

# SENS'2006

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

---

## ЕЛЕКТРОННО ОПТИЧНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В ОПТИКОЕЛЕКТРОННИТЕ СИСТЕМИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ - СЪСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ

**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](mailto:mlm@bitex.bg)

## IMAGE INTENSIFIERS IN OPTIC ELECTRICAL SURVEILLANCE SYSTEMS - STATE AND PROGRESS

**Mladen Mladenov**

1504 Sofia, 82 blvd. "Evlogy Guergiev", Military Academy "G. S. Rakovsky", Institute for  
advanced Defence Research, [mlm@bitex.bg](mailto:mlm@bitex.bg)

**Key words:** Image intensifier, photocathode, system for surveillance, sensibility, generation.

**Abstract:** Some systems for surveillance can be use in optic electrical surveillance and reconnaissance systems are presented. The analysis is made and the main parameters and characteristics of shown image intensifiers.

Състоянието и перспективите за развитие на приборите и системите за нощно виждане след края на войната в Ирак са във фокуса на вниманието както на научно-техническите специалисти, така и на другите отговорни фактори, имащи отношение към този въпрос. Системите за нощно виждане се налагат като основна насока за техническото превъоръжаване на армиите в развитите страни. Те стават основен фактор при водене на бойни действия във въздуха, по море и на сушата, като позволява тяхното провеждане по всяко време на денонощието. Военните доктрини на водещите в това отношение страни са ориентирани към достигане на висок темп на водене на бойни действия, при което на противника се отнема възможността за своевременно планиране и организиране на адекватни отбранителни действия и в крайна сметка предопределя успеха на замислените операции. Естествено, ролята и значението на приборите и системите за нощно виждане са определящи за поддържането на висок темп на развитие на настъпление при сумрак и тъмната част на денонощието.

Особено значение приборите и системите за нощно виждане имат при организацията на денонощни действия на пилотируемата авиация – основна ударна сила при съвременните бойни операции. Основно значение тук имат подвесните мерно-навигационни комплекси за осигуряване действията на ударните самолети на ВВС и ВМФ. Те позволяват да се идентифицират и атакуват наземни

цели на значителни разстояния с много висока ефективност. От количеството и качеството на тези прибори и системи зависи в голяма степен ефективното използване на въоръжението и от друга страна минимални загуби в жива сила и техника. В най-голяма степен това важи и за вертолетната авиация. Не по-малко значение тези прибори и системи имат и за Сухопътните войски и ВМФ.

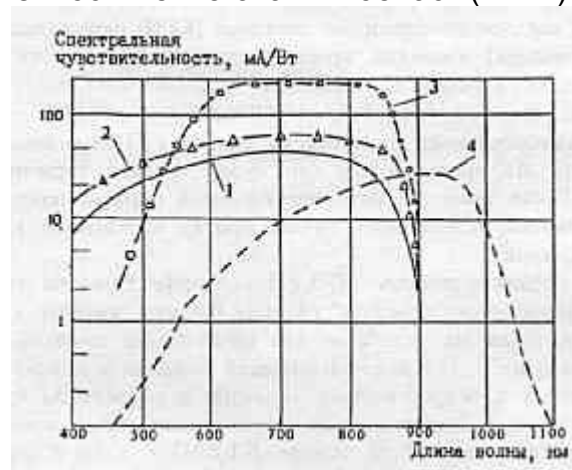
Развитието и усъвършенстването на приборите за нощно виждане е свързано с много фактори и условия. Определящи са степента, задълбочеността и продължителността на изследванията в тази област, технологичната и финансова мощ на съответната фирма (държава) и наличието на военни конфликти, които до стимулират това развитие.

Системите за наблюдение с усилвател на изображението (IIS) използват като основен елемент електронно оптичния преобразовател (ЕОП). Работата на ЕОП се базира на външния фотоэффект (фотоелектронна емисия). Той представлява вакуумен фотоелектронен прибор, усилващ стотици и хиляди пъти слабото лъчение от видимия диапазон, а също така и преобразуващ (с последващо усилване) лъчението от ултравиолетовия и инфрачервения диапазон. Тъй като усилването на яркостта в съвременните ЕОП достига няколко десетки хиляди пъти, то, въпреки определени загуби на яркост във входния обектив, съвременните ПНВ позволяват отчетливо да се наблюдават изображения на цели (обекти) в условията на минимална нощна осветеност, включително безлунна нощ.

Едновременно с усилването, ПНВ осъществяват и преобразуване на изображението. Преобразуването се осъществява заради разликата в спектралните характеристики на чувствителността на фотокатода на ЕОП и човешкото око. Съвременните фотокатоли имат удължена (по сравнение с окото) чувствителност в ИЧ-област (до 0.9мкм, а в последните образци ЕОП, и повече – до около 1,1  $\mu\text{m}$ ) - **Фигура 1**[1].

**Фигура 1.** Типични спектрални характеристики на фотокатоли: 1 - мултиалкален (S-25) фотокатод; 2 – подобрен мултиалкален (Super S25) фотокатод;

3 - фотокатод 3-то поколение (GaAs) модификация OMNI IV; 4 – фотокатод с удължена чувствителност в близката ИЧ област (ENIR) на базата на InGaAs



В тази област се наблюдава съществена разлика между коефициентите на отражение на светлината от естествени и изкуствени обекти. Затова неразличим от окото в тъмното време на денонощието човек в защитна форма на фона на трева или листа ще бъде отчетливо виждан в ПНВ

като тъмен обект на светъл фон.

ЕОП по принцип определя характеристиките на прибора (системата) като цяло. Той е главният лимитиращ фактор при оценката и избора на дадено устройство. Най-добрия начин за комплексна оценка на ЕОП е полеовото изпитание. Постановката за провеждане на такова изпитване се определя основно от следните фактори:

- Степен на осветеност;
- Контраста между фона и обекта;
- Отражателните способности на наблюдаваните цели;
- Спектралните характеристики на попадналата върху фотокатода светлина.

Без отчитането на тези фактори не би могло да се направи обективна оценка на ЕОП. От друга страна, най-важните характеристики на електронно оптичния преобразовател, които определят приложимостта му за поставените цели, са:

- Чувствителност на фотокатода (интегрална и спектрална);
- Разделителна способност;
- Коефициент на усилване;
- Отношение сигнал - шум;
- Модулационна предавателна характеристика (MTF);
- Размер и яркост на екрана;
- Устойчивост на външни механични и климатични въздействия.

Като материал за направа на фотокатода в предвоенните разработки и до 50-те години се използва главно кислородно – сребърен – цезиев слой (S-1), известен още от началото на миналия век. Характерно за ЕОП, използващ такъв фотокатод, е ниската му чувствителност (50-60)  $\mu\text{A}/\text{lm}$ , значителни геометрични изкривявания, ниска разделителна способност, големи вътрешни шумове и т.н. Поради това за постигане на задоволителни резултати е необходима употребата на допълнителен осветител на целта (най-често ИЧ фар) – т.н. „активно осветяване на целите”. Въпреки всичко в началото на 40-те години се водят интензивни разработки, главно в Германия, Англия и САЩ. Постигнатите резултати към края на Втората световна война са впечатляващи. Така например през есента на 1944 г. при битка край езерото Балатон (Унгария) снабдените с нощни мерници с активно осветяване на целите немски танкове нанасят значителни загуби на съветските войски. Снимката на такъв мерник е показана на **Фигура 2**.

**Фигура 2.** Немски нощен мерник с ИЧ фар от II световна война



В периода от края на Втората световна война до края на 50-те години върви непрекъснато усъвършенстване конструкцията и характеристиките на ЕОП. Постиженията на електронната оптика позволяват да се замени прекия пренос на изображението с електростатична фокусировка, усъвършенстват се параметрите на фотокатода и конструкцията на електродите. Според приетата понастоящем класификация приборите от този тип е прието да се класифицират като „Генерация 0”.

Класификацията на ЕОП в известна степен е условна. Тя се базира основно на технологичното ниво на процесите по производството на тези елементи, но все пак дава някаква база за сравнение. Понастоящем ЕОП се класифицират в 4 генерации (поколения), като вътре в отделните генерации има допълнителни подразделяния, често носещи търговско - рекламни цели.[2]

„Генерация 0” е с ниски параметри – ниска интегрална чувствителност - (50-60)  $\mu\text{A}/\text{lm}$ , големи вътрешни шумове, обусловени от високите тъмнови токове - ( $10^{-13}$ - $10^{-11}$ )  $\text{A}/\text{sm}^2$ , ниска и неравномерна разрешаваща способност (добра в центъра и рязко намаляваща в краищата на екрана, достигаща до (3-4)  $\text{lp}/\text{mm}$ ), големи геометрични изкривявания, малко светлинно усилване (50-120). Поради това ЕОП от тази генерация могат да се използват само в прибори за нощно виждане, при които целта (обекта) се осветява допълнително с ИЧ прожектори (фарове). Те са известни още и като „Активни прибори за нощно виждане”.

„Генерация I” ЕОП са разработени през 50-те и началото на 60-те години. Представяват подобрене на „Генерация 0”. Благодарение на новоразработените мултиалкални фотокатоли - отначало S10, а малко по-късно и подобрения S20, чиято интегрална чувствителност достига до 200  $\mu\text{A}/\text{lm}$ , чрез употребата на електростатична инверсия и електронно усилване, подобрените характеристики на луминофора на екрана и някои технологични усъвършенствувания те имат сравнително добро разрешение, достигащо до (25-30)  $\text{lp}/\text{mm}$ , голям динамичен диапазон на приеманите лъчения, нисък шум. Усилването при тях достига до 1000, при средни стойности 200-500. За пръв път ПНВ с подобрени висококачествени екземпляри ЕОП могат да работят в пасивен режим – т.е. без допълнително осветяване на целта. За съжаление при тях се наблюдава ефекта на „заслепяване” – при попадане на силна светлина в полезрението на прибора, той „ослепява” – целта се загубва. По – нататъшно развитие тези прибори получават като се стиковат два, три или повече ЕОП, конструктивно оформени в един корпус. По този път се е работило основно в бившия СССР, като са постигнати много добри резултати и за кратко време (до средата на 60-те години) те имат водещи позиции. Коефициентът на светлинно усилване при такъв три каскаден ЕОП може да достигне до  $10^7$  пъти.

За съжаление приборите от този тип са с много големи масогабаритни характеристики. Освен това, разрешаващата способност в края на третия каскад рязко спада и се увеличават геометричните изкривявания, изисква се изключителна прецизност при изработката им (например стъклените колби са се изработвали ръчно от стъклодуви с много висока квалификация). Поради тази причина след средата на 60-те години те бързо са изместени от I+ и II генерация.

Като „Генерация I+” са известни прибори от началото на 60-те години. Представява по-нататъшно развитие на ЕОП от първо генерация. В него е направен успешен опит да се намалят основните недостатъци, присъщи на предходното поколение. Един от най – съществените е ниската разрешаваща

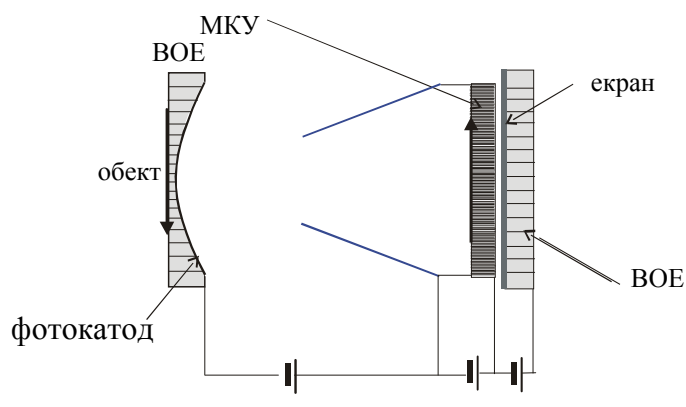
способност и голямата ѝ неравномерност в центъра и по краищата на ЕОП. На входа и много често и на изхода на ЕОП се поставя плоско – вдлъбнат влакнесто оптичен елемент (ВОЕ). Той позволява значително увеличение на разрешаващата способност и намаляване на геометричните изкривявания на формата на наблюдавания предмет. Много важно достижение е и намаленото влияние на силните смущаващи светлинни източници. ПНВ, използващи такъв ЕОП се характеризират, в сравнение с тези с ЕОП първо поколение, преди всичко с ясна и рязка картина на целта върху екрана, ниско ниво на шумовете и като следствие на това с по-голямата дистанция на действие, както в пасивен, така и в активен режим на работа. По правило те са способни да работят в пасивен режим до 1/4 Луна. Типични характеристики на такъв ЕОП:

- чувствителност на фотокатода (220 – 260)  $\mu\text{A}/\text{lm}$ ;
- усилване - средна стойност от около 1000 пъти;
- разрешение в центъра – (40 – 42)  $\text{lp}/\text{mm}$ , (34 – 36) в края;
- ниски масогабаритни характеристики.

Разработките на такъв тип ЕОП са провеждани главно в САЩ и Западна Европа и този подход се оказал по-успешен, защото е подготвил технологично лесното преминаване към разработката и производството на „Генерация II“. Този тип ЕОП все още се използва, главно за ПНВ с гражданско и промишлено предназначение поради ниската цена на ЕОП I+ поколение. За военни цели той почти не намира приложение.

„Генерация II“ представлява революционна крачка в развитието на технологията за реализиране на ЕОП и е значителен пробив в развитието на ПНВ. Конструктивно ЕОП от този тип представлява едно каскаден усилвател на яркостта с подобрен мултиалкален фотокатод S20 или S25 (удължена чувствителност към червената и близка ИЧ област). Има ВОЕ на входа и изхода и микро канален усилвател (МКУ) - специален усилвател на фото електроните. Предназначението на МКУ е да осигури стойности на светлинното усилване до нива около 18 000 – 30 000 и повече. ЕОП от този тип обикновено имат автоматично регулиране на усилването и защита от ярки светлинни източници. Геометричните изкривявания също са сведени до минимум. Първите образци от ЕОП „Генерация II“ са се изработвали като инвертиращи, подобно на тези от „Генерация I+“, докато съвременните по-често са т.н. „Бипланарен“ тип. Бипланарните ЕОП представляват два промеждутъка с паралелно електростатично поле: фотокатод – МКУ и МКУ – екран. На **Фигури 3** и **4** са показани двата типа ЕОП втора генерация.

**Фигура 3.** ЕОП втора генерация инверторен тип

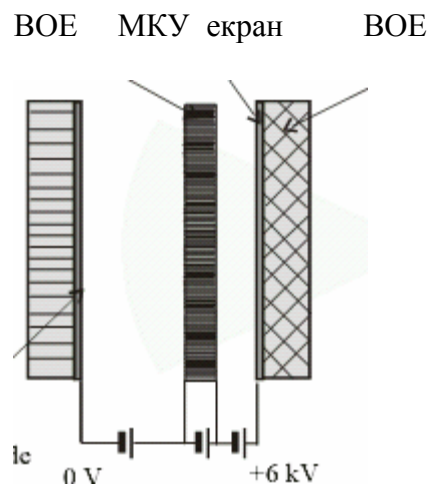


А) Схема на работа



б) Външен вид

**Фигура 4.** ЕОП втора генерация бипланарен тип



А) Схема на работа



б) Външен вид

Второто поколение ЕОП се характеризира с много добри характеристики - висока чувствителност, достигаща до (260 – 350)  $\mu\text{A}/\text{lm}$ , висока разрешаваща способност до (38-42)  $\text{lp}/\text{mm}$ , ниски шумове, малки геометрични изкривявания, ниски масогабаритни характеристики и т.н. ПНВ, реализирани на базата на ЕОП от второ поколение са изключително от пасивен тип, имат малка маса и габаритни размери и са най-масово използваните понастоящем (заедно със своите модификации) в практиката на армиите по света. По-нататъшното развитие на технологиите и техническите решения доведоха до появата на още по-усъвършенствани образци от това поколение, познати като II+, II++, Super Gen, Нурег Gen генерации – най-често фирмени разработки на водещи европейски фирми. При тях чувствителността на фотокатода е повишена още повече и е разтеглена към червената част на видимия диапазон и близката инфрачервена област. Благодарение на повишената чувствителност – до около (550-700)  $\mu\text{A}/\text{lm}$  и разрешаваща способност, достигаща до (42-48)  $\text{lp}/\text{mm}$  ПНВ, реализирани на тяхна база показват по-добра картина при по-ниска осветеност от тези с II генерация – работят при осветеност от звездно небе и дори при лека облачност. Последните разработки в тази насока са познати като SHD-3, XD-4, XR-5 и се характеризират с много високи характеристики, оптимални маса и тегло, повишена устойчивост на външни въздействия (механични и климатични) и дълъг живот (над 10 000 часа).

По-нататъшните изследвания в началото и средата на 80-те години доведоха до появата на ЕОП „Генерация III”. Конструктивно те не се отличават от II генерация. Основната разлика между тях е, че те използват фотокатод, реализиран на базата на GaAs и/или AlGaAs. Този материал се характеризира с много добра квантова ефективност в близката ИЧ област (до около 1  $\mu\text{m}$ ) – над 10 пъти по-голяма в сравнение с квантовата ефективност на мултиалкалния фотокатод.

От направения по-горе преглед ясно се вижда тенденцията за все по-голямо повишаване на чувствителността на ЕОП и удължаването на работната ѝ характеристика към близката инфрачервена област на спектралния диапазон. Това не е самоцелно, а се базира на няколко известни физически закономерности – енергията на лъчението на нощното небе се увеличава с

нарастването на дължината на вълната и достига своя максимум при около 1,1  $\mu\text{m}$ . Като резултат приборите, базирани на ЕОП III генерация осигуряват много по-голям „улов“ на енергия при определено ниво на нощна осветеност. Този факт, съчетан с много високата им чувствителност – (1000 - 1800)  $\mu\text{A/lm}$ , ги прави много ефективни и качествени като цяло. В началните разработки обаче, за предпазване от вредното въздействие на положителните йони и удължаване на живота на ЕОП, фотокатодът се покрива с т.н. „йонна бариера“. Тя намалява в известна степен полезния сигнал и въпреки много голямото усилване и отличната чувствителност, на практика светлинното усилване е 1,2 до 2 пъти по-добро като краен резултат в сравнение с тези при втора генерация. Към началото на 90-те години на миналия век са направени редица подобрения в тази област, отразени в разновидностите OMNI 1,2,3,4. В средата на същия този период се появиха и съобщения за нова успешна модификация на третата генерация, отначало наричана „Генерация III+“, а по-късно се утвърждава и придобива разпространение терминът „Генерация IV“. (Програмите OMNI 5 и 6) Това е усъвършенствана трета генерация, при която е премахната йонната бариера. Използва се и т.н. „Autogated“ - регулируемо импулсно захранване на ЕОП, което позволява усилването да се настройва автоматично съобразно условията на осветеност на наблюдавания обект. Това довежда до икономия и на захранването, което е особено полезно при полеви условия. Към недостатъците на ЕОП от трета и четвърта генерация може да се отнесе изключително трудната производствена технология, по - крехката конструкция и много високата им стойност – един ЕОП от тези поколения е от 1,5 до 2,5 пъти по-скъп от тези на второ и модификациите му поколение. Освен това, засега има данни, че тяхното производство е усвоено само в САЩ и Русия.

В заключение е необходимо да се отбележи, че всички тези ЕОП (от втора до четвърта генерация) се произвеждат с различни диаметри на фотокатодите – обикновено това са 18, 25 и 40 mm и по рядко 14 и 20 mm. От направения преглед в развитието на технологиите за производство и употреба на ЕОП се вижда неотклонна тенденция за подобряване основно на чувствителността (интегрална и спектрална), разрешаващата способност и увеличаване на работната характеристика към ИЧ област от поколение към поколение. Това е напълно вярно при сравняването на първите три поколения – нулево, първо и второ. При сравняването между последните модификации на второ поколение, особено Super Gen, XD-4, XR-5 и ЕОП от трето и четвърто поколение трябва да се подхожда по-внимателно. В някои случаи те се оказват на едно ниво или дори в някои конкретни случаи по-добри от тези от III и IV генерация. Последните еднозначно са по-добри при много ниски нива на осветеност (беззвездна нощ или силна облачност). Трябва да се подчертае, че и най-качествените ЕОП не могат да се абстрахират от зависимостта на основните параметри на приборите и системите за нощно виждане от характеристиките на външните условия. Това са спектралния състав и нивото на естествената нощна осветеност, оптичните параметри на атмосферата, контрастната разлика „цел-фон“. Следователно за адекватното решаване на поставените задачи е необходим комплексен подход с отчитане на всички основни фактори, влияещи върху работата на приборите и системите за нощно виждане и точно формулиране на целта, предназначението и задачите, които ще изпълняват тези прибори и системи.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Н. Ф. Кошавцев, С. Ф. Федотова** “Состояние и перспективы развития техники ночного видения”, Государственное унитарное предприятие «Специальное конструкторское бюро техники ночного видения», Москва, Россия, 1999 г.
2. **М.Л.Младенов**, Научна дискусия “Индивидуални прибори за нощно виждане”, ВА “Г.С.Раковски”, ИПИО, 2002 г