремі параметри ЕОП, які можуть бути як кращими, так і дещо гіршими, і при цьому можуть компенсуватися значно переважаючими показниками інших параметрів.

Останнім часом розробка ЕОП (і відповідно ПНБ) нових поколінь інтенсивно велася фірмами ITT Defense і Litton Systems (США) за програмою OMNIBUS з метою збільшення інтегральної чутливості фотокатода, відношення сигнал/шум і роздільної здатності ЕОП III покоління [9].



Результатом цього дослідження стало отримання зразків ЕОП із покращеними показниками: роздільною здатністю 84 штрих./мм, відношенням сигнал/шум понад 23, інтегральною чутливістю фотокатода більше 2000 мкА/лм, ресурсом роботи 3000 год і більше. Відповідно, й дальність бачення збільшилася в 1,5 рази в порівнянні з традиційними ПНБ III покоління. Нові ЕОП отримали назву – “високоінформативні ЕОП III покоління”.

Таким чином, нині немає однозначного розуміння того, що ж слід вважати ЕОП і відповідно ПНБ IV покоління. Окремі автори пропонують зробити вибір на користь найважливішого критерію, що дасть змогу класифікувати ПНБ нових типів з точки зору можливості їх віднесення до IV покоління, і пропонують таким критерієм вважати зміщення чутливості фотокатода в ІЧ-область спектра.

Деякі автори розділяють покоління ЕОП таким чином, як наведено у таблиці 2 [7].

Таблиця 2

Порівняльні параметри ЕОП різних поколінь фірми ІТТ (США)

Технічні характеристики	Моделі та покоління ЕОП			
	OMNI I і II	OMNI III	OMNI IV і V	IV покоління (Gen IV)
Інтегральна чутливість фотокатода, мкА/лм	1000	1350	1800	1800
Відношення сигнал/шум	16,2	19,0	21,0	26,0
Роздільна здатність, штрих. / мм	36	45	64	64
Відсоток покращення у порівнянні зі стандартним ЕОП II покоління, %	0	40	70	188
Дальність дії окулярів нічного бачення на базі ЕОП, м	170 – 240	300	350	500
Початок виробництва, рік	1986	1988	1996	2000

Окремі автори, зокрема Волков В. Г., зазначають, що до ЕОП IV покоління можна віднести останні зразки ЕОП фірми Litton (США): їхнє відношення сигнал/шум перевершує 33, а інтегральна чутливість фотокатода – 2200 мкА/лм, а також окуляри нічного бачення AN/AVS-9 фірми ІТТ (США) [7; 10].

Крім того, що представники IV покоління ЕОП мають фотокатод, виконаний на основі GaAs (як і у III покоління), відмінною їх рисою є те, що вони можуть працювати навіть при денному світлі.

Такі значні досягнення, зокрема, стали можливими завдяки видаленню в ЕОП IV покоління іонно-бар'єрної плівки, яка наносилася на МКП з метою захисту фотокатода ЕОП від впливу іонів, що виникають в цій пластині. Однак наявність цієї плівки призводила до відбиття потоку електронів, що переміщаються від фотокатода ЕОП до мікроканальної пластини. Це викликало розсіювання електронів, знижувало відношення сигнал/шум, погіршувало роздільну здатність ЕОП і обмежувало динамічний діапазон його роботи (тобто скорочувало межі робочої освітленості фотокатода). Таким чином, видалення іонного бар'єру зробило можливим ефективне використання світлочутливості – більше ніж 2500 мкА/лм. При цьому гало<sup>2</sup> зменшено приблизно на 40 % [11].

<sup>2</sup> Гало (від др. – грецької. ἄλλως – коло, диск; також а́ура, німб, ореол) – оптичне явище (феномен) – кільце, що світиться навколо джерела світла.

Крім того, в ЕОП IV покоління використовуються тонкоплівкові МКП з різко зменшеним діаметром (6 мкм) мікроканалу, замість традиційних 12 мкм, що значно збільшує роздільну здатність – до 84 штрих./мм. Також відмінною рисою ЕОП IV покоління є наявність у них стробованого<sup>3</sup> [12] високовольтного джерела живлення, що автоматично впливає на роботу в імпульсному режимі відповідно зовнішньої освітленості [9]. Імпульсний режим не тільки розширює динамічний діапазон роботи ЕОП, і відповідно, ПНБ в широкому діапазоні зміни зовнішньої освітленості, а й пригнічує шуми. Ступінь їх ослаблення визначається імпульсним режимом високовольтного джерела живлення. Завдяки цьому відношення сигнал/шум може досягати 100 і більше.

У ЕОП IV покоління напруга катода синхронізується генератором автоматичного блока живлення, при цьому емісія іонів знижується настільки, що термін використання катода зростає до 10 000 годин. Це нововведення дає змогу використовувати ЕОП при денному світлі. Трансмісія в ЕОП IV покоління – 100 %.

Вхідне і вихідне вікна ЕОП виконуються, як правило, на плоскому склі або на ВОП. Для повернення зображення на 180° як вихідної ВОП використовується волоконно-оптичний елемент (твістер). У більш складних конструкціях ЕОП для обороту зображення використовується біноклярний окуляр або додатковий лінзовий елемент, що обертається [7; 13].

#### **V покоління**

Це покоління знаходиться поки що в стадії розробки. Серед характерних особливостей та відмінностей цього покоління, якщо порівнювати з попереднім, є те, що замість фотокатода на основі GaAs використовується фотокатод на основі поєднання арсеніду галію-індію (InGaAs) і бар'єрів Шоттки<sup>4</sup> [14], який працює в області спектра 0,8–1,7 мкм (а при термоелектричному охолодженні – і до 2,2 мкм). У цій області спектра вищий рівень природних контрастів, а також зростає пропускання атмосфери, яка допускає роботу ПНБ за умов її зниженої прозорості (димка, туман, дощ, снігопад, навіть тактичний дим). Можна візуалізувати випромінювання лазерних цілевказувачів-далекомірів із довжиною хвилі 1,54 мкм.

На сьогодні пріоритетами в подальшому розвитку ПНБ є:

- підвищення роздільної здатності;
- підвищення чутливості;
- зменшення габаритних розмірів;
- зниження енергоспоживання;
- підвищення інформативності за рахунок наявності тіні в зображенні об'єктів;
- збільшення можливостей виявлення об'єктів, які слабо контрастують з фоном;

<sup>3</sup> Стробування (англ. Strobing, від strobe – посилати виборчі імпульси, від грец. Strobos – кружляння, безладний рух) – метод виділення деякого інтервалу на часовій вісі, шкалі частот і т. ін. для збільшення ймовірності виявлення корисних сигналів на тлі перешкод.

<sup>4</sup> Бар'єр Шоттки (англ. Schottky barrier) – потенційний бар'єр, що утворюється в приконтактному шарі напівпровідника, що межує з металом, рівний різниці робіт виходу (енергій, що витрачаються на видалення електрона з твердого тіла або рідини в вакуум) металу і напівпровідника.

Названий за іменем німецького вченого В. Шоттки (W. Schottky), що досліджував такий бар'єр в 1939 р.

– збільшення ресурсу роботи.

Крім традиційних аналогових ПНБ різних поколінь існує ще такий їх різновид, як цифровий ПНБ. Принцип роботи таких приладів істотно відрізняється від звичайних. У них для побудови зображення задіяний процесор. У приладі стоїть цифрова матриця яка працює в ІЧ-спектрі випромінювання із значним посиленням світла. Через об'єктив приладу світло потрапляє на матрицю, яка перетворює світло, що надходить, у зображення на цифровому екрані приладу. Завдяки цьому цифрові ПНБ нечутливі до зайвої потужності світла і можуть використовуватися навіть удень, не бояться спалахів світла й інтенсивних джерел освітлення, які можуть пошкодити ПНБ на ЕОП. Ця особливість робить робочий ресурс цифрових ПНБ практично необмеженим. При цьому, такі прилади відрізняються істотним мінусом – нездатністю працювати в сильній темряві без зовнішнього ІЧ-підсвічування, їм необхідна освітленість приблизно така ж, як морально застарілим приладам нічного бачення І+ покоління. При цьому, цифрові прилади досі відчутно поступаються роздільною здатністю та передачею відтінків. Поки головною їх перевагою є невисока ціна.

У перспективі цифрові методи побудови й обробки зображення можуть перевершити за технічними показниками і замінити аналогові ПНБ, але для цього необхідно вирішити кілька складних завдань. Так, для спостереження цифровим ПНБ на досить великих дистанціях у звичайний нічний час необхідно використовувати спеціальні високочутливі в ІЧ-області матриці, які мають надвисоку вартість. Якщо ж використовувати більш дешеві варіанти, то необхідний потужний вбудований ІЧ-освітлювач, значно потужніший, ніж у звичайних ПНБ. При цьому, для забезпечення автономної роботи цифрових ПНБ необхідне потужне джерело живлення, яке значно збільшує їх вагу і габарити [15].

Ми висвітлили основні характеристики та особливості ПНБ, що дало уявлення про основні відмінності їх від ТПВ. Проте для створення повної картини відмінностей цих приладів необхідно більш детально розглянути як ключові технічні, так і функціональні аспекти ТПВ, що буде реалізовано у другій частині статті.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алферов В. Ю., Федюнин А.Е., Перетяцько Н.М. Специальная техника органов внутренних дел. Использование средств оперативного наблюдения в борьбе с преступностью: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 031001.65, 030505.65 “Правоохранительная деятельность”, (специализации “Административная деятельность”, “Административная деятельность органов внутренних дел”). Саратов, 2012. 88 с.
2. Неня О. В. Сучасні тепловізори для спеціального та повсякденного застосування. Сучасна спеціальна техніка. 2016. № 4(47). С. 108–120.
3. Конструкция приборов ночного видения. URL : <https://allammo.ru/blog/pokolennija-priborov-nochnogo-videnija> (дата звернення 29.05.2017).
4. Саликов В. Л. Приборы ночного видения: история поколений. Специальная техника. 2000. № 2. С. 40–48.
5. Електронно-оптичний перетворювач. Вікіпедія. URL : [uk.wikipedia.org/wiki/Електронно-оптичний\\_перетворювач](http://uk.wikipedia.org/wiki/Електронно-оптичний_перетворювач) (дата звернення 31.05.2017).
6. Бабич А. Е., А. В. Абакумов. Принцип работы приборов ночного видения. URL : [http://www.opticdevices.ru/page\\_20.html](http://www.opticdevices.ru/page_20.html) (дата звернення 02.06.2017).
7. Волков В. Г. Приборы ночного видения новых поколений. Специальная техника. URL : <http://www.bnti.ru/showart.asp?aid=490&lvl=10.02> (дата звернення 29.05.2017).
8. Обзор поколений ЭОП (электронно-оптический преобразователь). URL : <http://www.nighthunter.com.ua/theory.html> (дата звернення 02.06.2017).
9. Gourley S, 2001 See in the Night. Jane's Defense Weekly. Vol. 21. No. 3. P. 20–27.

10. ITT Boosts Night For U.S. Navy Aviators. Defense News, 2001. March 19. P. 21.
11. Гало. URL : <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BB%D0%BE> (дата звернення 05.06.2017).
12. Стробирование. Большая советская энциклопедия. URL : <http://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/136463/%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5> (дата звернення 05.06.2017).
13. Грузевич Ю. К. Оптико-электронные приборы ночного видения. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2014. 276 с.
14. Физическая энциклопедия. Москва: Советская энциклопедия, 1988. Т. 5. С. 467.
15. Приборы ночного видения и тепловизоры. URL : [https://ohotnik.com/information\\_catalog/information-about-products/optics/night-vision-devices-and-thermal-imagers/](https://ohotnik.com/information_catalog/information-about-products/optics/night-vision-devices-and-thermal-imagers/) (дата звернення 29.05.2017).

Отримано 02.10.2017

Рецензент Марченко О.С., к.т.н.