

SENS'2006

Second Scientific Conference with International Participation
SPACE, ECOLOGY, NANOTECHNOLOGY, SAFETY
14 – 16 June 2006, Varna, Bulgaria

НЯКОИ ВИЖДАНЯ ЗА РАЗШИРЯВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ НА ПРИБОРИ ЗА НОЩНО НАБЛЮДЕНИЕ

Младен Младенов

1504, гр.София, бул."Евлоги Георгиев" 82, Военна академия „Г.С.Раковски“, ИПИО
тел. (+359 2) 92 26613, факс (+359 2) 944 16 57, e-mail: mlm@bitex.bg

SOME WAYS FOR EXTENSION POSSIBILITIES OF NIGHT SURVEILLANCE DEVICES

Mladen Mladenov

1504 Sofia, 82 blvd. "Evlogy Guergiev", Military Academy "G. S. Rakovsky", Institute for
advanced Defence Research, mlm@bitex.bg

Key words: Image intensifier, photocathode, CCD, Infra red sensibility, generation.

Abstract: In this paper are shown some ways for modernization and extension possibilities of night vision devices. Made analysis's for their work in bad atmospheres conditions and improvements their characteristics with modern principles and coupling with new surveillance devices, generally worked in infra red region.

Развитието на приборите за нощно виждане (ПНВ) се определя главно от основните задачи, решавани от тях. Като базови изисквания пред тях се поставят : повишаване далечината на действие и вероятността за откриване и разпознаване; осигуряване на необходимата шумозащитеност и шумоустойчивост към различните светлинни въздействия, възникващи в хода на бойните условия; не на последно място намаляването на масогабаритните характеристики, енергопотреблението и удобството за работа.

Развитието на ПНВ се определя фактически от развитието на основния градивен елемент в тези прибори – електронно-оптичния преобразовател (ЕОП). Главна насока в тази област се явява повишаването на чувствителността на фотокатода на ЕОП и неговата разделителна (разрешаваща) способност, което осигурява решаването на основната задача, стояща пред ПНВ – увеличаване на далечината на действие и времето за работа в тъмното време на денонощието. От друга страна не може по никакъв начин да се избегне зависимостта на работата на ПНВ от характеристиките на външните условия. Характеристики на външните условия за работата на ПНВ са: спектралния състав и нивото на естествена нощна осветеност (ЕНО), оптичните параметри на атмосферата, наличието на естествени и изкуствени задимявания, препятстващи преминаването на светлинното лъчение, коефициентите на яркост на на фона и обектите на наблюдение.

Спектралната плътност на ЕНО плавно и неотклонно нараства при преминаването от видимата към инфрачервената (ИЧ) област на спектъра. Средната величина на спектралната осветеност при новолуние в диапазона на чувствителност на мултиалкалния фотокатод е в границите $(1,5-3) \cdot 10^{-9}$ W/(sm²·μm), а в областта на 1,4-1,8 μm - $(1,5-2) \cdot 10^{-7}$ W/(sm²·μm). Прозрачността на атмосферата също расте при преминаването към близката ИЧ област на спектъра. При метеорологична далечина на видимост $S_m = 10$ км коефициентът на пропускане на атмосферен слой с размер 1 км при дължина на вълната $\lambda = 0,6$ μm е 0,72, а в центъра на "прозореца" на пропускане в диапазона на 1,4-1,8 μm - 0,93.[1]; Яркостта на атмосферния фон намалява на порядък в областта 1,4-1,8 μm в сравнение с видимата област на спектъра. Стойността на контрастната разлика "цел – фон" в близкия ИЧ диапазон от спектъра е по-стабилна и по-висока 1,4-1,5 пъти в сравнение с тази във видимата област. От друга страна, в диапазона 1,4-1,8 μm енергията на светлинния квант е 2-3 пъти по-малка от енергията на кванта в диапазона 0,4-0,9 μm. Това е еквивалентно на намаляване нивото на фотонния шум приблизително 2 пъти при еднаква стойност на осветеността. Следователно един от възможните пътища за подобряване работата на ПНВ е употребата на ЕОП от по-високо поколение. Като илюстрация на това твърдение е фактът, че ЕОП от III поколение съществено увеличават далечината на действие на ПНВ, главно при много ниски осветености - около и под 0,001 lx. При такава осветеност дистанцията на работа на ПНВ AN PVS-7 (очила за нощно виждане) се увеличава 1,5-1,6 пъти в сравнение със същите ПНВ, използващи ЕОП II⁺ поколение[1].

ЕОП III поколение могат да се използват и за модернизиране на ПНВ, използващи по-старите модификации ЕОП от II поколение с инверторна електронно-оптична система. Един от вариантите на такава модернизация е на танков ПНВ на механик-водача, представен от фирмата ИТТ [2]. Използвания в ПНВ ЕОП II поколение се заменя с ЕОП III поколение - към ЕОП III поколение оптически се присъединява обръщаща влакнесто-оптична система(ВОС), удължаваща оптичната дължина на системата "ЕОП+ВОС" до дължината на заменяния инверторен ЕОП. Замяната на последния със система "ЕОП+ВОС" не изисква никакви изменения на оптичната схема на ПНВ и неговите детайли, което е изгодно от икономическа гледна точка. Далечината на действие на такъв модернизиран ПНВ се увеличава почти 2 пъти за сметка на по-високите стойности на чувствителността и разделителната способност на ЕОП III поколение. Сумарния технико-икономически ефект от такава замяна компенсира до голяма степен високата цена на ЕОП III поколение. Трябва да се отбележи, че този подход се използва главно в САЩ, докато в Европа страните от НАТО основно се ориентират към разработки на прибори на базата на ЕОП II⁺⁺ поколение. Предимствата на приборите с ЕОП III поколение се реализират, както бе споменато по-горе, главно при осветеност, по-ниска от $1 \cdot 10^{-3}$ lx. При тези осветености приборите с ЕОП III поколение превъзхождат по далечина на действие приборите с ЕОП II⁺⁺ поколение. На открита местност осветеност, по-ниска от $1 \cdot 10^{-3}$ lx, обикновено е не по-вече от 10-15 % от цялата продължителност на тъмното време на денонощието, докато цената на прибори с ЕОП III поколение в сравнение с техните аналози на ЕОП II⁺⁺ поколение е ~ 1,5-2 пъти по-висока.

Друга причина за интереса към фотокатодите с удължена към близката ИЧ област е необходимостта от възможността за визуализация излъчването на Nd:YAG лазерите, работещи с дължина на вълната 1,06 μm. Те се използват за

подсветване на цели и обекти (целуказване), за откриване на далекомери и други лазерни системи.

Успешно развитие на изследванията по увеличаването на ИЧ-чувствителността на фотокатодите от III поколение е чрез въвеждане в активния слой на фотокатода 10-15%-й индий [2]. По този начин фирмата Litton на базата на стандартна конструкция III поколение реализира ЕОП с такъв фотокатод, известен като "Extended Near IR" (удължен към близката ИЧ област).- съкратено "ENIR". Такъв ЕОП има спектрална чувствителност, представена на рис. 1, (кривата "3") при интегрална чувствителност 300-1000 $\mu\text{A}/\text{lm}$. [1] Кривата "2" е за чувствителността на обикновен ЕОП III поколение. Кривата "1" дава информация за нивото на естествената нощна осветеност и спектралното и разпределение – ясно личи предимството на ЕОП III поколение тип "ENIR".

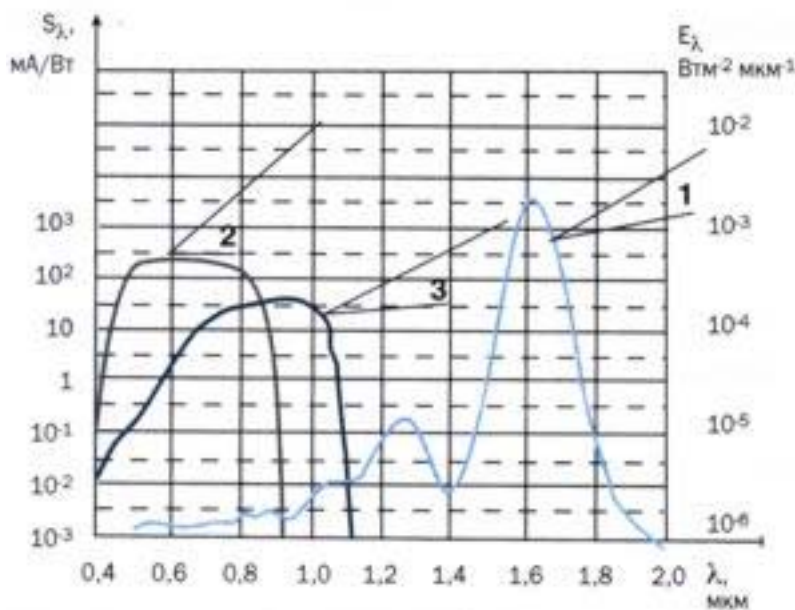


Рис. 1. Криви на спектрална чувствителност на ЕОП-фирма Litton, САЩ

ЕОП ENIR са способни да откриват даже единични импулси на най масовото използваните понастоящем Nd:YAG лазерни далекомери, а ефективността им за откриване на далекомери и целуказатели на GaAs-лазери е още по-висока. Мерници и наблюдателни прибори с такива ЕОП дават възможност за повишаване точността на нощната стрелба по цели, осветени с лазерни излъчватели с малка разходимост на лъча, съосени с ос-каналната линия на стрелковото оръжие. Забележителното в този случай е, че целуказващият лъч и неговата "метка" върху целта не могат да се открият по никакъв друг начин, освен с ПНВ с ЕОП с ENIR фотокатод.

Друго перспективно направление за развитие на приборите за нощно виждане, при което се очаква значително подобрене на техните параметри е чрез съвместната работа на ЕОП и прибори със зарядна връзка (CCD)[1] Приборите, при които изображение, получавано с помощта на ЕОП се преобразува чрез CCD матрица във видеосигнал и може да се наблюдава на дистанционно отдалечени дисплеи, са много перспективни за различни цели. Дисплеите в такива прибори могат да бъдат отдалечени от сензорния блок (обектив+ЕОП+CCD) на разстояния до 100 м и повече, или в миниатюрно изпълнение да се поставят пред очите на наблюдателя. Връзката на дисплея

със сензорния блок може да бъде чрез проводник или с помощта на миниатюрни телевизионни предаватели. При втория случай изображението може да се приема по един от каналите на обикновен телевизионен приемник. Този тип ПНВ в някои източници се разглежда като ново, 4-е поколение ПНВ (за разлика от предишните поколения, които се "номерират" по поколенията на използваните в тях ЕОП). Създаването на такива ПНВ с параметри, пригодни за практическо приложение за нощното наблюдение, е възможно при използването на ЕОП с голямо светлинно усилване. В първите разработки на такива преобразователи оптичeskата "стиковка" на изображението от екрана на ЕОП и приемната CCD матрица се е осъществявала чрез пренасяща оптика със значителни енергетични загуби. При прагова чувствителност на CCD матрица от порядъка на 0,1 lx необходимото усилване на ЕОП трябва да бъде не по-малко от 10000, за да се получи задоволителна разделителна способност на CCD матрицата при нощни осветености. Това предопределя изискването от употребата на висококачествени ЕОП – висока разделителна способност и качество на изображението, като е необходимо и пространствените (структурни) шумове да са минимални. Изследванията на сензорни блокове ЕОП+CCD с различни типове ЕОП, стиковани с CCD ICX 038/039 са показали, че разделителна способност от 100 телевизионни линии се получава при използване на ЕОП II поколение при осветеност 0,001 lx, докато за ЕОП поколение SuperGen при осветеност 0,00001 lx се достига разделителна способност от 180 линии. При осветености от порядъка на 0,001 lx такива сензори осигуряват 400 линии, което ги прави много перспективни за системите нощно виждане [1]. Понастоящем много фирми предлагат комбинацията "ЕОП, CCD матрица". Те са известни в публикациите като Low Light Level Image Sensors или Intensified CCD Sensors. Например, фирмата "Delft" предлага такива ЕОП на базата на ЕОП III поколение, осигуряващ при нощна осветеност разделителна способност до 400 телевизионни линии (тип "XX 1760").

Като най-перспективни се очертават ЕОП, в които CCD матрицата е разположена вътре във вакуумния обем на ЕОП и получава полезния сигнал непосредствено от електронния лъч, носещ информацията за изображението (електронно възбуден CCD "ЕВССД"). Тук се изключват загубите от преобразуването на енергията на електроните в светлинна енергия (над 80 %) и преноса и през оптика върху CCD. В крайна сметка такъв прибор съществено превъзхожда всички останали комбинации "ЕОП – CCD" по информационен капацитет и прагова осветеност. Известен е прибор с такава конструкция, чиято прагова осветеност е 0,000001 lx. ЕОП с високочувствителен фотокатод II⁺ или III поколения с ЕВССД и изход контактите на CCD матрицата или директен видеосигнал също в някои публикации се нарича ЕОП IV поколение.

Въпреки явните предимства на такива ЕОП, те все още са много сложни в технологично отношение, особено що се касае съвместяването на фотокатода и CCD матрицата в един вакуумен обем. Поради това тези ЕОП засега се предлагат от много малко фирми, като цената им многократно превишава тази на ЕОП III поколения. Понастоящем по-разпространени са приборите, при които ЕОП се стикова с CCD матрицата чрез пренасяща сигнала оптика. Някои фирми предлагат стандартни ПНВ с преходно устройство с т.н. "С" резба, позволяваща присъединяването на ПНВ към стандартни CCD видеокамери вместо/или техния "дневен" обектив, например в ПНВ M982/M983, M942/M944, AN/PVS-8 на фирмата "Litton" и в ПНВ "Nite Watch" на фирмата "EEV". Фирмата "Intevac" произвежда прибор "помощник" на CCD-

видеокамерите "Nite Mate ". Това е прибор, състоящ се от ЕОП III поколение, захранващ блок (унифициран със захранването на CCD камерата) и оптика за пренос на изображението. На входа и изхода на прибора е поставена унифицирана "С" резба за присъединяване на обектива на CCD камерата и самата камера. Производителят рекламира получаването със стандартна CCD (прагова чувствителност - 0,1 lx и формат 1/2" или 2/3") разделителна способност 425 телевизионни линии при осветеност 0,00001 lx (облачна звездна нощ) [3]. Друг подход е частичното или пълно оборудване на ПНВ с различни допълнителни оптични и оптико-електронни прибори за решаване на една или друга задача. Пример за такава система е "Televised Lightweight Universal Night Observation Systems" (TELELUNOS) на белгийско-холандската фирма "Delft Sensor Systems". Системата е изградена от входящ обектив, ЕОП II⁺ или III поколение, стикован с 2/3" CCD матрица с 756x581 елемента и дистанционно разделени дисплей и блок за управление. Системата е комплектована с три обектива (1X, 4X и 6X), като има възможност за използване на обективи с променливо увеличение ("zoom ") и променлива диафрагма. Управлението на обективите става от пулта за управление. При използване обективи с променлива диафрагма системата има динамичен диапазон от 0,0001 до 100 000 lx и може да се използва както в дневни, така и в нощни условия за наблюдение и документиране (видеозапис) на различни цели и обекти. Полезрението на системата е 32 x 24 градуса при използване на основния обектив 1X при хоризонтално разрешение 360 линии (осветеност 0,0001 lx [3].

Резюмирайки написаното по-горе, може да се обобщи, че разширяването на възможностите на приборите за нощно виждане и подобряването на техните характеристики се води в няколко направления Първото, по-подробно анализирано тук, е в разработката на ЕОП с фотокатод, чувствителен в близкия ИЧ диапазон, включително до 2 μm . Разработките се разпростират в няколко технологични посоки, като по-известно е изследване на фотокатоли с т.н. "отрицателно електронно сродство" на основата на тройни и четворни съединения (InGaAsP), главно в САЩ. Понастоящем са получени ЕОП с чувствителност на фотокатода до 1,2 μm и квантова ефективност на порядък по-висока, отколкото при кислородно-цезиевия фотокатод (програмата OMNIBUS VI) [2].

Второто направление е създаване на твърдотелни преобразуватели – аналози на вакуумните ЕОП. Получени са интересни резултати, при разработката на твърдотелен преобразувател на изображения (ТТПИ), представляващ система "полупроводник-течен кристал" [3]. За полупроводник се използва високоомен моно кристален материал – галиев арсенид, с примеси от хром, ванадий и кислород с относително съпротивление $10^7 \Omega \cdot \text{cm}$. Чувствителността на някои образци достига до 10^4 V/W в диапазона 1-2 μm . Като четящ елемент се използва течен кристал. Достигната е прагова осветеност 10^{-6} W/cm^2 при разделителна способност 10 линии/mm. Този тип преобразуватели биха могли да решат много въпроси при развитието на ПНВ. Той осигурява възможност за работа в областта на честотния спектър до 2 μm с всички посочени по-горе предимства. Нивото на яркост на изходното изображение лесно се регулира, а максималната стойност безпроблемно се установява на исканото ниво, затова шумозащитеността на такъв прибор се приближава до идеалната. Шумоустойчивостта на няколко порядъка превъзхожда шумоустойчивостта на класическите вакуумни ЕОП. ТТПИ е

безвакуумен прибор, който изисква за своето захранване ниско напрежение (40-50 V). Габаритните размери и масата на ТТПИ са съществено по-малки, отколкото тези на вакуумния ЕОП.

Третото направление е чрез създаването на система, състояща се от матрично фотоприемно устройство (ФПУ) на базата на полупроводниково съединение от InGaAs, стиковано със силициев мултиплексор. Спектралната област на чувствителност е 0,85-1,7 μm , способност за откриване (D^*) на отделния елемент $10^{13} \text{ sm}\cdot\text{Hz}^{1/2}\cdot\text{W}^{-1}$, квантовата ефективност при $\lambda = 1 \mu\text{m}$ достига 80 % (квантовата ефективност на GaAs фотокатод на $\lambda = 0,8 \text{ мкм}$ е не повече от 23 %).

Преобразуване на изображението, получавано с помощта на ЕОП, в аналогов или цифров видеосигнал открива допълнителни възможности за обработка на изображението с цел повишаване на неговото качество и информативност.

В заключение, от всичко казано по-горе, могат да се направят следните няколко извода:

1. Добрите параметри на ЕОП II⁺, II⁺⁺, SuperGen, HyperGen и т.н усъвършенствани поколения практически осигуряват същите условия за работа с ПНВ, както и тези с ЕОП III поколение (с изключение на последните модификации OMNI IV-IV) при осветеност до 0,001 lx. Така тези ЕОП представляват по-евтина алтернатива на ЕОП III поколение в повечето случаи.
2. Целесъобразно е да се комплектоват ПНВ с конструктивно взаимозаменяеми ЕОП от семейството на II⁺ и тези от III поколения. Индивидуалните и масови ПНВ (монокуляри, мерници за индивидуално и лично стрелково оръжие, очила за нощно виждане и други подобни) е изгодно и целесъобразно да се изграждат на базата ЕОП II⁺ поколения.
3. ЕОП III и по-високи поколения да се използват за прибори, изпълняващи специални задачи, изискващи работа на максимално възможни дистанции при осветеност под 0,001 lx, както и използването им в средства и системи, цената на които многократно превъзхожда цената на ЕОП (танк, вертолет, БМП). Тук тяхното използване е естествено за максимално повишаване на ефективността на нощните действия с тези бойни средства.
4. Тенденцията в развитието на ПНВ е с използването на ЕОП с удължена чувствителност към близката ИЧ област, включително до 2 μm за получаване на максимална ефективност при работата с тях и постепенното заменяне на вакуумните ЕОП с хибридни и твърдотелни такива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков В.Г. Приборы ночного видения новых поколений.//Специальная техника, 2001, № 5, с. 2 – 8.
2. Gourley S. See in the Night. Jane's Defense Weekly, 2001, Vol. 21, No. 3, pp. 20 – 27

3. V. P. Beguchev, A. L. Chapkevich, A. M. Filachev Image intensifiers today. state and basic development tendencies, "Applied Physics", №3, 1999