**Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу**

**Војна академија Универзитета одбране у Београду**

**Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство**

**Ниво студија: Основне академске студије**

**Модул: Наоружање**

**Предмет: Оптички и оптоелектронски уређаји**

**Број индекса: 526/2011**

**Немања Н. Аранђеловић**

# Анализа савремених термовизијских уређаја на савременим тенковима

## Дипломски рад

**Комисија за преглед и одбрану:**

1. **ван. проф. др Дарко Васиљевић - председник**
2. **ред. проф. др Богдан Недић - члан**
3. **доц. др. Александар Кари - члан**

**Датум одбране: _____**

**Оцена: _____**

**Крагујевац, сеп 2015.**

Кандидат би требао приликом израде дипломског рада да примени стандардни приступ у изучавању једног сложеног проблема који се састоји из следећих корака:

- приказ рада савремених термовизијских система са посебним освртом на развој термовизијских система,
- анализа постојећих термовизијских система за оклопномеханизоване јединице која су усвојена у наоружање савремених армија света,
- приказ рада савремених дневно-ноћних система за оклопномеханизоване јединице. Потребно је детаљније обрадити савремене појачаваче слике,
- анализа постојећих дневно-ноћних система (нишанских и осматрачких) за оклопномеханизоване јединице која су усвојена у наоружање савремених армија света,
- Упоредна анализа предности и мана термовизијских система у односу на дневно-ноћне системе. Указати на главне предности термовизијских система које оправдавају увођење таквих система у наоружање.

Анализу постојећих термовизијских система и дневно-ноћних система треба урадити сагледавањем доступне литературе из посматране области и претраживањем интернета.

За почетак истраживања предлаже се следећа литература:


- Д. Васиљевић, Оптички уређаји и оптоелектроника, Машински факултет, Београд 2005.
- Б. Ливада, Војне примене термовизије, Војно Технички Институт, Београд 2000.
- K. Chrzanowski, Review of night vision technology, OPTO−ELECTRONICS REVIEW **21**(2), 153–181, DOI: 10.2478/s11772−013−0089−3.


Крагујевац, сеп 2015.

ментор:

проф. др Дарко Васиљевић

_____

**Резиме:**

У оквиру овог рада су анализирани различити типови термовизијских и дневно-ноћних уређаја.

Приказана је структура, основни принципи рада и конструкције термовизијских уређаја и дневно-ноћних уређаја, описане су основне карактеристике. Дат је преглед карактеристика савремених термовизијских и дневно-ноћних уређаја. Описане су карактеристике војне примене термовизијских дневно-ноћних уређаја уз кратак осврт на могућности примене различитих техника заштите. Дискутовани су трендови развоја и граничне вредности најважнијих параметара термовизијских и дневно-ноћних уређаја кроз кратак преглед развоја најважнијих технологија које се примењују у производњи и експлоатацији термовизијских и дневно-ноћних уређаја. Дати су основни критеријуми које треба разматрати при пројектовању, развоју или набавци термовизијских и дневно-ноћних уређаја.

**Кључне речи:**

Термовизијски уређаји, Днево-Ноћни уређаји , Појачавачи слике, Савремена решења

**Summary**

As part of this work is to analyze various types of thermal vision and day-night devices.

Shows the structure of the basic principles of operation and construction of thermal imaging equipment and day-night devices are described basic characteristics. A review is given characteristics of modern thermal vision and day-night devices. The characteristics of military applications day-night thermal imaging device with a brief overview of the possibilities of applying different techniques of protection. Also discusses the development trends and the limit values of the important parameters of thermal vision and day-night devices through a brief overview of the development of the most important technologies used in the manufacture and exploitation of thermal vision and day-night devices. We provide basic criteria that should be considered in the design, development or procurement of thermal imaging and day-night devices.

**Key words:**

Thermal imaging devices, Day-night sighting devices, Image intensifier, Current solutions

**САДРЖАЈ**

1. УВОД ..... 8
2. ФИЗИЧКЕ ОСНОВЕ РАДА ТЕРМОВИЗИЈСКИХ УРЕЂАЈА ..... 13
2.1 Спектрални опсег рада ..... 15
2.2 Утицај атмосферских метео-услова ..... 16
2.3 Спољашњи утицаји на процес формирања термовизијске слике ..... 16
2.3.1 Извор зрачења ..... 16
2.3.2 Утицај атмосфере ..... 19
2.3.3 Трансмисија ..... 20
2.3.4 Слабљење ..... 20
2.3.5 Метеоролошка видљивост ..... 21
2.3.6 Утицај атмосфере на карактеристике и пренос слике ..... 25
2.3.7 Утицај атмосфере на примене термовизијских уређаја и система ..... 25
2.4 Структура термовизијских уређаја ..... 26
2.4.1 Оптички систем ..... 27
2.4.2. Скенер ..... 27
2.4.3. Детектор ..... 28
2.4.4. Расхладни систем ..... 29
2.4.5. Електронска обрада сигнала ..... 29
2.4.6. Екран ..... 30
2.4.7 Термовизијско снимање ..... 30
2.4.8 Читање термограма (термо слика) ..... 30
3. ФИЗИЧКЕ ОСНОВЕ РАДА ПОЈАЧАВАЧА СЛИКЕ ..... 33
3.1 Основне компоненте појачавача слике ..... 34
3.2 Генерације појачавача слике ..... 36
4. ДНЕВНО-НОЋНИ УРЕЂАЈИ ..... 42
5. САВРЕМЕНА РЕШЕЊА СИСТЕМА ..... 48
5.1 T-90 S ..... 48
5.2 M-84 ..... 51
5.3 LAV III ..... 54
6. АНАЛИЗА САВРЕМЕНИХ ТЕРМОВИЗИЈСКИХ И ДНЕВНО-НОЋНИХ СИСТЕМА ..... 57
7. ЗАКЉУЧАК ..... 68
8. ЛИТЕРАТУРА ..... 69

SKRAĆENICE KOJE SU KORIŠĆENE U RADU

**AFGL** - **A**ir Force **G**eophysics **L**aboratory – Геофизичка лабораторија ваздухопловства SAD

**CLDP** - **C**onvertible **L**aser **D**esignation and fire control **P**od – Конвертибилни подвесак за управљање ватром и ласерско означавање

**CTR** **C**athode **R**ay **T**ube – катодна цев

**FLIR** - **F**orward **L**ooking **I**fra **R**ed – Инфрацрвени уређај за осматрање у предњој полусфери

**FOV** - **F**ield **O**f **V**iew – Видно поље

**HIRE** - **H**ughes **I**nfra **R**ed **E**quipment – Хјузов инфрацрвени уређај

**HUD** - **H**ead-**U**p **D**ispley – дисплеј испред главе возача

**IC** - **И**нфра**Ц**рвено

**IFOV** - **I**nstantenous **F**ield **O**f **V**iew – тренутно видно поље

**IRST** - **I**nfra **R**ed **S**earch and **T**rack – Инфрацрвени уређај за осматрање и праћење

**L** - ознака дуго таласног спекрталног опсега IC зрачења (8-14μm)

**LANTIRN** - **L**ow **A**ltitude **N**avigation and **T**argeting **I**nfra **R**ed for **N**ight – Инфрацрвени систем за ноћну навигацију и нишањење на ниским висинама

**LLLTV** - **L**ow **L**ight **L**evel **TV** - телевизија за низак ниво осветљености

**LRMS** - **L**aser **R**anger and **M**arker **S**eeker – Ласерски даљиномер и означавач

**M** - ознака средње таласног спектралног опсега IC зрачења (3-5μm)

**MDT** - **M**inimum **D**etectable **T**emperature – Минимална температура која се може детектовати

**MRT** - **M**inimum **R**esolvable **T**emperature - Минимална разложива температура

**MTF** - **M**odulation **T**ransfer **F**unction – Модулациона преносна функција

**NEA** - **N**egative **E**lectron **A**ffinity – фотокатода са негативним излазним радом

**NEP** - **N**oise **E**quivalent **P**ower - Снага еквивалентна шуму

**PEB** **П**ротив **Е**лектронска **Б**орба

**PO** - **П**ротив**О**клопни

**PT** - **П**ротив**Т**енковски

**PVO** - **П**ротив**В**аздушна **О**дбрана

**S/N** - **S**ignal/**N**oise – однос сигнал шум

**TDI** - **T**ime **D**elay and **I**ntegration - временско кашњење и интеграција

**TIALD** - **T**hermal **I**maging **A**irborne **L**aser **D**esignator – Ваздухопловни ласерски означавач са термовизијским осматрачким и нишанским уређајем

**ТТЗ** - Тактичко технички захтеви

**PREGLED KORIŠĆENIH OZNAKA**

| | | |
|---|---|---|
| a | - | димензија детектора |
| $\alpha_d$ | - | уграона димензија детекторког елемента; |
| $\alpha_{aer}(\lambda)$ $\alpha_{con}(\lambda)$, $\alpha_{mol}(\lambda)$ | - | коефициент слабљења услед расејања на аеросолима, на атмосферским гасовима (континуум), услед молекуларне апсорпције |
| **C1, C2** | - | радијационе константе |
| c | - | карактеристична димензија тест слике |
| $D^*$ | - | детективност детектора |
| ε, ε(x,y),ε(λ,T), | - | Емисивност, просторна расподела емисивности, зависност емисивности од таласне дужине и температуре |
| $\Delta\varepsilon(x,y)$ | - | просторна расподела разлика у емисивности објеката у сцени |
| $f^*$ | - | просторна учестаност |
| $F_s$ | - | учестаност слика |
| $f_o$ $f_k$, | - | жижна даљина објектива, колиматора |
| $f_T^*$ | - | карактеристична просторна учестаност тест слике |
| $K_T$ , $K_\varepsilon$ | - | константа пропорционалности промене радијансе у функцији промене температуре, промене емисивности |
| $L_{e\lambda}^{ACT}(\lambda, T_{ACT})$ | - | спектрална радијанса апсолутно црног тела |
| $L_{eB0}$ | - | еквивалентна вредност радијансе за ниво белог у слици |
| $L_{ec0}$ | - | еквивалентна вредност радијансе за ниво црног у слици |
| $L_e^{ACT}(x,y)$ | - | просторна расподела радијансе апсолутно црног тела |
| $\Delta L_e(x,y)$ | - | просторна промена радијансе у односу на референтни ниво $L_e^R$ (температурски ниво - сјајност ) |
| λ | - | таласна дужина зрачења |
| **M,** | - | преносна функција термовизијског уређаја |
| MRT($f^*$) | - | минимално разложива температурска разлика за задату просторну учестаност |
| MTF ($f^*$) | - | модулациона преносна функција за задату просторну учестаност |
| $M_{e\lambda}^{ACT}(\lambda, T_{ACT})$ | - | спектрална екситанса апсолутно црног тела |
| N, $N_s$ | - | број нивоа сивог у термовизијској слици |
| $n_l$ | - | број IC линија |
| $n_{pl}$ | . | број пиксела у слици |
| $n_p$ | - | број детектора у паралели |
| $n_s$ | - | број детектора у серијској вези |
| $N_{vp}$ | - | број линијских парова по критичној димензији тест слике према одабраном критеријуму нивоа перцепције |

| | | |
|---|---|---|
| $\eta_{sc}$ , $\eta_h$ , $\eta_v$ | - | ефикасност сканера, хоризонтална вертикална |
| $\Omega_v$ , $\Omega_h$ | | угаоне димензије видног поља термовизијског уређаја |
| $R_v$ | - | метеоролошка видљивост |
| $\Re$, $\Re_\lambda$, $\Re_{BB}$ | - | Одзивност детектора,спектрална одзивност, одзивност за црно тело |
| T(x,y) | - | просторна расподела температуре |
| $\Delta T(x,y)$ | - | просторна расподела разлика температуре у сцени |
| $T_{ACT}$ | - | температура апсолутно црног тела (АСТ) |
| $\tau$, $\tau_s$ | - | трансмисија, трансмисија сметње |
| $v_{sc}$ | - | брзина сканирања |
| $v_s$ | - | напонски инкремент за један ниво сивог у термовизијској слици |

# 1. УВОД

Тек 1960. године појавио се први комерцијални термографски систем који је давао слику у реалном времену и представљао је основу за развој нових метода контроле при одржавању и метода мерења температурних поља неопходних у појединим истраживањима. Могућност бесконтактног и даљинског снимања укупног температурног поља површине посматраног објекта даје огромне предности у односу на класичне начине одређивања температуре.

Развијају се методе за примену термовизије у машинским системима која се због своје примењивости често користи и интердисциплинарно. Данас научници користе модерне IC-системе којима су могућности истраживачког рада битно побољшане.

Решавање проблема вођења или прелаза топлоте у неким је случајевима олакшано применом термовизије комбинације с нумеричким методама. Преко снимљених термограма и постављених математичких модела могуће је добити температурну расподелу унутар тела или коефицијента прелаза топлоте на површини посматраног тела.

Свој однос према околини човек уређује на основу информација о стању околине и појава које се дешавају, усклађујући своје реакције са алгоритмима понашања које је изградио кроз искуство. Највећи број информација о околини (око 80 %) прикупља користећи чуло вида - ОКО при чему је основни носилац информација рефлектовано зрачење Сунца. Људско око је прилагођено за оптимални пријем и обраду информација у видљивом делу спектра (0.38 - 0.78 μm). Сходно томе, у науци и техници се посвећује велика пажња изучавању својстава видљивог зрачења и примени уређаја који повећавају сензорске могућности ока. [1]

Ноћу и у условима снижене видљивости могућности чула вида су знатно смањене, па се такви услови сматрају врло сложеним за извођење борбених дејстава због следећих разлога:

- отежано извиђање, осматрање и откривање присуства непријатељских снага;
- отежано нишањење и праћење циљева;
- отежана оријентација кретања и маневар сопствених снага;
- већа вероватноћа изненађења ;
- ограничене могућности и смањене ефикасности употребе техничких средстава.

Иако су услови за извођење борбених дејстава сложени у случају умањене могућности визуелног контакта са противником, због могућих ефеката постизања изненађења, влада велики интерес за развој и употребу техничких средстава који подржавају извођење борбених дејстава ноћу и у условима смањене видљивости.

Међу средствима која омогућавају извођење борбених дејстава у условима ограничене видљивости најзначајнију улогу имају оптоелектронска средства (уређаји) која омогућавају коришћење информација које садржи слика осматраног простора.

Оптоелектронска средства се могу поделити на активна и пасивна.

Активна средства у свом склопу садрже вештачке изворе зрачења (IC фар), који су за голо око невидљиви, али се коришћењем адекватних пријемника у оптоелектронском уређају може учинити видљивом расподела рефлектованог зрачења коришћеног извора, у посматраној сцени.

Пасивна средства користе за свој рад природне изворе зрачења који за голо око могу бити и невидљиви или слабо видљиви.

За повећање могућности ока у дневним условима користе се оптички уређаји који се углавном користе за повећање моћи уочавања детаља (увећање) и/или оплемењивање визуелне информације новим садржајима (нпр. кончаница).

Зрачење ноћног неба (Месец, звезде) је основни извор зрачења за пасивне оптоелектронске уређаје са појачавачима слике.

Сопствено "топлотно зрачење" сцене користи се у термовизијским уређајима. [1]

Развој активних уређаја (појачавачи слике и IC фар) почео је тридесетих година и практично су коришћени и у Другом светском рату, а интензивно усавршавање и опремање јединица овом врстом средстава карактерише првих двадесет година после рата, тако да се и данас могу срести у опреми јединица.

Крајем педесетих и почетком шездесетих година почиње интензиван развој и примена пасивних уређаја са појачавачима слике прве генерације. Усавршавање се врши и данас тако да се у употреби налази трећа генерација појачавача слике са GaAs NEA фотокатодом а у развоју је и четврта генерација. Врло је извесан развој фотокатода које су осетљиве у краткоталасном (1-3 μm) и средњеталасном (3-5 μm) IC подручју (четврта генерација) са вероватном применом у системима за ноћно пилотирање хеликоптером.

Откриће инфрацрвеног зрачења (IC) (1800 - сер Виљем Хершел (*William Hersh*) ) је отворило ново поље изучавања у области тзв. "топлотног зрачења" и његове примене у науци и техници. [1]

Друга важна степеница у развоју примене IC зрачења је откриће фотоелектричног ефекта (фотонапонски ефекат 1839 - Бекерел (*Becquere*l); фотопроводни ефекат 1873 - Смит (*Smith*); патентиран први PbS фотонапонски детектор 1904 - Бозе (Bose)), тј. могућности претварања енергије IC зрачења у електрични сигнал који се може на одговарајући начин употребити (IC техника).

Трећа важна степеница у развоју примене IC зрачења је појава полупроводничких високо-интегрисаних кола велике брзине рада и микропроцесора који су омогућили форматирање и приказ тзв. "топлотне слике" тј. визуализацију просторне расподеле топлотне енергије, као и примене различитих техника за обраду и побољшање слике.

Визуелизација просторне расподеле "топлотног" зрачења тј. конверзија просторне расподеле IC енергије у одговарајућу видљиву слику даје нове могућности за прикупљање нових и невидљивих информација о околини и њихову употребу у најразличитије сврхе и отвара ново поглавље у развоју науке и технике - ТЕРМОВИЗИЈА. Почетак развоја термовизијских уређаја значајних за војне примене може се, условно, везати за откриће првог фотонског детектора на бази ускозоналних полупроводничких легура интерметалних једињења типа (Hg,Cd)Te (1956 - Лаусон (*Lawson*) ).

Развој војних термовизијских уређаја на бази примене полупроводничких вишелементних фотодетектора је најинтензивнији у другој половини седамдесетих година а у току осамдесетих се уводе у наоружање у количинама од неколико хиљада уређаја и система годишње.

Деведесете године су карактеристичне по развоју везаном за усавршавање компоненти термовизијских система који се налазе у наоружању и интензивном раду на

развоју термовизијских уређаја са фокалним матрицама и истраживању нових материјала и нових структура фокалних матрица који треба да доведу до широке примене фокалних матрица у разним системима кроз омогућавање ниске производне цене фокалних матрица и/или рад фокалних матрица на собној температури.

*Табела 1. Снага зрачења природних извора у различитим областима спектра* [1]

| Спектрални опсег | Зраење природних извора , ***eksitansa*** $\left[\frac{W}{m^2}\right]$ | |
|---|---|---|
| | **Сунце [ 6000 K ]** | **Објекти околине [ 300 K ]** |
| Видљиво, **V: 0.38 – 0.78 μm** | **750** | **0** |
| средње таласно IC, **M: 3 – 5 μm** | **24** | **1.5** |
| дуготаласно IC, **L: 8 – 14 μm** | **1.5** | **130** |

*Табела 2. Могућности и значај савремених термовизијских уређаја* [1]

| ***Могућности*** | ***Значај*** |
|---|---|
| **Користи сопствено зрачење објект**<br>♦ "топлотни контраст" ( ΔT, ε )<br>♦ непрекидност извора зрачења | ➢ пасиван режим рада<br>➢ просторна расподела радијансе (температура и емисивост)<br>➢ целодневна употреба ( дању и ноћу ) |
| **Резолуција**<br>♦ температурска резолуција **MRTD** (< 0.1 K)<br>♦ просторна резолуција **MTF** (< 1 mrad) | ➢ повољни услови за препознавање и идентификацију објекта<br>➢ велики домет уређаја |
| **Спектрални опсег рада**<br>♦ **M: 3 – 5 μm**<br>♦ **L: 8 – 14 μm** | ➢ Оптимално искоришћење зрачења<br>➢ смањен утицај дима, прашине, влаге<br>➢ употреба у отежаним метео-условима |
| **Карактеристике слике**<br>♦ слична ТВ<br>♦ слика у реалном времену | ➢ упрошћавање обуке<br>➢ употреба против покретних објекта<br>➢ употреба са покретних објекта |

Укупан развој технике и технологије у последње три деценије омогућио је значајан напредак у квалитету визуелизације поља "топлотног зрачења" и обезбедио значајно место примени термовизије.

Табела 3 приказује поређење неких карактеристика људског ока и термовизијских уређаја. Видљиво је да по квалитету визуелне информације термовизијски уређаји нису достигли могућности које око има у видљивом делу спектра. Међутим, у условима примене ноћу и у погоршаним условима видљивости када је око немоћно, достигнути ниво квалитета термовизијских уређаја у визуелизацији поља "топлотног зрачења" омогућава откривање и праћење појава које су за око невидљиве. Применом термовизије нестаје вео који скрива невидљиви свет IC зрачења које носи велики број информација о објектима и процесима који се дешавају у човековој околини.

Искуства из већине локалних ратова у периоду после другог светског рата (Вијетнамски рат, сукоби на Синају, Фокландски сукоб и др.) указују на посебан значај могућности извођења борбених дејстава ноћу. Такође су уочене и све предности и мане примене уређаја са појачавачима слике.

Искуства из заливског рата, показала су да се, при масовној примени ваздушних напада ноћу и са велике (безбедне) даљине у условима успешног електронског ометања радара PVO противника, постижу врло добри резултати у прецизности погађања. Заливски рат против Ирака започео је, вођен је и завршен ноћу, захваљујући предности коју је омогућила масовна примена термовизијскух средстава. [1]

Напредак у технологији средстава за ноћна извиђања, осматрање, нишањење и навођење омогућио је да до изражаја дођу два сасвим нова концепта за извођење ноћних борбених дејстава:

- Претварање ноћи у дан, а као последица и
- Коришћење ноћи за извођење борбених дејстава јер омогућава: постизање изненађења, постизање превласти на бојном пољу коришћењем технолошке надмоћности, постизање додатних психолошких ефеката, замарање противника кроз непрекидна дејства, минимизирање сопствених губитака кроз дејства са безбедне удаљености и др.

Експлоатација предности ноћних дејстава је настављена и у дејствима НАТО на просторима бивше СФРЈ (БиХ - 1995 и СРЈ - 1999.) где је доминирала масовна употреба ноћних дејстава (термовизијски нишани у спрези са прецизно ласерски вођеним пројектилима). Уколико нису били погодни услови за примену термовизијских средстава, динамика дејстава се одржавала применом крстарећих пројектила. Релативо неповољни временски услови са много падавина као и рељеф терена са много вегетације, отежавао је примену термовизијских средстава. Потреба да се борбена дејства изводе са велике даљине звог опасности од дејстава PVO, такође је знатно утицала на умањење вероватноће откривања циљева а тиме и ефеката примене прецизно вођених пројектила.

*Табела 3. Поређење карактеристика ока и термовизијских уређаја* [1]

| ***Специфичности употребе*** | ***Карактеристике*** | |
|---|---|---|
| | **Људско око** | **Термовизијски уређаји** |
| **Извор информација** | *рефлектовано зрачење* ***Сунца*** *($\lambda_{max} \cong 0.55\mu m$)* | *сопствено зрачење објекта* *($\lambda_{max} \cong 10.0\mu m$)* |
| **Начин детекције** | *детектор прилагођен извору*<br>➢ праг осетљивости $10^{-17}$ W<br>➢ матрица 1.3 $10^{8}$ детектора | *детектор прилагођен извору*<br>➢ праг остељивости $10^{-15}$ W<br>➢ матрица $10^{4}$ детектора |
| **Квалитет и начин обраде информација** | ➢ стерео и колор<br>➢ препознавање облика<br>➢ детекција покрета<br>➢ сензор паралелно спрегну са компјутером | ➢ pseudo-kolor<br>➢ ограничена могућност обраде слике<br>➢ спора обрада информација<br>➢ компликована веза са компјутером |
| **Габарити и логистика** | ➢ сензор 20 g<br>➢ компјутер 1 kg<br>➢ MTBF oko 500000 h<br>➢ рад на собној температури | ➢ сензор oko 10 kg<br>➢ компјутер ?<br>➢ MTBF oko 5000 h<br>➢ хлађење детектора (77K) |

Дејства НАТО у току агресије на СРЈ показала су неке карактеристике примене термовизијских уређаја и система:

- прецизност и могућност примене у ноћним условима
- осетљивост на утицаје метеоролошких услова и
- ограничен домет и резолуција што отежава успешну примену система са безбедних удаљености.

Ова искуства су нагласила потребу и могућности успешног организовања РЕВ против термовизијских система у армијама технолошки развијенијих земаља.

Упоредно са развојем термовизијских уређаја и спознавањем њихових могућности у применама у различитим војним системима развијане су и противмере и мере заштите. Обзиром на комплексност структуре и начин формирања "топлотне слике" сцене показало се да је практично немогуће наћи универзални начин заштите. Познато је да се користе различите врсте ІС димова као и ІС маскирних мрежа. Разматране су и могућности коришћења лажних циљева (ІС бакље и ІС макете војних циљева). Такође разматрају се и различите методе пасивне заштите које се спроводе у току градње објеката а који се односе на реализацију термоизолације извора топлоте и уклапање објеката у околину у погледу избора материјала. Међутим, ни једна од ових техника није у отвореној литератури детаљно ни теоријски ни практично обрађена.

Ефикасност примене термовизијских уређаја зависи од услова формирања ІС сцене и услова простирања зрачења у атмосфери. Досадашња пракса је показала да присуство воде у атмосфери има највећи утицај на слабљење зрачења (водена пара - апсорпција; а водени аеросол - капљице воде - расејање). [1]

Основни циљ ове научно-техничке информације је да прикаже достигнути степен развоја термовизијских уређаја и система, да прикаже карактеристике и опише најраспростарањеније термовизијске уређаје, опише специфичности примене у различитим војним системима и тиме нагласи значај примене термовизије и утицај примена на начин извођења борбених дејстава. Поред тога укратко су приказане и могућности организовања РЕВ и мере заштите од примене термовизијских уређаја и система.

## 2. ФИЗИЧКЕ ОСНОВЕ РАДА ТЕРМОВИЗИЈСКИХ УРЕЂАЈА

Термовизија је научно-техничка дисциплина која изучава физичке процесе, методе и уређаје који омогућују прикупљање, обраду и приказивање информација о објектима на основу сопственог зрачења слабозагрејаних објеката и анализе просторне расподеле ІС зрачења.

Сва тела са температуром вишом од апсолутне нуле (0 К = -273,16 $^{o}$C) зраче електромагнетну енергију. Укупна енергија и спектрална расподела енергије коју тела зраче у своју околину зависи од температуре и емисивности (врсте материјала). Тела са којима се човек среће у својој околини највећи део енергије зраче у инфрацрвеном делу спектра (таласне дужине у опсегу $0.78-1000\,\mu m$ ). Како је ово зрачење последица загрејаности тела, то се често назива „топлотно зрачење".

Спектрална екситанса апсолутно црног тела описује се је преко Планковог закона зрачења:

$$M_{e\lambda}(\lambda,T_{ACT}) = C1\cdot\lambda^{-5}\cdot\left(\exp\frac{C2}{\lambda T_{ACT}}-1\right)^{-1}, \qquad \left[\frac{W}{cm^2\,\mu m}\right] \tag{1}$$

где су :

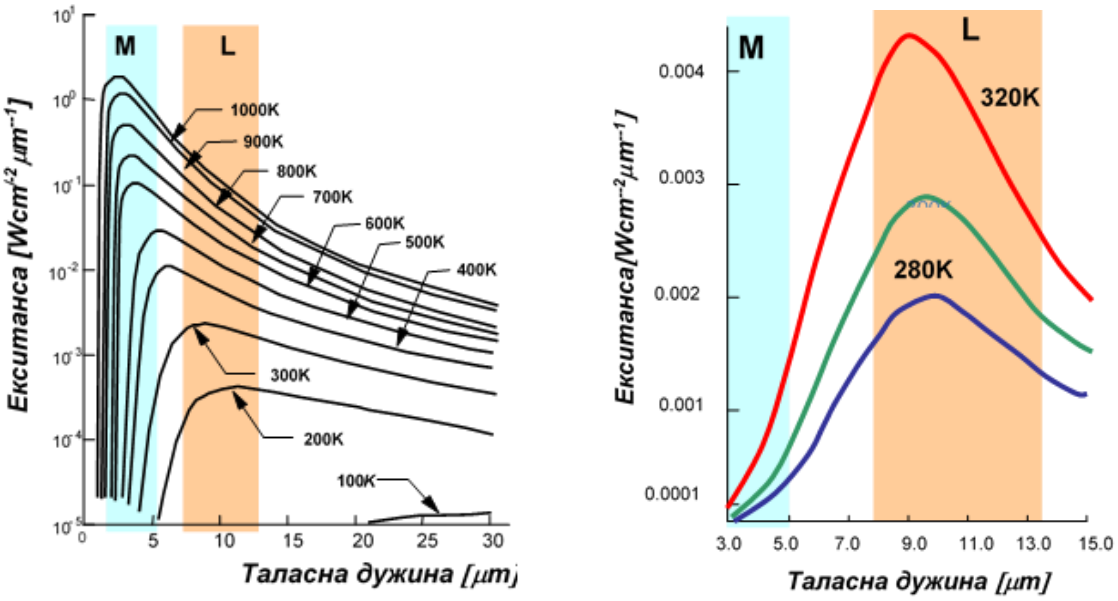
$C1 = 2\pi hc^2$ = (3.741832 ± 0.000020)$10^{-16}$Wm$^2$ = (3.741832 ± 0.000020)$10^{12}$ Wcm$^2$ =

= (3.741832 ± 0.000020)$10^4$ $\frac{W\mu m^4}{cm^2}$

$C2 = \frac{hc}{k}$ = (1.438786 ± 0.000045)$10^{-2}$mK = (1.438786 ± 0.000045) cmK =

= (1.438786 ± 0.000045)$10^4$ μmK,

C1, C2 - радијационе константе, λ - таласна дужина зрачења, и $T_{ACT}$ – температура апсолутно црног тела (АСТ). [1]




*Сл. 1 Спектрална екситанса апсолутно црног за различите температуре* [1]

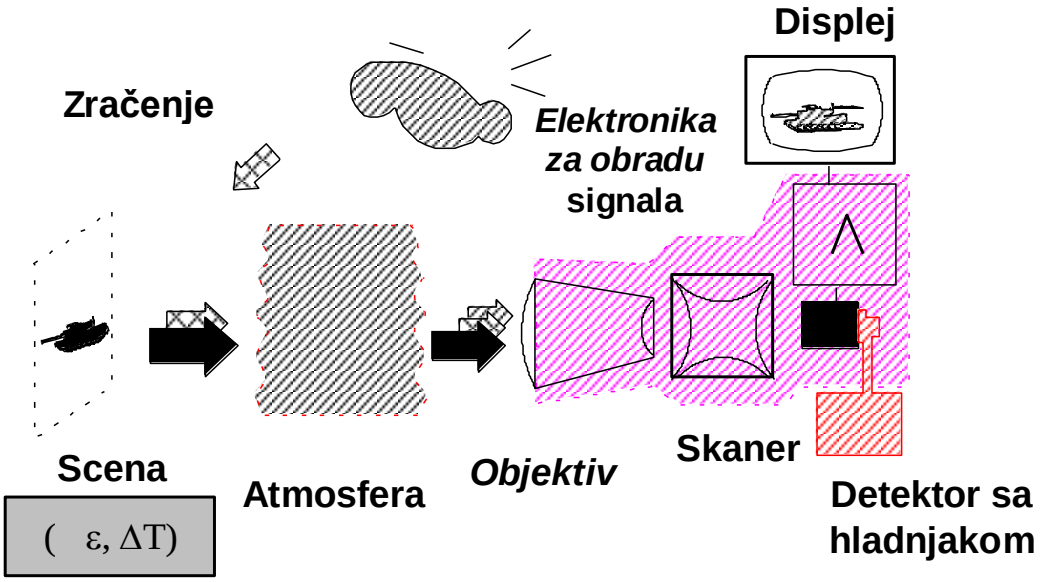
*(А)* *(Б)*

*(А) логаритамска скала у широком опсегу температура*

*(Б) линеарна скала за температуре блиске температури околине (0 $^{o}$C ≅ 273K)*

Сопствено зрачење тела заједно са рефлектованим зрачењем других природних извора зрачења чини тзв. IC сигнатуру сцене. Израчена IC енергија се простире кроз атмосферу и садржи информацију о особинама сцене изражену кроз тзв. "топлотни контраст". Термовизијски уређај омогућава визуелизацију "топлотног контраста" захваљујући могућности детектора да разлике у снази (флуксу) примљеног зрачења претвори у електрични сигнал који се на одговарајући начин може приказати тако да се сразмерно "топлотном контрасту" генерише контраст видљиве слике (термовизијска слика). На Сл.2 приказана је општа блок шема функционисања термовизијских уређаја. Специфичности и начин формирања термовизијске слике јако зависе од карактеристика зрачења елемената сцене који учествују у формирању слике.

Средњи ниво зрачења сцене је релативно висок (око 130 W/m$^2$- види Табелу 1). Термовизијска слика се формира на основу разлика у радијанси сцене које су релативно мале у односу на средњу радијансу сцене (енергетски контраст за температурску разлику од 1K је око 0.02 - види Табелу 4).




*Сл.2 Општа блок шема функционисања термовизијских уређаја* [1]

За формирање видео сигнала чија је амплитуда сразмерна разликама у радијанси сцене мора се на одговарајући начин потиснути зрачене позадине у сцени (једносмерна компонента сигнала детектора). Тиме се истичу разлике у радијанси сцене (наизменична компонента сигнала детектора). Суштинска разлика између термовизијских уређаја различитих произвођача и различитог концепта је у примењеној техници потискивања једносмерне компоненте (тзв. температурско референцирање). [1]

При избору термовизијских уређаја за обављање дефинисаних задатака у оквиру одабраног система и процени ефикасности примене термовизијског уређаја у оквиру система у погледу испуњења основне намене води се рачуна о две основне групе фактора:

- спектрални опсег рада и
- утицај атмосферских метео-услова.

## 2.1 Спектрални опсег рада

Термовизијски уређаји за свој рад могу да користе зрачење из два спектрална опсега:

M: 3-5 μm ili L: 8-14μm који су погодни из два следећа разлога:

- већина објеката који су од интереса за човека зраче довољно енергије у оба опсега;
- у овим спектралним опсезима постоје прозори трансмисије атмосфере тј. енергија зрачења се простире без већих губитака услед апсорпције зрачења.

Табела 4 приказује основне утицајне факторе који се разматрају при оптимизацији избора спектралног опсега рада са аспекта функционалних захтева за примену.

Оптимални избор спектралног опсега рада зависи од намене и услова рада термовизијског уређаја. Међутим, како оба спектрална опсега омогућавају рад, избор спектралног опсега рада најчешће зависи од политичко-економских услова односно доступности појединих технологија. Како је технологија која се користи у термовизијским уређајима сложена и скупа то структуру термовизијских уређаја одређују технолошко-економски фактори тј. технолошки ниво произвођача или корисника. [1]

*Табела 4. Утицајни фактори на избор спектралног опсега рада* [1]

| **УТИЦАЈНИ ФАКТОР** | ***Спектрални опсег рада*** | |
|---|---|---|
| | **M:** $3-5\mu m$ | **L:** $8-14\mu m$ |
| • **Енергетски биланс** при ниским температурама (< 400K) | лошији | бољи |
| • **Енергетски контраст** ($\frac{\Delta E}{E}$ **za 1K)** | **0.039** | **0.017** |
| • **Погодност за детекцију** јако загрејаних објеката (> 400K) | боља | лошија |
| • Утицај **метео-услова** | апсорпција-мањи, расејање-већи | апсорпција-већи, расејање-мањи |
| • Избор оптичких материјала | шири | ужи |
| • **Режим рада детектора** | може и ТЕ хлађење **(200K)** | криогене температуре **(77K)** |
| • **Примена фокалних матрица** | **ДА,** шири избор материјала, јефтинији детектор | **ДА,** скупља ехнологија детектора |

У војним применама које су данас познате преовлађује примена термовизијских уређаја који користе спектрални опсег L: $8-14\mu m$ (вишеелементни детектори на бази (Hg,Cd)Te, посебно, у системима који су намењени за дејства против циљева на копну и мору.

Термовизијски системи који користе спектрални опсег M: $3-5\mu m$ имају примену у неким системима PVO или у бродским системима пошто се показало да у тим применама постоји повољан енергетски контраст, углавном тачкастих циљева са високом радијансом (топли циљ и зрачење загрејаних издувних гасова) и уједначене позадине релативно ниског нивоа радијансе зрачења (хладно небо), који омогућава велики домет за детекцију и препознавање циљева. Поред тога, утицај садржаја воде у атмосфери на трансмисију зрачења може бити знатно мањи него у L подручју за нека географска подручја.

## 2.2 Утицај атмосферских метео-услова

При простирању енергије инфрацрвеног зрачења кроз атмосферу долази до губитака услед процеса апсорпције и расејања на атомима, молекулима и честицама које се налазе у атмосфери. Типични дијаграм трасмисије атмосфере у нормалним условима (мали губици услед расејања зрачења) приказан је на Сл.5 и јасно илуструје погодност спектралног опсега рада. У отежаним метео-условима (магла, киша, снег) битно се смањује трансмитивност атмосфере при чему је утицај метео-услова мање изражен него код уређаја који раде у видљивом делу спектра. Термовизијски уређаји се могу користити и у отежаним условима видљивости али и у томе постоје ограничења. Како атмосфера има зачајну улогу и утицај за примену термовизијских уређаја, шира дискусија утицаја атмосфере је дата у посебном пододељку.

## 2.3 Спољашњи утицаји на процес формирања термовизијске слике

Формирање термовизијске слике зависи од спољашњих утицаја (радијациони контраст у сцени – сигнатура сцене и процеса који утичу на пренос енергије зрачења кроз атмосферу на путу простирања зрачења), и укупне конструкције термовизијског уређаја (структура и употребљене компоненте). [1]

Познавање утицаја на формирање и квалитет слике термовизијских уређаја може да се искористи за оптимизацију конструкције уређаја примерено намени уређаја.

### 2.3.1 Извор зрачења

Термовизијски уређаји формирају слику простора у оквиру видног поља на основу разлике топлотне енергије на различитим површинама циља и разлике топлотне енергије коју емитује позадина, тј. на бази појавног топлотног контраста у равни циља. Топлотни контраст зависи од просторне расподеле емисивности и температуре. Топлотни контраст се може изразити преко разлике еквивалентних температура циља и позадине тако да је:

$$\Delta T = T_c - T_p \tag{2}$$

при чему су еквивалентне температуре циља и позадине уз занемаривање утицаја спољашњих извора зрачења: [1]

$$T_c \propto \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \oint_{A_c} \varepsilon_c(x,y,\lambda) \cdot L(x.y, T_c(x,y)) d\lambda dx dy \tag{3}$$

$$T_p \propto \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \oint_{A_p} \varepsilon_p(x,y,\lambda) \cdot L(x.y, T_p(x,y)) d\lambda dx dy \tag{4}$$

Еквивалентна температура одговара температури апсолутно црног тела, чија је површина једнака површини објекта, а које има исту радијансу зрачења као и објекат.
Изражавање "топлотног контраста" преко разлике еквивалентних температура је уско везано са начином дефинисања параметара квалитета термовизијских уређаја и њиховим мерењем уз употребу апсолутно црног тела дефинисане температуре или температурске разлике. Овај начин изражавања топлотног контраста је опште усвојен иако је радијанса нелинеарна функција температуре, а постоји и зависност радијансе од емисивности. Негативна последица оваквог приступа састоји се у томе да се у пракси често среће појава неразумевања комплексности укупне IC сигнатуре сцене, пошто се разлика у степену

загрејаности узима за једини извор информација о елементима сцене, што доводи до погрешне интерпретације садржаја ІС слике.

Подаци за "топлотни контраст" у сцени (сигнатуре циља и позадине) добијају се кроз комплексна и дуготрајна испитивања и најчешће се третирају као војна тајна. За анализу услова ометања термовизијских уређаја изузетно је важно познавање ІС сигнатуре сцене као и деловање различитих извора зрачења на понашање ІС сигнатуре сцене, како саме по себи тако и у присуству сметњи.

ІС слика објеката у сцени је последица разлика у емисивности објеката у сцени и степена загрејаности (температуре) објеката у сцени, тако да је просторна расподела радијансе у сцени за спектрални опсег осетљивости термовизијског уређаја : [1]

$$L_e(x,y) = \varepsilon(x,y) \cdot L_e^{ACT}(T(x,y)) \tag{5}$$

где је :

$L_e^{ACT}(x,y)$ радијанса апсолутно црног тела са просторном расподелом температуре *T(x,y)*, а *ε(x,y)* је просторна расподела емисивности у сцени. [1]

Разлика у радијанси сцене која учествује у формирању видео сигнала је :

$$\Delta L_e(x,y) = L_e(x,y) - \cdot L_e^R \approx \Delta\varepsilon(x,y) \cdot K_\varepsilon + \Delta T(x,y) \cdot K_T \tag{6}$$

где је :

$\Delta L_e(x,y)$ - просторна промена радијансе у односу на референтни ниво

$L_e^R = \varepsilon_R \cdot L_e^{ACT}(T_R)$, - (температурски ниво - сјајност)

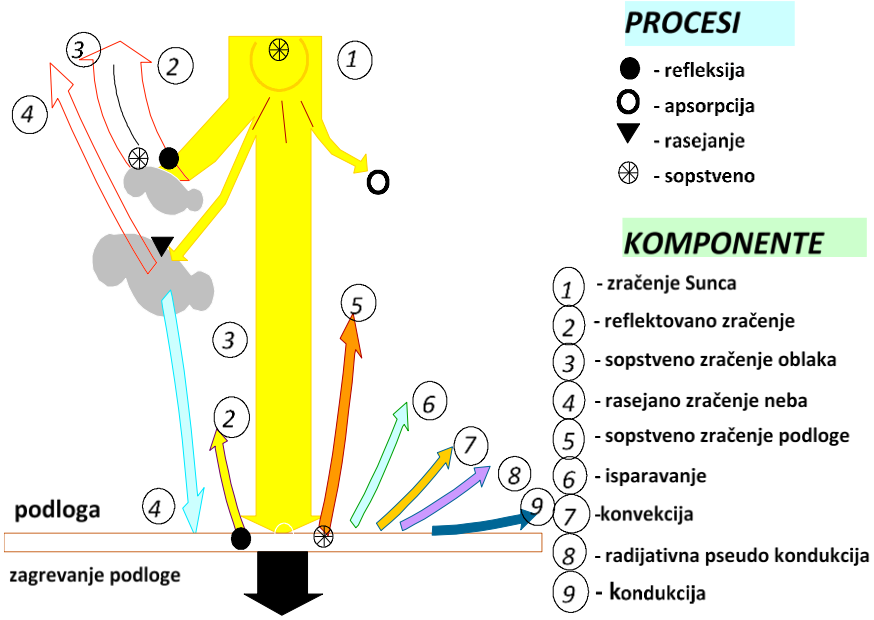
$\Delta\varepsilon(x,y)$ - просторна расподела разлика у емисивности објеката у сцени

$\Delta T(x,y)$ - просторна расподела разлика у температури у сцени

$K_T$ - константа пропорционалности промене радијансе у функцији промене температуре

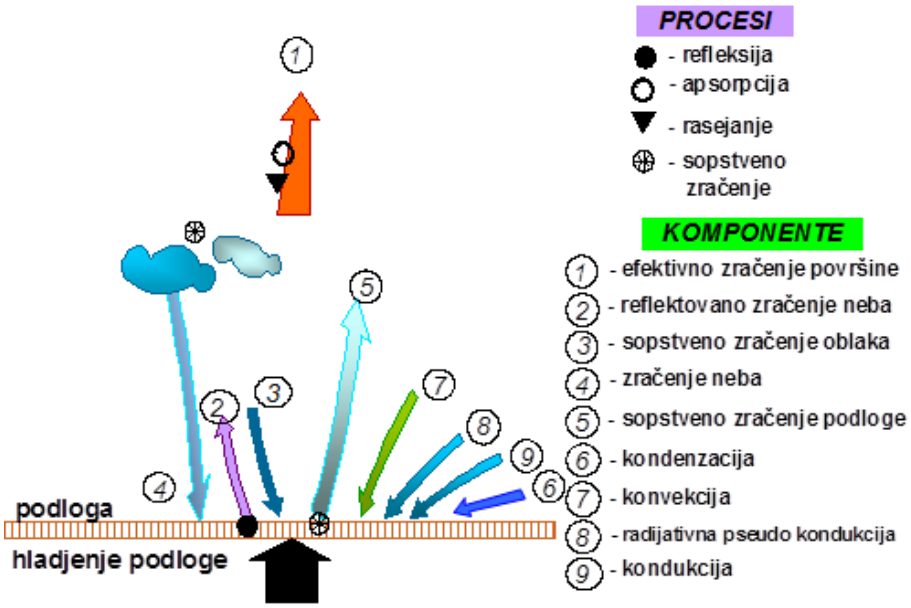
$K_\varepsilon$ - константа пропорционалности промене радијансе у функцији промене емисивности

Како је промена радијансе у сцени последица промене емисивности и промене температуре у сцени доста је тешко извести универзално ІС маскирање тј. постићи укупно уједначавање радијансе у сцени применом само једног процеса (уједначавање температуре или уједначавање емисивности). Промене емисивности у сцени, зависе, пре свега, од врсте материјала у сцени и временски су непромењиве. Промене температуре у сцени зависе од дневних (у току дана и ноћи) и сезонских услова загревања (хлађења) објеката у сцени као и од услова експлоатације објеката. Сликовити приказ токова преноса топлоте и зрачења у току дана када постоји утицај зрачења Сунца приказан је на Сл.3. Процеси преноса топлоте и зрачења у току ноћи, тј. у одсуству зрачења Сунца приказани су на Сл.4. [1]




*Сл. 3 Основни процеси и елементи енергетског (топлотног) биланса у току дана* [1]

Просторна расподела температуре у сцени зависи од присуства топлотно активних процеса у сцени који су последица рада или начина употребе објеката и агрегата који су присутни у сцени, као и од услова простирања топлоте у сцени. Поред топлотно активних процеса на просторну расподелу температуре у сцени велики утицај има процес загревања односно хлађења површине објеката који је последица интеракције зрачења Сунца са површином објеката. То значи да просторна расподела температуре у сцени битно зависи од доба дана или ноћи.




*Сл.4 Основни процеси и елементи енергетског (топлотног) биланса у току ноћи* [1]

Како термовизијски уређаји региструју само разлике у радијанси објеката у сцени али не и узрок промене радијансе при планирању мера заштите мора се познавати релативни однос доприноса примењене мере промени температуре или емисивности (укупне радијансе) објекта који се штите. При тумачењу термовизијских слика мора бити присутно познавање извора слике. [1]

2.3.2 Утицај атмосфере

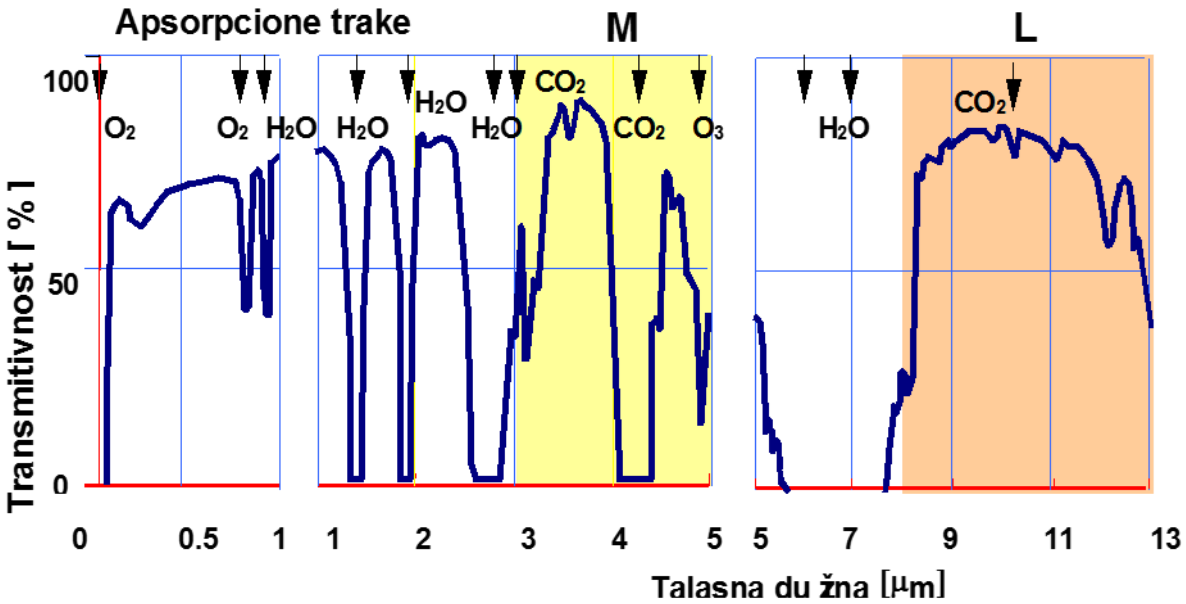
Губици енергије зрачења током простирања кроз атмосферу, а тиме услови примене и домет термовизијских уређаја, јако зависе од стања атмосфере (температура, влажност) географског положаја (тропска, субтропска, умерена, артичка клима), доба године (лето, зима), утицаја насељености, загађења (сеоска, градска средина) и тако даље. Типична зависност спектралне трансмисије атмосфере приказана је на Сл.5.

За детаљну студију утицаја атмосфере врше се врло опсежна и систематска мерења и нумеричке симулације. Основни циљ ових истраживања је да се укупан број типова стања атмосфере може свести на прихватљив скуп практично употребљивих база података које се могу користити за анализу употребљивости.

За брзу процену утицаја атмосфере најпогодније је утицај атмосфере изразити преко јединственог коефицијента слабљења за одабрани тип атмосфере и спектрални опсег рада термовизијског уређаја. Тада се трансмитивност атмосфере $\tau$ на путу простирања зрачења дужине $d$, може изразити коришћењем коефицијента апсорпције $\alpha_{aps}$:

$$\tau = \exp(-\alpha_{aps} \cdot d) \tag{7}$$

За брзе и грубе процене утицаја атмосфере у нашем климатском простору могу се узети коефицијенти слабљења приказани у Табели 5.




*Сл.5 Типична спектрална зависност трансмитивности атмосфере (атмосферски пут од 1800м, са еквивалентним слојем наталожене воде17мм)* [1]

*Табела 5. Коефицијенти слабљења зрачења у атмосфери* [1]

| Спектрални опсег | Коефицијент слабљења [km$^{-1}$] | | |
|---|---|---|---|
| | *Сува атмосфера* | *Умерена атмосфера* | *Влажна атмосфера* |
| **M:** $3-5\mu m$ | **0.055** | **0.080** | **0.130** |
| **L:** $8-14\mu m$ | **0.040** | **0.080** | **0.300** |

Познавање утицаја атмосфере је посебно важно за процену могућности употребе термовизијских уређаја (процена домета) у времену планиране употребе. Код организовања зажтите од термовизијских уређаја процена утицаја атмосфере на могућности термовизијских уређаја је важна за избор противмера и тактику њихове примене.

Како вода у атмосфери (гас - водена пара, стабилна мешавина - аеросол (сумаглица) или нестабилна мешавина – хидрометеори (магла, облаци, роса, снег)) има кључни утицај на трансмисију атмосфере, то је утицај воде у атмосфери на примену термовизијскух уређаја обрађен у посебном поглављу.

Трансмисија атмосфере је најважнији параметар који утиче на карактеристике примене термовизијских уређаја и система. На пригушење зрачења утичу губици услед процеса апсорпције на молекулима и губици услед расејања. Укупна трансмисија се добија као резултанта деловања ових процеса.

2.3.3 Трансмисија

Када је познат састав атмосфере, вредност спектралне трансмисије атмосфере дуж пута простирања зрачења на нишанској линији, може се одредити коришћењем познатих вредности трансмисије појегиних гасовитих конституенета, као композитна вредност, множењем усредњених вредности трансмисије у јединичном спектралном опсегу:

$$\tau_{atm} = \tau_{1\lambda} \cdot \tau_{2\lambda} \cdots \tau_{N\lambda} \tag{8}$$

У општем случају израчунавање је доста обимно због сложености молекуларних спектара.

2.3.4 Слабљење

За врло уске спектралне опсеге (спектралне линије) у случају континуалних промена (слабе спектралне зависности) примењљив је Ламбер-Биров (Ламберт- Беер) закон слабљења као корисна апроксимација за израчунавање трансмисије атмосфере: [1]

$$\tau_{atm}(\lambda) = \exp-(\alpha_{mol}(\lambda) + \alpha_{con}(\lambda) + \alpha_{aer}(\lambda)) \cdot R \tag{9}$$

где је :

$\alpha_{mol}(\lambda)$ - коефицијент слабљења услед молекуларне апсорпције
$\alpha_{con}(\lambda)$ - коефицијент слабљења на атмосферским гасовима (continuum),
$\alpha_{aer}(\lambda)$ - коефициент слабљења услед расејања на аеросолима ,
$R$ - удаљеност, .дужина пута простирања зрачења

Постоје многи модели и рачунарски програми за израчунавање трансмисије атмосфере дуж произвољног пута за различите температуре и притиске у атмосфери, као и за различите саставе аеросола. Најпознатији међу њима је фамилија програма са називом LOWTRAN који је развијен у AFGL (Air Force Geophysics Laboratory) лабораторији америчке војске. LOWTRAN израчунава трансмисију и радијансу атмосфере. Програм се још увек дорађује и осавремењава коришћењем најновијијх експерименталних података..

Основне предпоставке на којима се развија фамилија програма LOWTRAN су:

(1) Атмосфера је репрезентована као вишеслојна струкатура (33 слоја), између нивоа мора и висине до сто километара. Сваком слоју се придружује карактеристична вредност притиска, температуре, садржај водене паре, озона. Средња вредност концентрације азотасте киселине је, такође, укључена у модел. Сматра се да је релативни удео у саставу атмосфере, за $CO_2$, $N_2O$, $CH_4$, $O_2$, и $N_2$ независан од висине. Сматра се да унутар сваког слоја постоји термална равнотежа.

(2) Усредњена вредност трансмисије у опсегу 20 $cm^{-1}$ (за атмосферску апсорпцију) може се приказати као једнопараметарска емпиријска трансмисиона функција. Аргумент трансмисионе функције је производ вредности апсорпционог коефицијента који зависи таласног броја (таласне дужине), и еквивалентне вредности количине абсорбера на путу простирања зрачења. То значи да се израчунава апсорпциони коефицијент као јединствена вредност за нормалну температуру и притисак, а трансмисија се израчунава коришћењем те вредности и прорачунате количине апсорбера на путу простирања у реалној атмосфери која се израчунава на бази концентрације и коригује на нормалну вредност притиска и температуре.

(3) Укупна трансмисија за задати таласни број (таласну дужину) на интервалу 20 $cm^{-1}$ се добија као производ трансмисија за молекуларну апсорпцију, молекуларно расејање, расејање на аеросолима и др. Молекуларна апсорпција се израчунава за четири компоненте: водена пара, озон, азотна киселина, и униформну мешавину гасова.

(4) Две расподеле концентрација аеросола које одговарају метеоролошкој видљивости од приближно 5 km и 25 km су дефинисане у моделу. Слабљења на аеросолу за друге вредности метеоролошке видљивости се израчинавају коришћењем процедура интерполације/екстраполације који су уско зависе од избора четири различита типа коефицијената слабљења на аеросолима.

(5) Зрачење (радијанса) земљине површине и атмосфере се израчунава нумеричким решавањем интегралног облика једначине преноса енергије зрачењем. За емисију зрачења честица аеросола и слабљење на молекулима и аеросолу се користи само нулти ред решења.

### 2.3.5 Метеоролошка видљивост

Метеоролошка видљивост је уобичајени параметар за опис утицаја расејања на визуелну перцепцију. Дефинише се као удаљеност на којој око просечног посматрача може детектовати велики црни (нерефлектујући и неемитујући) циљ са небом у близини хоризонта као позадином. Да би се дефинисало око просечног посматрача, метеоролошка видљивост се дефинише као удаљеност на којој се остварује појавни контраст 2% за удаљени црни циљ са небом при хоризонту као позадином.

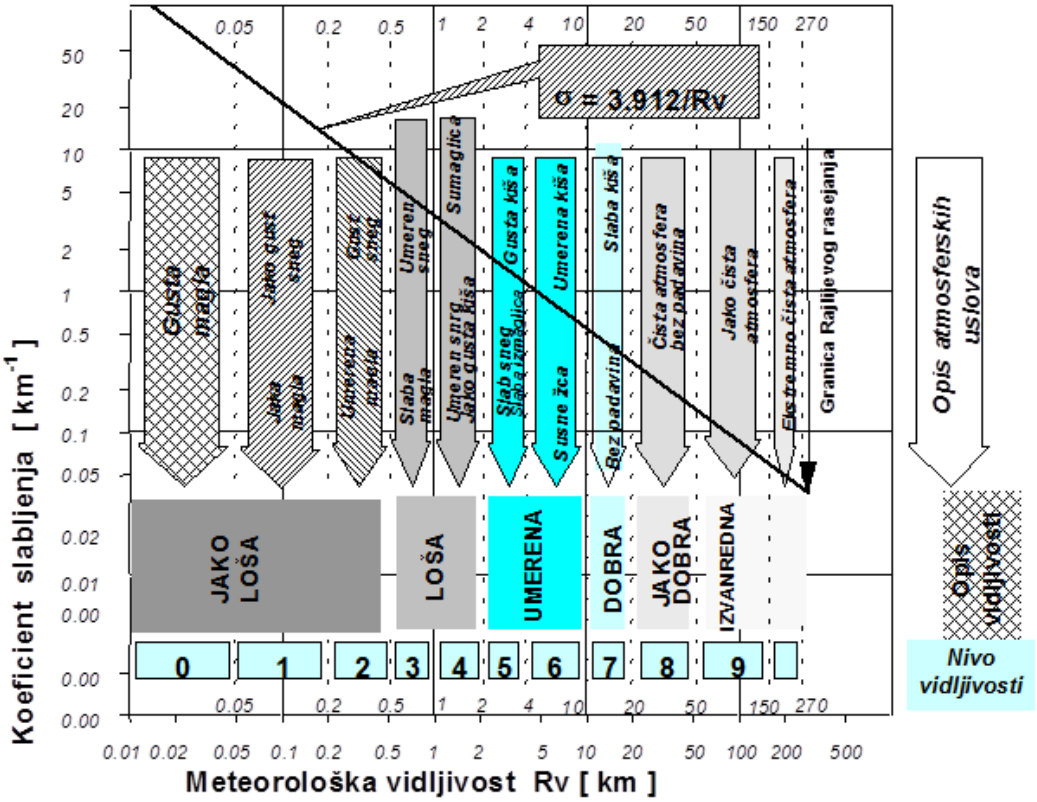
Вредност контраста од 2% је усвојена као гранична вредност за осетљивост на контраст за просечног посматрача. Метеоролошка видљивост $R_v$ (km), по овој дефиницији је повезана са коефицијентом слабљена за видљиво зрачење, $\sigma_v$ ($km^{-1}$),), преко релације.

$$R_v = \frac{\ln 0.02}{\sigma_v} = \left|\frac{3.912}{\sigma_v}\right| \Rightarrow \sigma_v = \frac{3.912}{R_v} \tag{10}$$

Трансмисија видљивог зрачења за задато растојење, x, може се израчунати преко релације. [1]

$$\tau_{vis} = \exp(-\sigma_v \cdot x) = \exp(-\frac{3.912}{R_v} \cdot x) \tag{11}$$

Веза метеоролошке видљивости са метеоролошким стањем у атмосфери је сликовито приказана на Сл.6.




*Сл.6 Метеоролошка видљивост за различите метеоролошке услове* [1]

Како се метеоролошка видљивост, као последица слабљења услед расејања у видљивом делу спектра, уобичајено мери као параметар метеоролошког стања у атмосфери, уобичајено је да се тај параметар користи и за израчунавање трансмисије у инфрацрвеном делу спектра. Постоје многе студије које су посвећене овом задатку, али коначан резултат је увек само приближан.

Најчешће се користе апроксимације, за коефицијенте слабљења услед расејања у M и L опсегу инфрацрвеног спектра, дате релацијама : [1]

$$\sigma_M = \frac{2.24}{R_v} \tag{12}$$

$$\sigma_L = \frac{0.85}{R_v} \tag{13}$$

Интегрална трансмисија у M и L опсегу спектра може се израчунати коришћењем приближних вредности за коефицијенате слабљења које се коригују са мултипликативним фактором за абсорпцију на воденој пари. Садржај воде у атмосфери се одређује на основу мерења температуре тачке росе и температуре ваздуха. Измерене врености се користе да би се на основу таблица и дијаграма одредио садржај воде. Овакав поступак је примењен и у моделу LOWTRAN..

Спектрална зависност коефицијента слабљења услед расејања може се изразити и преко упрошћене семиемпиријске релације:

$$\sigma_{ras}(\lambda) = \frac{3.912}{R_v} \cdot \left( \frac{\lambda}{0.55} \right)^{-0.585 \cdot R_v^{1/3}} \tag{14}$$

Типични дијаграм трансмисије атмосфере (хоризонтални пут на нивоу мора дужине 3km са 17mm наталожене воде) приказан је на Сл. 5, при чему су назначене и спектралне области M и L рада термовизијских уређаја.

Вода се у атмосфери појављује у више различитих метеоролошких феномена. Утицај ове атмосферске воде се детаљније дискутује за сваки посебни феномен: [1]

1. Сумаглица

Сумаглица је ваздушни аеросол при коме се је метеоролошка видљивост 1 до 10 км. Обзиром на расподелу честица и зависност Миеовог коефицијента ефективног пресека за слабљење очекује се да ће слабљење инфрацрвеног зрачења у присуству измаглице у атмосфери бити знатно мање него у видљивом делу спектра. Теоријски и експериментални резултати то и показују. На примену термовизијских уређаја измаглица практично не утиче, тј. са термовозијским уређајима се постижу домети неколико пута већи него са визуелним или пасивним уређајима са појачавачима слике.

2. Магла

Маглу чини аеросол водених капљица. По начину постанка могу радијационе (настају при хлађењу Земљине површине и приземног слоја ваздуха, потребан је ветар за развој магле) и адвективне (настају при кретању топлих и влажних ваздушних маса преко хладних површина). Магла битно утиче на смањење метеоролошке видљивости а обзиром на расподелу честица магла слично утиче на домет визуелних и инфрацрвених уређаја. То значи да су у присуству магле термовизијски уређаји практично неупотребљиви. Адвективне магле су у принципу опасније пошто се појављују изненада

3. Роса

Роса се појављује у условима настанка радијационих магли али без присуства ветра. Значи роса је појава таложења воде на површини земље, а тиме и се смањује количина воде у атмосфери. Појава росе због тога делује позитивно на трансмисију са једне стране, и формира танак слој воде на површини објеката на земљи. Утицај танког слоја воде у IC сцени делује на уједначавање радијансе у сцени и доприноси губитку информација о објектима у сцени.

4. Облаци

Облаци су видљив скуп сићушних капи или кристала леда или обоје истовремено, који лебде у ваздуху. Обзиром на расподелу честица по димензијама и концентрације честица доминантни процес слабљења је Мие-ово расејање са великим коефицијентом слабљења, који не зависи значајно од таласне дужине. Коефицијент слабљења зависи од типа облака, географског региона, температуре и сл., али су разлике на нивоу слабљења који чини оптичке и оптоелектронске уређаје практично непримењивим. Кумулуси имају неколико пута веће слабљење него стратуси.

5. Киша

Киша је је најважнији облик високих падавина који настаје кондензацијом водене паре у узлазној струји при температурама које су испод тачке мржњења. Обзиром на расподелу честица кише (водене капи) по димензијама, слабљење у присуству кише, је последица неселективног расејања и апсорпције на води. Према томе слабљење зрачења у присуству кише није спектрално зависно. Није редак случај да се при слабој киши и непосредно после кише уочи побољшање трансмисије атмосфере (видљивости) што је последица смањења присуства водене паре у атмосфери. Зависност трансмисије атмосфере у функцији јачине кише приказана је у Табели 6.

*Табела 6. Трансмисија атмосфере у функцији јачине кише* [1]

| Опис кише | Брзина таложења [mm/час] | Трансмисија на путу 1.6 km |
|---|---|---|
| ***Слаба киша*** | 2.5 | 0.88 |
| ***Умерена киша*** | 12.5 | 0.74 |
| ***Јака киша*** | 25.0 | 0.65 |
| ***Провала облака*** | 100.0 | 0.38 |

Киша утиче на примену термовизијских уређаја при употреби за детекцију објеката на земљи због формираног слоја воде на објектима и расхлађивања објеката. Ови ефекти су још увек недовољно изучени.

6. Снег

Слабљење зрачења у присуству снега није спектрално зависно. Уколико је брзина таложења мања од 12.5 mm/час тада слабљење није изражено. За веће брзине таложења снег може знатно да утиче на метеоролочку видљивост а тиме и на трансмисију у инфрацрвеном делу спектра. При већим брзинама таложења снега може доћи до разлика у трансмисији у видљивом делу спектра и инфрацрвеном делу спектра због већег утицаја процеса вишеструког расејања у видљивом делу спектра.

2.3.6 Утицај атмосфере на карактеристике и пренос слике

Најчешћи проблем који се решава применом оптоелектронских уређаја и система је препознавање и разлагање детаља у слици у присусту шума. Уобичајени показатељ моћи разлагања система са формирањем слике је тзв. модулациона преносна функција (**MTF - M**odulation **T**ransfer **F**unction)

MTF је довољно општи параметар који се може применити на визуелну оптику, али и на пасивне уређаје са појачавачима слике, инфрацрвене системе, термовизијске уређаје, као и на друге подсистеме (појачавачи, дисплеји итд.).

Усредњен деградациони утицај атмосферске модулације, може се репрезентовати преко ефективне MTF атмосфере.

Угаона ширина поља оштрог вида ока износи око $5^o$ (око 100 mrad), а сваки циљ који унутар тог видног поља заузима угао већи од $0.2^o$ (3.5 mrad) може се препознати са великом вероватноћим.

Угаона резолуција ока просечног посматрача износи 1' (0.3 mrad) што је граница могућности детекције ока.

Гранична резолуција (тренутно видно поље) термовизијских уређаја је реда 0.1 mrad за већину термовизијских уређаја. [1]

У случају атмосферске турбуленције (сцинцилација) промене преламања зрачења због флуктуација индекса преламања могу изазвати угаона померања реда од 10 до неколико стотина микрорадијана, што зависи од доба дана , места, типа аеросола и друго. Ове флуктуације се могу изразити кроз ефективну MTF трансмисије атмосфере

Овако изражена MTF атмосфере се може користити за корекцију MTF оптоелектронског система као мултипликативни фактор укупне MTF система.

Дакле турбуленције у атмосфери могу утицати на детекцију и препознавање циљева на великим дометима, а тиме и утицати на ефективни домет термовизијских уређаја у практичним применама. Практична оцена утицаја сцинцилација на домет је отежана због тога што је мерење параметара сцинцилација отежано у практичним применама. Због тога се утицај сцинцилација процењује на бази статистичке обраде дуготрајних мерења везаних за одабрани реон у коме се очекује значајнији утицај сцинцилација.

2.3.7 Утицај атмосфере на примене термовизијских уређаја и система

Атмосферска воде утиче на трансмисију атмосфере преко молекуларне апсорпције која дефинише атмосферске прозоре трансмисије кроз атмосферу, и расејање на аеросолима које највише утиче укупну трансмисију и унутар атмосферског прозора. Због усаглашавања карактеристика зрачења објеката у сцени и постојећих атмосферских прозора трансмисије и спектралне осетљивости расположивих детектора, изабрана су два спектрална опсега рада термовизијских уређаја M:3-5μm i L: 8-12 μm. У метеоролошким условима у којима је већи садржај воде у атмосфери (медитеранска клима) повољнија је примена термовизијских уређаја L опсега. [1]

Основни недостатак свих оптоелектронских уређаја (па и термовизијских) је то што њихова примена зависи од метеоролошких услова, тј нису примељиви у свим

метеоролошким условима. Облаци, атмосферски талог и влажност могу знатно деградирати или чак онемогућити примену оптоелектронских система.

Дакле познавање метеоролошких услова и њиховог утицаја на примену термовизијских уређаја може бити један од основа за планирање противдејстава.

Детаљно моделовање и познавање утицаја метеоролошких услова и појава на трансмисију атмосфере је потребно и могуће у фази развоја одређеног система ради оптимизације избора детектора и спектралног опсега осетљивости, као и одређивање потенцијалног временског ресурса примене и процене ефикасности примене.

Познавање утицаја метеоролошких услова у оперативној примени своди се на могућности грубих процена могућности на основу општег образовања и грубе процене трансмисије на основу познавања вредности метеоролошке видљивости и релативне влажности, комбиновано са проценом доминантног утицаја атмосферске појаве. Само мерење метеоролошке видљивости није довољан податак за процену трансмисије атмосфере у спектралним областима примене термовизије, али је користан показатељ.

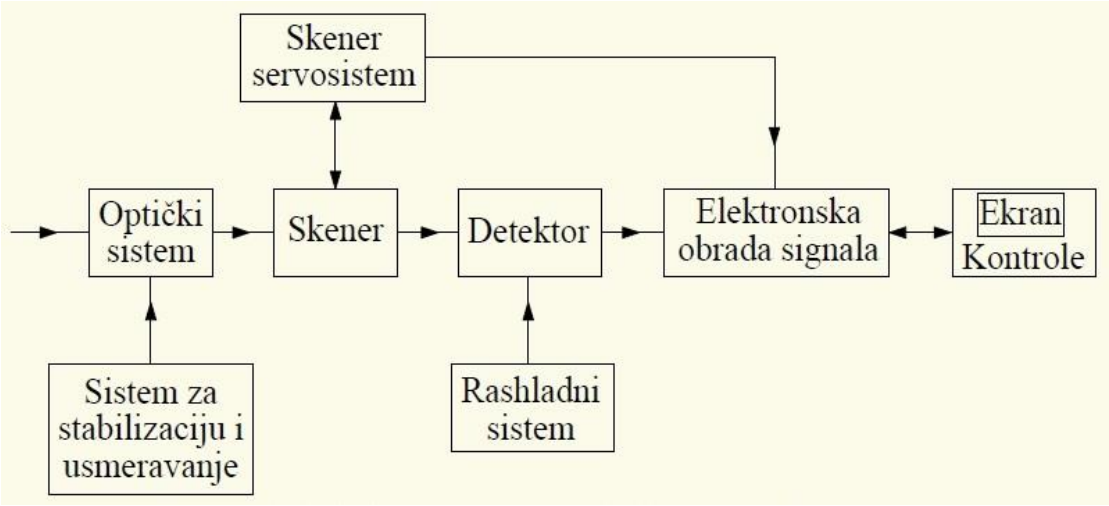
Чињеница да примена термовизијских уређаја зависи од метеоролошког стања у атмосфери уз познавање карактеристика појединих атмосферских појава, омогућава да се процени обим и могућности примене термовизијских уређаја, и да се то користи за планирање укупних активности сопствених снага.

Међутим, практична реализација једноставних модела (или номограма) погодних за широку употребу је изостала. Иако постоји велики број модела и база података развијених у циљу бољег изучавања утицаја атмосфере на термовизијске уређаје, још увек није могуће извршавање једноставних мерења за утврђивање стања атмосфере, тј једнозначна идентификација потребног скупа параметара стања атмосфере ради одређивања трансмисије у одабраном спектралном опсегу, на путу простирања зрачења.

## 2.4 Структура термовизијских уређаја

Термовизијски уређај се састоји из следећих основних компоненти:

- оптички систем,
- скенер,
- детектор,
- расхладни систем,
- блок електронике,
- екран са контролама.




*Слика 7. Блок шема термовизијског уређаја* [2]

2.4.1 Оптички систем

Оптички систем омогућава сакупљање ИЦ зрачења и њено усмеравање на скенер и детектор. Тип оптичког система се бира у зависности од одабраног спектралног опсега рада и намене термовизијског уређаја. За израду оптичких елемената користе се ретки и скупи оптички материјали као што су германијум, силицијум, сафир, цинксулфид.

Први проблем: оптичке особине материјала који се користе у термовизијским уређајима зависе од температуре.

Други проблем: оптички материјали имају висок индекс преламања, па су због тога губици услед рефлексије велики.

Оптички материјали су и релативно меки па се на спољашњим површинама морају наносити тврди заштитни слојеви.

2.4.2. Скенер

Скенер је оптомеханички склоп који омогућава просторну дискретизацију зрачења из видног поља оптичког система у складу са структуром детектора. Скенер омогућава пренос енергије зрачења на детектор, тако да у једном тренутку детектор прима зрачење само из једног дела простора. Скенер генерише и одговарајуће синхро сигнале, који сразмерно положају скенера омогућавају да се из временски променљивог сигнала детектора реконструише просторна расподела енергије зрачења у простору предмета.

Најчешће решење је равно огледало које ротира и пресеца сноп зрака. Постоје и решења скенера која уместо равног огледала користе клинове или призме.

У зависности од типа оптичког система и начина спреге са скенером постоји:

- – скенирање у простору предмета,
- – скенирање у простору лика. [2]

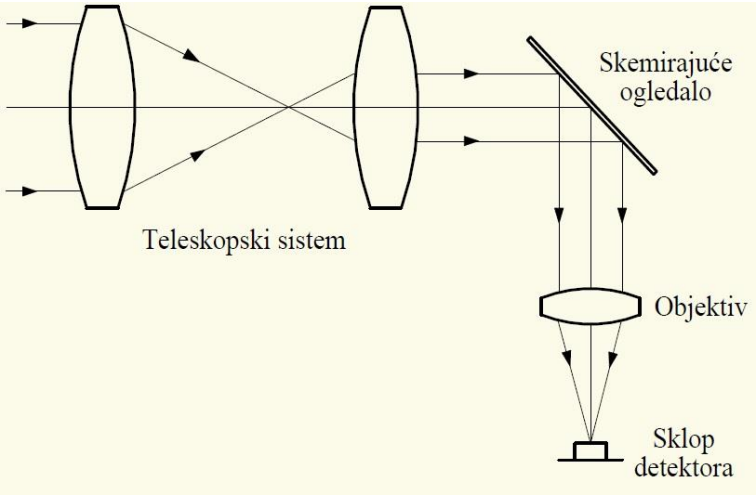
Код скенирања у простору предмета огледало се поставља испред објектива.

Огледало је центрирано са оптичком осом објектива и ротира се око нормале на оптичку осу.

Ротација огледала обезбеђује да објектив посматра различите делове простора предмета у зависности од тренутног угла огледала.

Код скенирања у простору предмета јављају се следећи практични проблеми:

- огледало мора бити постављено довољно далеко од објектива, да га објектив не би ударио приликом ротације;
- због своје удаљености од објектива огледало треба да буде веће од објектива. То значи да огледало треба да буде највећи елемент у оптичком систему. Код скенирања у простору лика огледало се обично поставља између телескопског система и објектива.




*Слика 8. Принципијелна шема термовизијског уређаја са скенирањем у простору лика* [2]

2.4.3. Детектор

Детекор омогућава конверзију инфрацрвеног зрачења у електрични сигнал.

Инфрацрвено зрачење се може детектовати помоћу термичког или фотоелектричног ефекта.

Код термичког ефекта инфрацрвено зрачење се апсорбује као топлота и изазива повећање температуре детектора. Повећање температуре детектора се манифестује као промена неког температурно зависног параметра који може да се мери. Најчешће се мери промена електричне отпорности, или димензија детектора са променом температуре. Овакви детектори се називају термички детектори. Термички детектори обично раде на собној температури. Код фотоелектричног ефекта фотони из инфрацрвеног зрачења изазивају електронске прелазе унутар атома материјала детектора. Да би се ти електронски прелази могли поуздано регистровати потребно је охладити детектор на температуру од 77 K (-196 ºC). Детектори код којих се користи фотоелектрични ефекат називају се квантни детектори.

Постоје више типова квантних детектора: [2]

- фотопроводни детектори,
- фотодиоде,
- фотокапацитивни детектори или МИС детектори.

Фотопроводни детектори представљају електронску верзију отпорника.

Фотодиоде представљају инфрацрвени еквивалент за силицијумску фотоћелију.

Фотокапацитивни детектори представљају инфрацрвени еквивалент за једну ћелију на CCD детектору.

Детектори су се у почетку развоја производили као једноћелијски детектори. Са развојем технологије прешло се на производњу матричних детектора.

У оквиру једног матричног детектора може се налазити више хиљада елементарних детектора.који се налазе у склопу матричног детектора најчешће су у распону од 25 μм до 50 μм. Елементарни детектори могу бити квадратног или правоугаоног облика. Дебљина елементарног детектора је обично 10 μм ако се ради са квантним детекторима, односно неколико десетина μм ако се ради са термичким детекторима.

Укупан број елементарних детектора у матричном детектору директно утиче на осетљивост матричног детектора.

2.4.4. Расхладни систем

Расхладни систем служи за хлађење квантних детектора и њихово довођење на радну температуру.

Постоје више различитих типова расхладних система:

- Хладњаци са директним контактом преко “хладног прста”. Ови хладњаци раде са течним азотом или течним ваздухом и обезбеђују температуре од 4 К (-269 ºC) до 77 К (-196 ºC);
- Јоуле – Тхомсонови микрохладњаци који за свој рад користе изузетно чист гас (азот, ваздух, аргон) високог притиска (до 300 бара). Ови хладњаци обезбеђују температуре од 20 К (-253 ºC) до 90 К (-183 ºC);
- Хладњаци са затвореним циклусом. То су најчешће хладњаци базирани на Стирлинговом циклусу и обезбеђују температуре од 30 К (-243 ºC) до 300 К
- (27 ºC);
- Термоелектрични хладњаци који могу бити изведени као једностепени и вишестепени хладњаци. Једностепени термоелектрични хладњаци обезбеђују температуре од 250 К (-23 ºC) до 300К (27 ºC), док вишестепени термоелектрични хладњаци обезбеђују температуре од 195 К (-78 ºC) до 250 К (-23 ºC).

2.4.5. Електронска обрада сигнала

Електронска обрада сигнала омогућава прилагођавање излазног сигнала са детектора, у одговарајући облик који се може приказати на екрану. То се постиже кроз појачање детекторског сигнала у предпојачавачима и појачавачима и обраду детекторског сигнала, кроз трансформацију сигнала по амплитуди и временском формату.

У процесу електронске обраде детекторског сигнала и формирања видео сигнала термовизијског уређаја, изглед термовизијске слике дефинишу следеће величине:

- температурски ниво – појачање (сјајност), дефинише се као ниво референтног сигнала који се одузима од детекторског сигнала ради лакшег уочавања малих разлика контраста у сцени,

- температурски прозор – контраст, дефинише се као опсег вредности напонског сигнала по једном нивоу сивог, у црно белој телевиуијској слици и може се приказати на екрану. Сви термовизијски уређаји могу се поделити на:
- уређаје са ручном контролом појачања и контраста,
- уређаје са аутоматском контролом појачања и контраста.

Код термовизијских уређаја са ручном контролом појачања и контраста, оператор коришћењем спољних контрола подешава уређај за оптимални приказ термовизијске слике.

Ови термовизијски уређаји користе се за лабораторијске (мерне) уређаје и за неке типове нишанско – осматрачких уређаја старије генерације.

Код термовијских уређаја са аутоматском контролом појачања и контраста, користе се специјални алгоритми који регулишу појачање и контраст термовизијске слике у складу са структуром расподеле радијансе (енергетског сјаја) у сцени.

2.4.6. Екран

Улога екрана је да претвори излаз из блока за електронску обраду сигнала у дводимензионалну расподелу видљиве светлости која одговара изабраном делу ИЦ сцене.

Најлогичнији избор за екран је стандардни ТВ монитор. Добра страна овог решења је могућност коришћења великог броја помоћне видео опреме као што су видеорекордери, миксери и слични уређаји. Недостатак оваквог решења је потреба коришћења релативно сложене електронике да би се добила слика у стандардном ТВ формату. [2]

У појединим применама термовизијских уређаја нема потребе да слика буде приказана у телевизијском формату. То омогућава смањење комплексности електронике и потребне енергије за напајање. Ово је важно за преносне термовизијске уређаје.

2.4.7 Термовизијско снимање

Термовизијско снимање представља не контактни метод којим се у делићу секунде региструје емитована топлота, односно инфра црвено зрачење. Сва тела емитују инфрацрвено зрачење, па чак и лед. Праћење емитовања тих зрачења нашла је широку примену за праћење различитих појава у различитим областима људског деловања, као што су машинство, електроника, грађевинарство, архитектура, али и у медицини. У грађевинарству се овај метод користи да би се идентификовала “лоша” места, као и да би се дала груба процена губитка топлоте. Камере за термовизијско снимање су по спољашном изгледу сличне филмским камерама, али су посебно прилагођене да “виде” онај део инфрацрвеног спектра који је за људско око невидљив, те се зато називају још и инфрацрвеним камерама. [2]

2.4.8 Читање термограма (термо слика)

Термовизијске фотографије привлаче пажњу због својих живописних боја и чињенице да приказују свет који је људском оку недоступан. Ипак, њихова сврха је да реално прикажу постојеће стање емитоване топлоте, а тек након њихове обраде могу се изводити закључци. Сваки термограм представља слику за себе јер поседује сопствену палету боја, два термограма се не могу поредити по бојама чак и у случају кад се ради о истим објектима. Стога, у сваки термограм мора постојати скала боја, која боје доводи у везу са температуром. Да би се прецизно могле одредити температуре, термовизијска

камера сачињава и температурни дијеграм који приказује промену температуре на објекту и то само дуж линије која је повучена на термограму. Што су боје уједначеније на термограму, то је уједначеније предавање топлоте, и обрнуто. Да би се установило оквирна мера количине топлоте потребно је узети у обзир разлику између спољашње и унутрашње температуре зида и ваздуха (спољашњи и унутрашњи снимак). Светлије и топлије боје (жута, црвена) указују на топла места а тамније хладне боје (плава, љубичаста) на хладна места. [2]

*Слика 9. Термо приказ људи* [4]

При анализи употребљивости термовизијског система посебно се води рачуна о видном пољу термовизијског система које је ограничено конструкцијом и карактеристикама коришћених објектива. При процени утицаја и квалитета оптичких система најчешће се помињу следећи важни појмови и величине које описују оптички систем:

**Апертура** Улазни отвор кроз који зрачење улази у оптички систем. Апертура је једнака пречнику највећег пресека улазног снопа зрачења који у целини пролази кроз оптички систем. Најчешће је једнак пречнику улазног отвора објектива.

**Фокус** Често се користи као синоним за жижну тачку (жижу). Појам фокусирање се користи да опише процес подешавања оптичког система у циљу добијања најјасније слике прилагођене оку посматрача (изоштравање слике).

**Слика (лик)** Приказ објекта посматрања помоћу светлосних зрака. Слика коју формира оптички систем сакупљањем снопа зрачења које дивергентно долази од објекта и конергентном трансформацијом тог зрачења на другој страни оптичког система.

**Видно поље (*Field of view - FOV*)** Угаона мера поља у простору објекта из кога се формира слика. То је највећи конус који обухвата простор испред улазне пупиле из кога се зрачење преноси кроз оптички систем и формира слику.

**Тренутно видно поље (*istantenous field of view – IFOV*)** је највећи конус који обухвата простор испред улазне пупиле из кога се зрачење преноси кроз оптички систем и пада на појединачни детекторски елемент. Овај параметар је основни показатељ просторне резолуције термовизијског уређаја.

**Нишанска оса** Линија посматрања, оптичка оса телескопа или оса осматрачког уређаја. Замишљена права линија која повезује посматрача и тачку нишањења.

**f/broj(F/#)** је мера количине енергије оптичког зрачења које се може сакупити оптичким системом.

$$f/no = F/\# = \frac{f_o}{D} \tag{15}$$

где је :

$f_o$ - Жижна даљина

D - је пречник улазне апертуре или улазне пупиле

То је инверзна величина што значи да мања вредност *f/no* показује већу ефикасност сабирања енергије зрачења

**Нумеричка апертура** је алтернативни параметар који описује ефикасност сабирања енергије зрачења. Дефиниционa формула је: [1]

$$NA = n' \cdot \sin u' \tag{16}$$

Ако се оптички систем користи у ваздуху ($n'$=1), максимална могућа вредност нумеричке апертуре је 1 а одговарајућа вредност F/#је 2. То значи да конус из кога зрачење стиже у жижу има отвор од 180°.

**Дубина фоцуса** је опсег аксијалних растојања око положаја жижне равни у коме се добија подједнако оштра слика за задато растојање до посматраног објекта. Изражава се преко формуле

$$d = 4\lambda(f/no)^2 = 4\lambda\left(\frac{f_o}{D}\right)^2 \tag{17}$$

**Дубина поља** је промена растојања до посматраног објекта при којој се слика помери у границама дубине фокуса. Може се изразити преко формуле:

$$x = \frac{f_o^{\,2}}{2\lambda(f/no)^2} = \frac{D^2}{2\lambda} \tag{18}$$

**Дифракциона граница резолуције** Ди фракција на улазној апертури са коначним дијаметром D доводи до формирања сложене слике у фокалној равни (тзв. Ејријеви прстенови). Полупречник првог тамног Ејријевог прстена на таласној дужини λ, је: [1]

$$r_o = 1.22 \cdot \lambda \cdot \left(\frac{f_o}{D}\right) = 1.22 \cdot \lambda \cdot (f/no) = 1.22 \cdot \lambda \cdot (F/\#) \tag{19}$$

Према Рејлијевом критеријуму разлагања, две тачке у простору могу бити разложене у слици ако је минимално угаоно растојање међу њима $\theta_0 = 2r_0/f_o = 2.44\lambda/D$. Квалитет објектива у погледу просторне резолуције најбоље дефинише модулациона преносна функција (MTF). Просторна резолуција је ограничена дифракцијом зрачења на коначним димензијама улазног отвора (дифракциона граница – пречник Ејријевог прстена), или због несавршености оптичког система (функција ширења – пречник спот дијаграма).

# 3. ФИЗИЧКЕ ОСНОВЕ РАДА ПОЈАЧАВАЧА СЛИКЕ

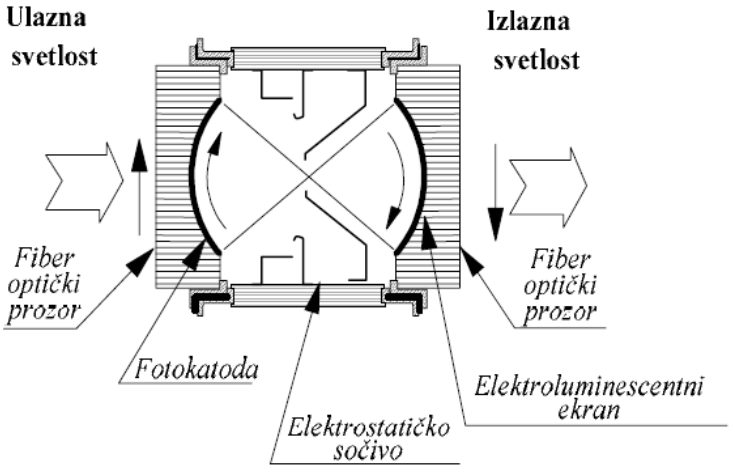
Принцип рада појачавача слике заснива се на двострукој трансформацији енергије. Прво се трансформише енергија оптичког зрачења у енергију електрона, а затим се енергија електрона поново трансформише у светлосну енергију. Сваки оптоелектронски систем састоји се из три основна елемента:

- објектива,
- појачавача слике,
- окулара.

Улога објектива је да прихвати постојеће зрачење са предмета и формира лик у својој задњој жижној равни. Обично се прихвата зрачење Месеца, звезда или ноћног неба, које је слабог интензитета и слабо видљиво, или невидљиво за људско око, али сасвим довољно да појачавач слике формира лик предмета. [1]

У задњој жижној равни објектива где се формира лик предмета налази се фотокатода појачавача слике. На фотокатоди се дешава фотоелектрични ефекат код кога фотон светлости избија електрон. Пошто се на фотокатоди формира лик предмета, то ће они делови лика који су више осветљени имати већу концентрацију фотона на фотокатоди. На основу фотоелектричног ефекта, на тим местима ће бити генерисан већи број електрона. Сви генерисани електрони улазе у појачавачки систем који представља слободан простор у појачавачу слике, између фотокатоде и електролуминисцентног екрана. У том слободном простору влада веома јако електрично поље које убрзава електроне и повећава им енергију. Усмеравање електрона ка одговарајућој тачки на електролуминисцентном екрану врши се помо ћу електростатичких сочива. Поред усмеравања електрона, електронска сочива имају улогу и обртања лика, тако што електрон усмеравају дијагонално, тј. електрон који је изашао са дна фотокатоде усмерава се на врх електролуминисцентног екрана. Електрон после убрзања и повећања сопствене енергије у појачавачком систему, долази на електролуминисцентни екран где се врши обрнути ефекат, тј. удар електрона изазива светлуцање екрана. Што је број упадних електрона на одређену тачку електролуминисцентног екрана већи, то је и светлуцање (луминација) те тачке екрана већа. То значи да што је лик предмета на фотокатоди светлији, то ће се генерисати већи број електрона, који ће генерисати светлију тачку лика на електролуминисцентном екрану.

Улога окулара је да посматра лик који је генерисан на електролуминисцентном екрану и да га увећа по принципу лупе. Електролуминисцентни екран се налази у предњој жижној равни окулара тако да се његов лик пројектује у бесконачности, односно, паралелан сноп зрака излази из окулара и улази у око посматрача. Принципска шема рада појачавача слике дата је на слици 10.




*Слика 10. Појачавач слике* [1]

## 3.1 Основне компоненте појачавача слике

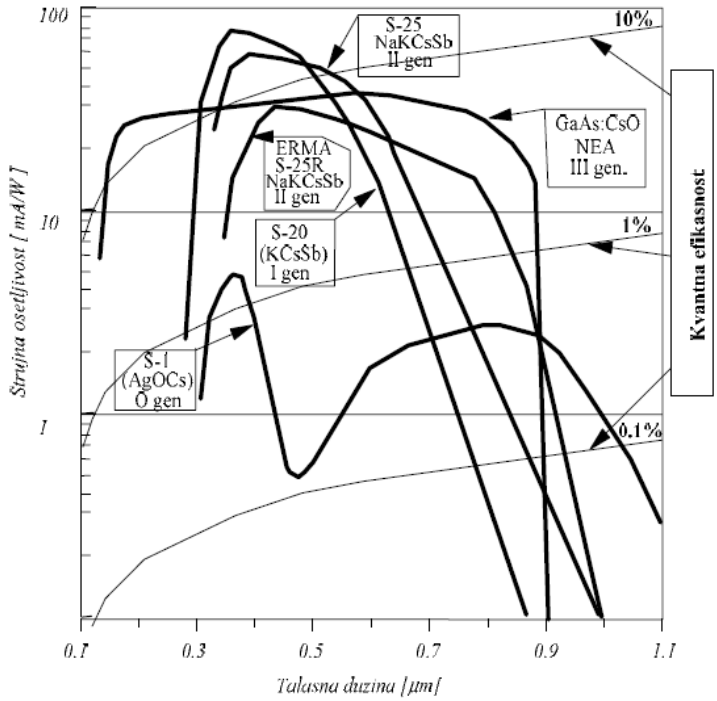
Појачавачи слике су специјализоване вакумске електронске цеви које се састоје из следећих основних компоненти:

- фотокатоде,
- појачавачког система,
- електролуминисцентног екрана.

Фотокатода преставља веома фини танак слој полупроводника сложене структуре који има својство спољашњег фотоелектричног ефекта. Прве фотокатоде су рађене од комбинације сребро оксида и цезијума (Ag-O-Cs) и познате су под ознаком S-1. Највећи број фотокатода спада у групу мултиалкалних катода које су направљене од комбинације алкалних метала: натријума (Na), калијума (K) и антимона (Sb). Те фотокатоде се допирају са малом концентрацијом цезијума (Cs), ради смањења електронског афинитета. Дебљина мултиалкалних катода је изузетно мала и износи од неколико десетина до неколико стотина нанометара. Основни параметри који дефинишу сваку фотокатоду су следећи: [1]

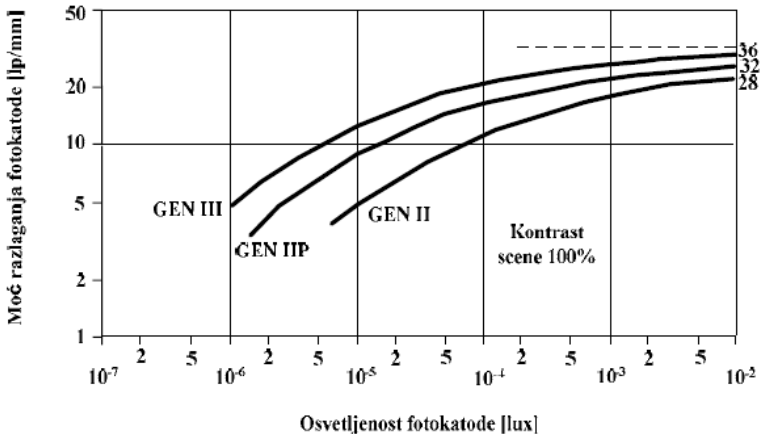
- струјна осетљивост,
- квантна ефикасност,
- моћ разлагања.

Зависност струјне осетљивости и квантне ефикасности најчешће коришћених фотокатода од таласне дужине упадног зрачења дата је на слици 11.




*Слика 11. Зависност струјне осетљивости и квантне ефикасности најчешће коришћених фотокатода од таласне дужине упадног зрачења* [1]

Зависност моћи разлагања фотокатоде од нивоа осветљености приказана је на слици 12.




*Слика 12. Зависност моћи разлагања фотокатоде од нивоа осветљености* [1]

Појачавачки систем се налази у простору између фотокатоде и електролуминисцентног екрана. У појачавачком систему се користи висок напон за повећање енергије електрона. У оквиру појачавачког система налазе се електростатичка или електромагнетска сочива, која имају улогу да обрну електронску слику. То значи, да се у појачавачком систему електрони убрзавају помоћу високог напона и мењају правац простирања помоћу електростатичких сочива. [1]

Електролуминисцентни екрани се израђују од синтетизованих прашкастих материјала, сложене полупроводничке структуре, са јасно израженом кристалном решетком. Основу за израду екрана чине једињења цинка (Zn) и кадмијума (Cd), са сумпором (S) и селеном (Se). Њима се додају активатори који су, у суштини, мале количине

бакра (Cu) и магнезијума (Mg), и који формирају центре луминисценције. Од односа активатора зависи и боја светлости коју зрачи електролуминисцентни екран. За побуђивање центара луминисценције потребна је висока енергија електрона, па је зато потребно да се они убрзају у појачавачком систему пошто напусте фотокатоду.

## 3.2 Генерације појачавача слике

Развој појачавача слике почео је крајем тридесетих година прошлог века и први примерци ових појачавача коришћени су у II светском рату. Зна чајан развој појачавача слике настављен је током педесетих, шездесетих, седамдесетих и осамдесетих година прошлог века. У току тих педесетак година истраживања и развоја дефинисане су четири генерације појачавача слике:

- 0 генерација,
- I генерација,
- II генерација,
- III генерација.

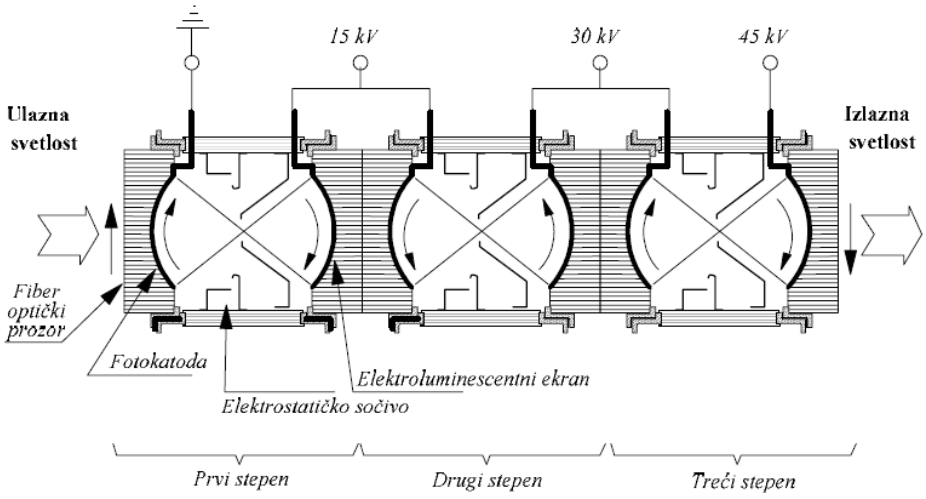
Прво су пронађени појачавачи слике 0 генерације који су, у ствари, претварачи слике. Ови претварачи слике су захтевали спољашњи јаки извор IC зрачења са којим је било потребно осветлити циљ. Уређаји који у себи имају претвараче слике називају се активни уређаји, јер користе посебне IC рефлекторе за осветљавање посматраног простора.

Претварачи слике имају исте основне компоненте као и сви остали појачавачи слике. Фотокатода је типа S-1 (сребро – оксид – цезијумска). Она има веома ниску осетљивост и високу термалну емисију па се због тога морао користити спољни извор IC зрачења. Фотокатода S-1 је осетљива у видљивом и блиском IC делу спекра. Убрзање електрона се врши у појачавачком систему помоћу јаког електричног поља (радни напон од 12 до 18 kV). Електролуминисцентни екран је направљен од цинк – сулфида са средњом инерцијом (тип P-20). [1]

Претварачи слике нису, у правом смислу речи, појачавачи слике, већ су пре свега претварачи IC зрачења у видљиво зра чење. Претварачи слике и одговарајући активни уређаји у којима су коришћени, уведени су у наоружање многих армија света, током педесетих и шездесетих година. Данас се ови уређаји углавном више не користе, јер се лако детектују због активних извора IC зрачења (IC рефлектора).

Интензивним истраживањем и развојем фотокатода са вишом осетљивошћу и нижом термалном емисијом током шездесетих година прошлог века, омогућен је развој појачавача слике I генерације. Главна карактеристика нових мултиалкалних фотокатода (типови S-20, S-20R и S-25) је довољна осетљивост за прелазак на пасивни режим рада. То значи да спољашњи извор IC зрачења више није потребан, већ је довољно постојеће зрачење од Месеца и звезда. Појачава чки систем и електролуминисцентни екран остали су исти, као и код претварача слике. Убрзање електрона се врши помоћу високог напона од 12 до 15 kV, а електролуминисцентни екран је од цинк – сулфида. Још један проналазак је обележио развој појачавача слике I генерације. То је фиброптички прозор који се састоји од неколико милиона оптичких влакана. Проналазак фиброптичког прозора је веома битан, јер је омогућио формирање вишестепених (каскадних) појачавача слике. То је било неопходно јер се показало да једностепени појачавачи слике I генерације немају довољно појачање, па се зато морало везивати два или три појачавача слике на ред, да би се добило потребно појачање. Веза између појединих степена појачавача слике остварена је преко фиброптичког прозора.

Код вишестепених појачавача слике, први степен мора имати највеће поја чање, док остали степени морају имати добре оптичке карактеристике. Ако се жели обртање лика, појачавачи слике I генерације морају бити или једностепени, или тростепени. Тростепени појачавач слике I генерације приказан је на слици 13.

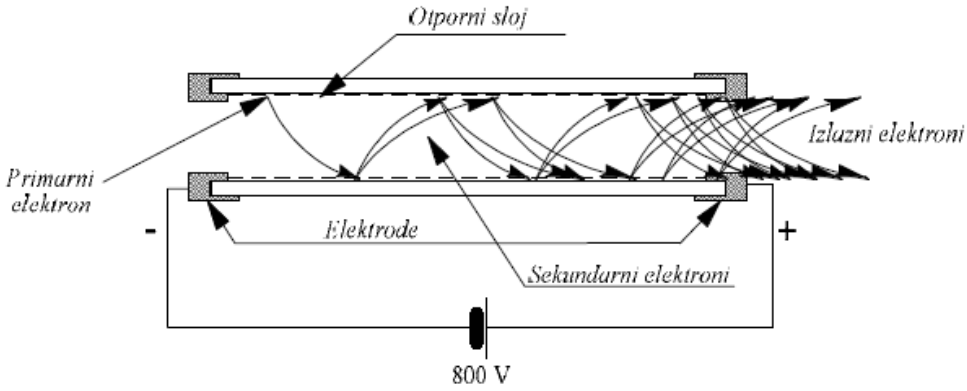



*Сл.13 Тростепени појачавач слике I генерације* [1]

Примена појачавача слике I генерације данас је ретка због испољених следећих лоших особина:

- појачавачи слике I генерације имају тешку и гломазну конструкцију;
- вишестепени појачавачи слике I генерације имају у свом саставу два или три електролуминисцентна екрана, што доводи до велике перзистенције (инерције) слике на екрану. То може бити велики проблем ако се посматрају брзо покретни циљеви, јер доводи до светлуцања на екрану;
- највећи потенцијални недостатак појачавача слике I генерације је губитак слике на целом електролуминисцентном екрану. Он настаје када се у видном пољу уређаји изненада појави јак извор светлости, који доводи до засићења електролуминисцентног екрана. Ово засићење може довести до оштећења самог појачавача слике. Да би се то избегло конструисана су специјална електронска кола, која искључују појачавач слике, када се детектује јаки извор светлости у видном пољу уређаји. [1]

Појачавачи слике II генерације су настали даљим технолошким развојем појачава ча слике. Главни напредак је примена микроканалне плочице која се састоји од 6 до 7 милиона стаклених цевчица, пречника 10 до 12 μm. На зидовима стаклених цевчица налази се специјални отпорни слој који је извор секундарних електрона. Принцип рада микроканалне плочице је следећи: Електрони који улазе у цевчице погађају зидове цевчице и избијају секундарне електроне. Под дејством високог напона (800V) ови електрони пролазе кроз цевчицу и избијају нове електроне и, на тај начин, изазивају ефекат лавине. Шематски принцип рада микроканалне плочице приказан је на слици 14.




Сл. 14 Принцип рада микроканалне плочице [1]

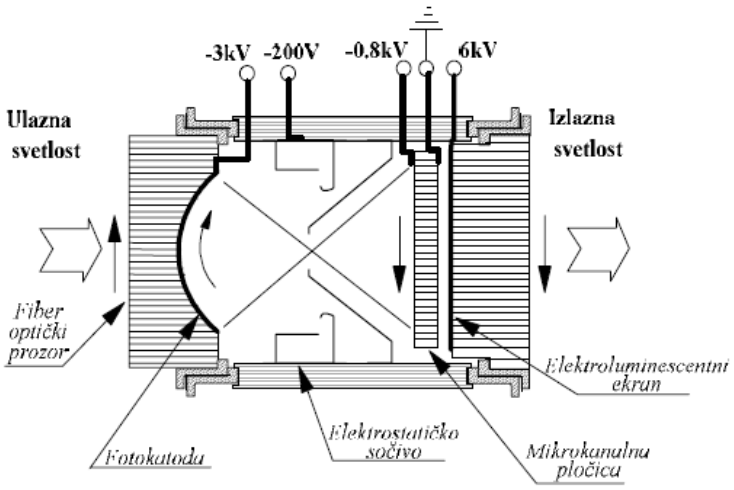
Микроканална плочица има особину да чува просторну информацију и да при томе повећава број електрона на изласку из микроканалне плочице, односно појачава улазни сигнал. Дебљина микроканалне плочице је 0.5 mm. Примена микроналне плочице омогућава:

- знатно упрошћење конструкције и смањење габарита појачавача слике. Више нису потребни вишестепени појачавачи слике, већ је довољан једностепени појачавач слике;
- већу отпорност на сметње. Изненадна појава јаког тачкастог извора светлости у видном пољу уређаји, више не доводи до губитка слике на целом електролуминисцентном екрану, већ је засићење ограничено на мали део екрана. То је због тога што тачкасти извор светлости покрива мали број цевчица микроканалне плочице.

Постоје два типа појачавача слике II генерације:

- са обртањем слике,
- са близинским фокусирањем.

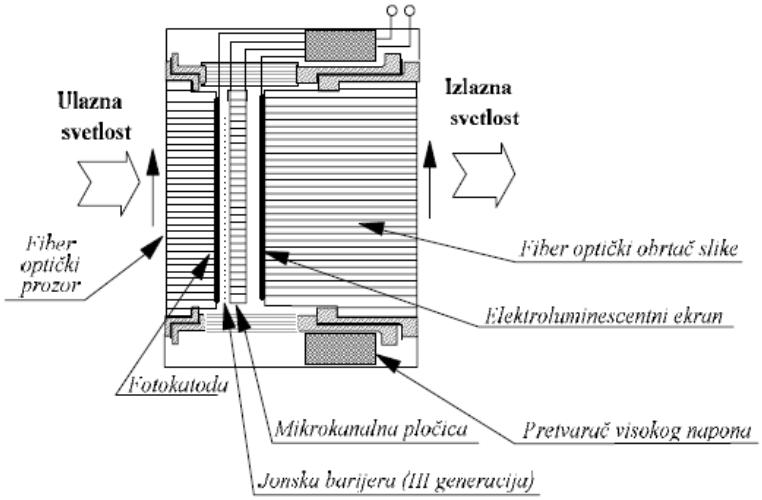
Појачавачи слике II генерације са обртањем слике су слични појачавачима слике I генерације. Објектив формира лик предмета на мултиалкалној фотокатоди, Електрони који се емитују са фотокатоде се убрзавају и фокусирају на микроканалној плочици помоћу електростатичких сочива у појачавачком систему. Микроканална плочица се налази непосредно испред електролуминисцентног екрана. После појачања на микроканалној плочици, електрони погађају електолуминисцентни екран и формирају уређен лик, који се може посматрати са окуларом. Шематски приказ појачавача слике II генерације са обртањем слике дат је на слици 15. [1]




*Сл. 15 Појачавач слике II генерације са обртањем слике* [1]

Са слике 15 се види да је радни напон на фотокатоди 3kV, док је радни напон на електролуминисцентном екрану 6 Kv. То је знатно мањи напон него на појачавачима слике I генерације.

Појачавачи слике са близинским фокусирањем омогућили су даље упрошћавање појачавача слике и смањење њихових димензија. Код ових појачава ча слике микроканална плочица се налази на растојању од неколико десетих делова милиметра од фотокатоде која је равна. Код свих претходних појачавача слике фотокатода је имала сферни облик, јер су се на тај начин кориговали недостаци у електростатичком фокусирању електрона (неравномерност у резолуцији слике, велика дисторзија). Због малог растојања између фотокатоде и микроканалне плочице потребан напон за убрзање електрона је смањен на 200V. Да би овај појачавач слике формирао обрнути лик, користи се фиберoптички обртач слике који се налази иза електролуминисцентног екрана. Шематски приказ појачавача слике II генерације са близинским фокусирањем дат је на слици 16.




*Сл. 16 Појачавач 2 генерације са близинским фокусирањем* [1]

Радни напон на микроканалној плочици и елекролуминисцентном екрану код појачавача слике II генерације са близинским фокусирањем је исти као и код појачавача слике II генерације са обртањем слике.

Интересантна карактеристика појачавача слике са близинским фокусирањем је њихова компактна механичка конструкција. Они обично имају дужину мању од пречника. Поред тога, појачавачи слике са близинским фокусирањем немају дисторзију и имају знатно вишу резолуцију по целој корисној површини фотокатоде од претходних генерација појачавача.

Појачавачи слике III генерације су резултат даљег технолошког развоја појачавача слике II генерације са близинским фокусирањем. Два битна технолошка напретка су уведена код појачавача слике III генерације. Први је увођење фотокатоде се негативним излазним радом, на бази елемената из III и V групе периодног система Мендељејева, други је увођење јонске баријере. [1]

Нова фотокатода на бази галијум арсенида (GaAs) има знатно повећану осетљивост, нарочито у блиском IC делу спектра, у односу на фотокатоде појачавача слике I и II генерације. Друга битна карактеристика је технолошки напредак у смањењу пречника цевчица приликом производње микроканалне плочице. Код II генерације пречник цевчица је био 10 до 12 μm, док код III генерације пречник цевчица је 6 μm. То омогућава појачавачима слике III генерације већу резолуцију и већи домет.

Код појачавача слике II генерације са близинским фокусирањем јавио се проблем оштећивања фотокатоде јонима са микроканалне плочице. То је било могуће јер се микроканална плочица налази веома близу фотокатоде (на неколико десетих делова милиметра), па су јони лако могли да пређу са микроканалне плочице на фотокатоду. У појачавачима слике III генерације уводи се јонска баријера, која је изведена наношењем танког слоја алуминијум оксида ($Al_2O_3$), чија је улога заштита фотокатоде од ерозије. Јонска баријера функционише тако што пропушта електроне се фотокатоде на микроканалну плочицу, док зауставља јоне са микроканалне плочице ка фотокатоди. Због потребе електрона да савладавају јонску баријеру напон између фотокатоде и микроканалне плочице је подигнут са 200 V на 800 V. Сви остали радни напони су исти као и код појачавача слике II генерације са близинским фокусирањем. Принципијелна шема појачавача слике III генерације је иста као и за појачавач слике II генерације са близинским фокусирањем и додатком јонске баријере и приказана је на слици 16.

На слици 17 приказана је фотографија различитих типова појачавача слике који се користе за пасивне нишанске уређаји. На слици су приказани појачавачи слике I генерације (тростепени пречника фотокатоде 25 mm, тростепени пречника фотокатоде 18 mm, двостепени пречника фотокатоде 18 mm) и појачавачи слике II генерације са обртањем слике и са близинским фокусирање.

*Сл. 17 Појачавачи слике* [1]

1 – тростепени појачавач слике I генерације пречника фотокатоде 25 mmm,

2 – тростепени појачавач слике I генерације пречника фотокатоде 18 mm,

3 – двостепени појачавач слике I генерације пречника фотокатоде 18 mm,

4 – појачавач слике II генерације са обртањем слике

5 – појачавач слике II генерације са близинским фокусирањем

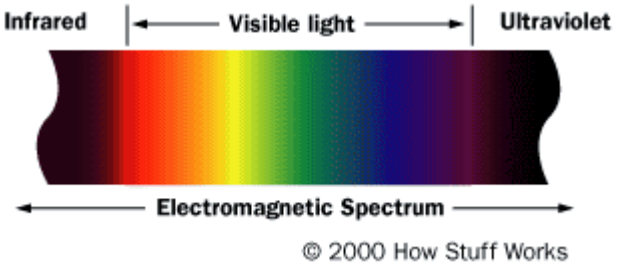
# 4. ДНЕВНО-НОЋНИ УРЕЂАЈИ

Пасивни нишан је електронско-оптички уређај намењен за осматрање бојишта, нишањење и гађање ноћу. Ради на принципу искоришћавања беле светлости малог интензитета (светло Месеца, звезда и других природних извора). Помоћу пасивног нишана успешно се могу откривати, а у повољним околностима и гађати, сва активна средства ІС технике која користи непријатељ за осматрање и гађање ноћу. Пасивни нишан није могуће открити нишанско-осматрачким (ІС или другим електронским) уређајима непријатеља.

Објектив представља комбинацију сочива и огледала велике светлосне јачине помоћу кога се слика циља и земљишног предела формира и преноси на фотокатоду појачавача. Ради неутралисања паразитске светлости ободи сочива огледала и осталих рефлектујућих елемената објектива обојени су црном бојом. [3]

Сви елементи објектива смештени су у јединствено кућиште чија унутрашњост истовремено служи за смештај појачавача и кончанице.

Да бисмо разумели ноћне уређаје, важно је разумети нешто о светлости. Количина енергије у светлосном таласу односи се на његовоу таласноу дужину. Краће таласне дужине имају већу енергију. Од видљиве светлости, љубичаста има највише енергије, и црвена има најмање. Поред видљивог спектра светлости је инфрацрвени спектар.



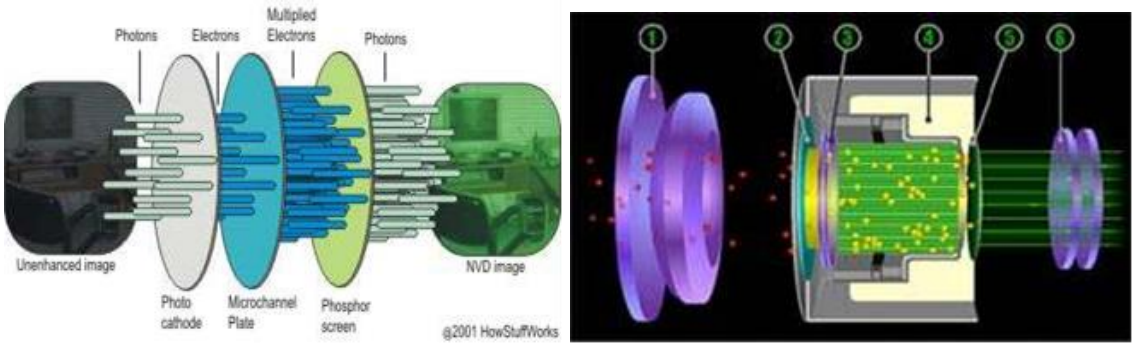

*Сл.18 Спектар боја који зависи од енергије таласа* [3]

Инфрацрвена светлост се може поделити у три категорије:

- Близу-инфрацрвене (код-ІС) - Најближе видљивој светлости, IR има таласну дужину која се креће од 0,7 до 1,3 микрона, или 700 милијардитих до 1.300 милијардитих једног метра.
- Средње инфрацрвене (на средини ІС) - Средњи ІС има таласне дужине у распону од 1,3 до 3 микрона. И близу-ІС и средње ІС се користе од стране различитих електронских уређаја, укључујући и даљинских управљача.
- Термо-инфрацрвене (термо-ІС) - заузима највећи део на инфрацрвеном спектру, термо-ИР има таласне дужине у распону од 3 микрона до преко 30 микрона.

Кључна разлика између термо-ІС и друга два је да термо-ІС је да објекат емитује уместо да га одбија. Инфрацрвена светлост се емитује од објеката због тога што се догађа на атомском нивоу.

Ноћни уређаји се ослањају на посебну цев, која се назива појачавач слике. Његова улога је да прикупи и појача инфрацрвену и видљиву светлост.




*Сл.19 Делови ноћних уређај* [3]

Делови ноћних уређаја :

1. Објектив
2. Фотокатода
3. Микроканали
4. Напон
5. Фосфорни екран
6. Окулар

<u>Принцип рада ноћних уређаја :</u> [3]

1. Објектив прима амбијенталну светлост и блиске инфрацрвене светлости.

2. Прикупљена светлост се шаље у појачавач слике. За већину ноћних уређаја са појачавачима слике за напајање се користе две „АА" батерије.

3. Појачавач слике има фотокатоду, која се користи за претварање фотона светлостне енергије у електроне.

4. Како електрони пролазе кроз цев, слични електрони се ослобађају из атома у цеви. Умножавајући оригиналан број електрона за фактор хиљаду кроз употребу једног микроканала (MCP) у цеви. MCP је мали стаклени диск који има милионе микроскопских рупа (микроканале) у њој. MCP се налази у вакуму и има металне електроде на обе стране диска. Сваки канал је око 45 пута дужи од свог пречника.

Када електрон из фото катоде удари у прву електроду на MCP, они се убрзају у диску микро канала за око 5.000-V убрзање се шаље између електродног пара. Како електрони пролазе кроз микро канале, они узрокују на хиљаде других електрона да буде пуштени у сваком каналу користећи процес који се зове каскадна секундарна емисија. У суштини, оригинални електрони се сударају са страни канала, побуђује атоме и изазива да други електрони буду ослобођени.

Ови нови електрони се сударају са другим атомима, стварајући ланчану реакцију која доводи до тога да хиљаде електрона напуштају канал где само неколицина ушла. Занимљив податак је да су микро канали у МСР направљени под малим углом (око 5 степени до 8 степени) да подстакну сударање електрона и смање повратак јона и директне светлости од фосфора на излазној страни.

5. На крају појачавача слике електрон удара у екран обложен фосфором. Ови електрони одржавају своју позицију у односу на канал кроз који пролазе, који обезбеђују савршену слику, јер електрони остају у истом правцу као оригинални фотони. Енергија електрона доводи до тога да фософор постигне побуђено стање и ослободи фотоне. Ови фосфори стварају зелену слику на екрану која је окарактерисала ноћне уређаје.

6. Зелена фосфорна слика се види кроз објектив, који вам омогућава да увеличате и фокусирате слику. Ноћни уређаји могу бити повезани на електронски дисплеј, као што је монитор или слика може да се посматра диерктно кроз окулар.

Ноћни уређаји се користе преко 40 година. Они су категорисани кроз генерације.

Свака битна промена на ноћним уређајма оснива нову генерацију. [3]

Генрација 0

Оригинални ноћни уређаји направљене у војци Сједињених Америчких држава. Користила се у Другом светском рату и Корејском рату као активни IC уређај.

То значи да је IC осветљивач био везан за ноћну справу. Јединица пројектује сноп у блиској инфрацрвеној светолости, сличан норманом снопу батеријске лампе.

Невидљив голим оком, овај сноп се одбија од предмета и враћа у јединицу.

Ови система користе аноду у комбинацији са катодом како би убрзали електроне.

Проблем са овим системом је што у присуству оваквог убтзања електрона долази до искривљења слике и знато се смањује животни век уређаји.

Још један велики проблем са овом технологијом је што су их врло брзо копирале остале војне јединице, које су им омогућиле да користе ноћни уређаји како би видели пројектовани инфрацрвени зрак. [4]

Генерација 1

Следећа генерација ноћних уређаја се удаљила од активне инфрацрвене и користи пасивне инфрацрвене уређаје. Ноћни уређаји користе амбијенталну светлост насталу од месеца и звезда да би повећале нормалне количине рефлектоване инфрацрвене светлости у окружењу. То значи да им није потреба извор пројектоване инфрацрвене светлости. Ово такође значи да ови уређаји лоше раде када је облачно или када је слаба светлост од месеца. Ова генерација користи исти појачавач слике као и генерација 0, са катодама и анодама тако да су искривљење слике и кратак животни век још увек проблем.

Генерација 2

Значајна побољшања у појачавачу слике резултирало је у другој генерацији.

Они нуде побољшану резолуцију и перформансе од прве генерације и знатно су поузданији. Највећа предност у овој генерацији је што има способност да види и у изузетно ниско освељеним условима, као што је ноћ без месечине. Ова повећана осетљивост је због додавања плоче са микроканалима у цеви. У овој генерацији је повећан број електрона уместо да се убрзају оригинални. Слике су знатно мање искривљене и сјајније него у претходним генерацијама. [3]

Генерација 3

Иако не постоје велике промене у технологију у односу на претходну генерацију, ове ноћни уређаји имају бољу резолуцију и осетљивост. То је зато што је фотокатода направљена од галијум-арсенида (GaAs), који је веома ефикаснији у претварању фотона у електроне. Поред тога MCP је обложен јонском баријером која драстично повећава животни век.

Генерација 4

Оно што је опште познато као генерација 4 је технологија која приказује укупан значај. Баријера која је додата на MCP у претходној гденерацији смањује напредак у ниској и високој светлости окружења. Уклањање јонског филма заправо омогућава да више електрона дође да појача фазу, тако да су слике знатно мање искривљене и светлије. Додавање аутоматског система напајања омогућава брзо гашење и паљење напона на фотокатоди, што омогућава рад уређаји при условима високе светлости, односно при дневним условима.

Ова могућност је кључни напредак у ноћним системима, тако што омогућава брзу промену са ниског у високу осветљеност околине и обрнуто без заустављања ефекта.

Сваки од наведених ноћних уређаја може користити и IC осветљивач у веома тамним областима, у којима готово нема амбијенталног осветљења за прикупљање.

Ипак ноћни уређаји које се користе у војсци никако несмеју имати IC осветљивач због одавања положаја. У ловачким и полицијским сврхама се могу користити, јер непријатељ нема справу којом би могао да детектује ваш положај. [3]

Ноћни уређаји се могу поделити у 3 велике категорије :

1. Снајпери - Могу бити ручни или монтирани на оружје. Од како су ручни, неношени као наочаре, добри су за за коришћене када желите да имате бољи поглед на одређеном објекту, а онда се лако можете вратити у нормалним условима гледања. Снајпери су монокулари, и кроз њих се гледа једним оком. [3]

*Сл.20 Приказ снајперског Ноћног уређаја* [4]

2. Наочаре - Наочаре могу бити ручне, али се углавном носе на глави. Наочаре су бинокулар, односно кроз њих се гледа са оба ока. Могу имати само један објектив или оба, који зависи од модела. Наочаре су одличне за континуално гледање, као што је кретање кроз мрачне зграде. [3]

Сл.21 Ноћне наочаре [4]

3. Камере - Камере са технологијом за ноћну употребу могу послати слику на монитор за приказ, или снимати. Користе се на местима где је потребно ноћно гледање као што су зграде или као део опреме на хеликоптеру. Доста нових камера имају у себи уграђен ноћни режим рада. [3]

*Сл.22 Ноћна камера* [5]

Уобичајени захтеви за ноћно осматрање укључују:

- Војску
- Полиција
- Лов
- Посматрање околине
- Надзор
- Безбедност
- Навигација
- Детекција скривених објекта

Првобитна сврха ноћних уређаја је лоцирање непријатељских мета ноћу. То се и даље користи у војсци за ту сврху, као и за навигацију, надзор и циљање. Полиција и безбедност користе термовизијске и ноћне уређаје, посебно за надзор. Ловци и људи који посматрају околину користе ноћни уређаји због кретања ноћу кроз шуму. [4]

Многа предузећа имају монтиране ноћне камере за осматрање околине.

# 5. САВРЕМЕНА РЕШЕЊА СИСТЕМА

## 5.1 T-90 S

T-90S је руски најмодернији тенк треће генерације. Овај тенк користи топ 125mm 2A46, 1G46 нишанску справу, нови мотор и термовизијску справу. Стандардне заштитне мере укључују мешавину челика, композитни оклоп, димне минобацаче, Kontakt-5 актицни оклоп, ласерске пријемнике упозорења, Nakidka камуфлажу и Shtora инфрацрвени систем за ометање. [6]

Систем контроле паљбе на T-90 тенку обухвата ESSA термовитијски нишан монтиран код командира који омогућава прецизну паљбу на даљинама до 8000m користећи CATHERINE-FC термалну камеру произведена од Thales Optronique.

Нишанџија такође користи темовизијску справу која садржи ласерски даљиномер, канал за ракетно навођење ракета и омогућава да мета величине тенка буду детектоване и нанишањене на 5-8 километара. [6]

Возач користи TVN-5 дневно/ноћни уређај.

*Сл.23 Тенк T-90S* [6]

<u>Термовизијски уређај ESSA</u>

Нишанџија и командир су у T-90C тенку добили уређај ESSA на принципу термовизије који може да се користи за претраживање, да открију и идентификују циљеве и дању и ноћу под нормалним и тешким условима и да ефективно користе топ. Термовизијски уређај се може користити за детекцију и идентификацију циљева који имају температурну разлику од 2 ° C и гађају 4000 m помоћу невођених и вођених пројектила. [7]

*Сл.24 Темовизијска камера ESSA* [7]

*Табела 7. Крактеристике термовизијске уређаји ESSA* [7]

| | |
|---|---|
| Име | : ESSA |
| Тип | : Термовизија |
| Даљина идентификовања мете | : 4000 [m] |
| Температурна разлика за идентификацију мете | : Минимум 2 [°C]<br>Остварени домет, минимум 3300 [m] |

Увећање и видно поље

| | | |
|---|---|---|
| (I) | X 3 | FOV 6.75x9 степени |
| (II) | X 12 | FOV 2.35x3 степени |
| (III) | X 24 | FOV 1.12x1.5 степени |

Даљина фокусирања

| | | |
|---|---|---|
| (I) | Широко видно поље | 30 [m] до бесконачности |
| (II) | Уско видно поље | 20 [m] до бесконачности |

Углови померања објектива

| | | |
|---|---|---|
| (I) | Елевација | -10 [°] до 20 [°] |
| (II) | Правац | +/- 7.5 [°] |

| | |
|---|---|
| Тачност стабилизације | : Мање од 19 [Km] у обе осе |
| Начин рада | : Главни, Дупли, Командир одређује |
| Време припреме | : 7-11 минута |
| Време хлађења | : 7 минута |

Napon

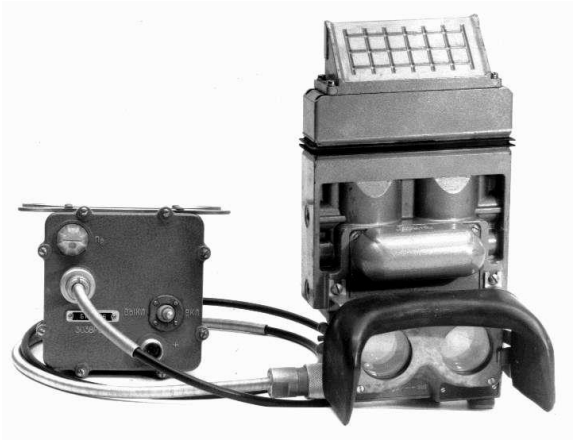
| | | |
|---|---|---|
| (I) | DC напон | 27 (+2)(-5) [V] |
| (II) | Трофазни AC напон (Фреаквенције 380 (+40)(-60) Hz) | 36 (+4)(-6) [V] |

DC - Једносмерна струја

AC - Наизменична струја

Дневно/ноћни уређај TVN-5

Дизајниран за давање могућности да се оклопна возила крећу ноћу и у условима до природног ноћног осветљења (у пасивном моду), и са фаровима светлости (заштићени инфрацрвеним филтером) (у активном режиму). [8]



*Сл. 25 Дневно-ноћни уређај TVN-5* [8]

*Табела 8. Карактеристике TVN-5 уређаја* [8]

| Тип | | TVN-5 |
|---|---|---|
| Увећање | | 1x |
| Видно поље | | - |
| У хоризонталној равни | | 34 |
| У вертикалној равни | | 27 |
| Домет видног поља [mm] | | 180 |
| Резолуција [$mm^{-1}$] | | 25 |
| Диоптрија фокусирања | | -1±0.5 |
| Даљина фокусирања [mm] | | 40.7 |
| Даљина фокусирања окулара [mm] | | 45.5 |
| Напон у систему возила [V] | | 27 |
| Укупне димензије [mm] | Дужина | 309 |
| | Ширина | 150 |
| | Висина | 150 |
| Тежина [kg] | | 5.1 |

## 5.2 М-84

М-84 је основни борбени тенк друге генерације произведен у СФРЈ на основу лиценце совјетског тенка Т-72М. Коришћен је у свим сукобима на просторима бивше Југославије као и у Операцији „Пустињска олуја“ у саставу кувајтских снага. Упоредо са разбијањем СФРЈ распао се и ланац производње овог тенка због чега се М-84 не производи још од 1992. год. [9]

М-84 је имао топ калибра 125 mm, када су остали тенкови имали топове од 115 и 120 mm, аутоматски пуњач, када други тенкови то нису имали. Маса тенка је била 41,5 t, у односу на Leopard 2 и M1 Ambrasa од 60 t, имао је већу покретљивост, и за 50% већу аутономију кретања. За два квадратна метра мању чеону површину што значи мања мета.

На предњој страни куполе налази се 12 бацача димних кутија, а десно од топа налази се нишанџијин ІС фар. Испред отвора нишанџије налази се оптика система за управљање ватром заштићена оклопним поклопцем. М-84 такође има уређај за аутоматско гашење пожара са распоређених 14 давача, уређаје за вентилацију и загревање унутрашњости тенка, уређај за стварање димне завесе, уређај за пречишћавање ваздуха.

Најновија српска верзија М-84 тенка је М-84АВ1 опремљена са експлозивно-реактивним оклопом Контакт-5, АТ-11 протутенковским пројектилима, Agava-2 термовизијом и Štora-1 активним суставом заштите. По овој опреми врло је сличан руском Т-90.

*Сл.26 М-84 тенк* [9]

<u>Термовизијски уређај Agava-2</u>

AGAVA-2 је дизајнирана за надзор на бојном пољу за извиђање, детекцију и идентификацију покретне и непокретне маскиране циљеве. Топ и коаксијални митраљез могу пуцати дању и ноћу са покретних и непокретних возила. [10]

Основе сервисних услова :

Радна температура : -50°C до +50°C.

Вибрациона оптерећења у оквиру фреаквенције од 5 до 500 Hz.

Излагање морској соли, магли, прашини, роси и високој влажности.

*Сл.27 Agava-2* [10]

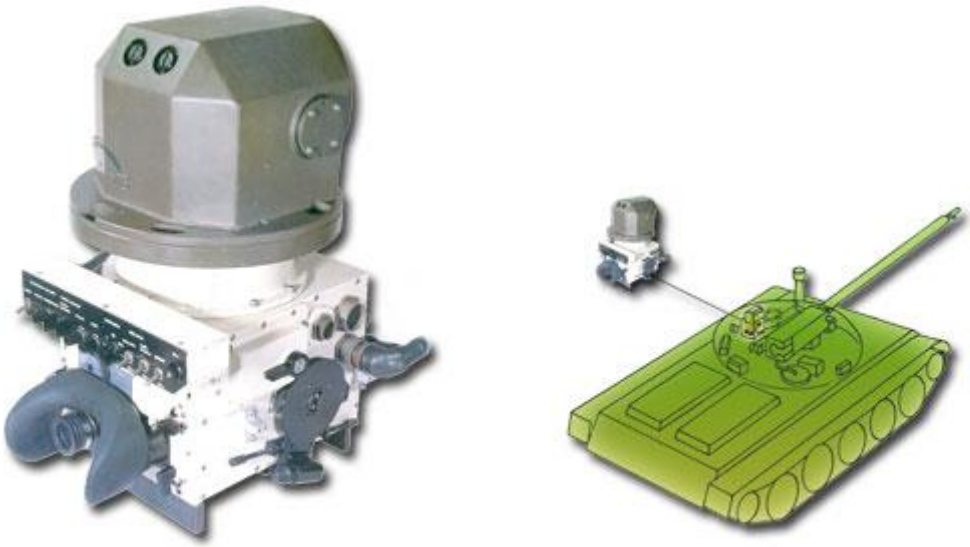
*Табела 9. карактеристике Agava-2* [10]

| | |
|---|---|
| Назив | AGAVA-2 |
| Тип | Термовизијски уређај |
| Домет детекције циља | 2600 [m] |
| Домет идентификације циља | 2300-2600 [m] |
| Видно поље [степени] | Широко поље 12[m] до бесконачности |
| | Уско поље 4[m] до бесконачности |
| Приказ слике | 2 TV монитора |
| Време доступности услуге | Мање од 5 [min] |
| Маса уређаја | 65 [Kg] |

Дневно-ноћни уређај DNNS-2

Дневно-ноћни нишански уређај је оптоелектронски уређај са ласерским даљиномером који се може користити на даљинама од 240м до 9995м, што омогућава нишањење и пуцање како на непокретним тако и на покретним метама.

DNNS-2 има монокулар дневни нишан и монокулар ноћни нишан са појачавачем слике и уграђеним ласерским даљиномером. [11]



*Сл.28 Дневно ноћни уређај DNNS-2* [11]

*Табела 10 Карактеристике DNNS-2* [11]

| | |
|---|---|
| Назив | DNNS-2 |
| Тип | Дневно-ноћни уређај |
| Дневно видно поље | 9m и 20 m |
| Дневно увећање | 3x и 7x |
| Ноћно видно поље | 5.5 m |
| Ноћно увећање | 8.5x |
| Домет посматрања | 1300 m |
| Максимална грешка мерења домета | 10 m |
| Угао окулара | од - 7 до +20 |
| Димензије уређаја | Дужина 670 mm,<br>Ширина 370 mm,<br>Висина 560 mm, |
| Опсег радне температуре | од -25 до + 55 ° C |
| Маса | 77 kg |

## 5.3 LAV III

LAV III оклопно возило је најновије у трћој генерацији лако оклопних возила (**L**ight **A**rmoured **V**ehicle (LAV)) које је произведено од стране General Dynamics Land Systems. Улази у употребу 1999.год.

Возило поседује побољшану заштиту од мина, јак мотор који повећава мобилност војника, термовизијску справу, дневно-ноћну справу. Тежина возила је 25t.

Командир користи термовизијску справу M36, док возач користи дневно-ноћну справу AN/VVS-2. [12]

*Сл. 29 LAV III оклопно возило* [12]

<u>Термовизијски уређај M36</u>

Оптимизовано видно поље за високе перформансе у откривању, препознавању и идентификовању. Пружа велики квалитет слике са уграђеним дигиталним системом за обраду слике, као и изоштравање и давање већег контраста слици што доприноси добијању детаља циља. Стправа омогућава једноставно и прецизно нишањење што повећава презизност. [13]

*Сл. 30 Термовизијски уређај M36 [13]*

*Табела 11. Спецификација M36 [13]*

| Спецификација | |
|---|---|
| Тип сензора | MWIR, Indium Antimonide (InSb) 640x480 |
| Спектарни опсег | 3.4-5.1 μm |
| Аутоматске карактеристике | Контраст, осетљивост |
| Угао хоризонта | 9° |
| Увеличавање | 2x |
| Поларитет | Црно - топло, Бело - топло |
| Обрада слике | FCS |
| Видео | 2xPAL или 2xNTSC аналогни или дигитални излаз |
| Напајање | 9-28 V |
| Радна температура | -40℃ до +60℃ |
| Димезије | 64x130x100 mm |
| Тежина | 8.1 kg |
| Конектор | FLIR |

Дневно-ноћни уређај AN/VVS-2

Уређај има широк угао посматрања, 45 ° хоризонтално, 35 ° вертикално. Док је у пасивном режиму рада не захтева никакво осветљење. Велики окулар који је обложен гуменом подлогом, омогућава возачу удобнију вожњу чак и по нарочито неравним теренима, јер возач немора да држи око на окулару како би видео. [14]

*Сл. 31 Дневно-ноћни уређај AN/VVS-2* [14]

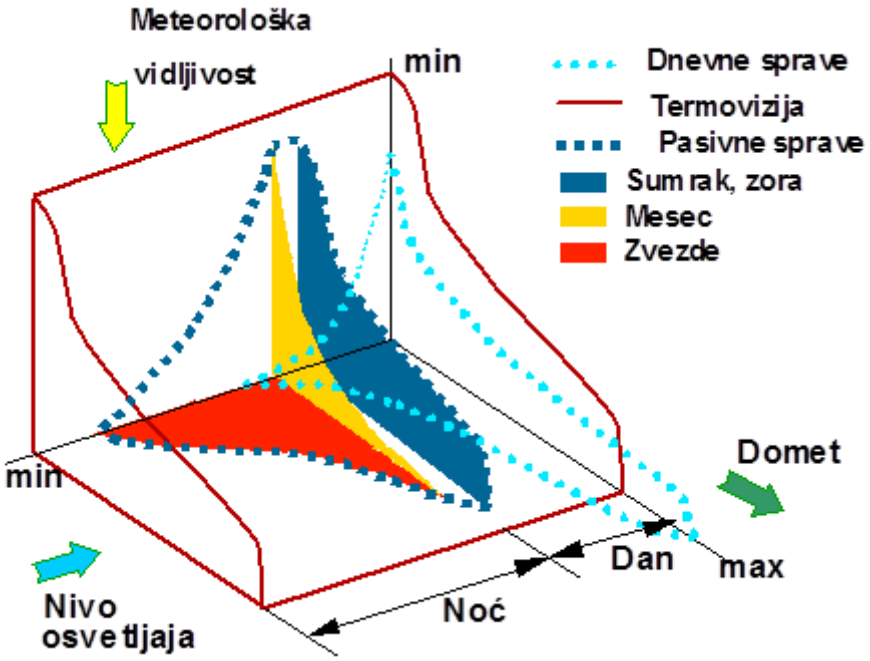
*Табела 12 Карактеристике AN/VVS-2* [14]

| | |
|---|---|
| Назив | AN/VVS-2 |
| Тип | Дневно-ноћни уређај |
| Видно поље | 45 ° хоризонтално, 35 ° вертикално |
| Укупно видно поље | 105 ° хоризонтално, 35 ° вертикално |
| Увећање | 0.93 (+0.09 -0.06) |
| Пречник окулара | 50 mm |
| Радни напон | 12-28V DC |
| Тип батерије | 2 x 1.5V AA |
| Време тајања батерије | 12 сати |

# 6. АНАЛИЗА САВРЕМЕНИХ ТЕРМОВИЗИЈСКИХ И ДНЕВНО-НОЋНИХ СИСТЕМА

Захваљујући својим својствима термовизија је нашла широку примену у војним системима за извиђање,осматрање и праћење циљева и снага противника, при чему представља врло квалитетан сензорски систем који је комплементаран са другим електронским и оптоелектронским системима. Применом термовизије битно се оплемењују укупне могућности електронских система за осматрање и извиђање у отежаним условима (ноћ, магла, примена електронских система за ометање) при чему примена термовизије не искључује примену других сензора. [1]

Примена оптоелектронских уређаја са појачавачима слике (пасивни уређаји и телевизија за ниски ниво осветљаја - LLLTV) је комплементарна и алтернативна могућност за техничко обезбеђење ноћних борбених дејстава. Поређење могућности уређаја са појачавачима слике и термовизијских уређаја приказано је у Табели 13.




*Сл.32 Поређење карактеристика уређаја за формирање у погледу ресурса примењивости (домет, осветљеност, метеоролошка видљивост)* [1]

Анализе и практично искуство показују да термовизијски уређаји имају неколико пута већи домет и због тога је у великом броју примена у војним системима повољније применити термовизијске уређаје. Међутим, врло висока укупна цена као и релативно ограничени ресурс материјала који се користе у оптичком систему термовизијских уређаја (германијум) ограничавају обим примене ових уређаја за подршку ноћним дејствима.

Стога је примена термовизијских уређаја најзаступљенија у сложеним системима као што су: нишанско-осматрачки уређаји на летилицама, системи PVO на пловилима, SUV тенка, ракетни системи PVO, системи PO ракета (нишањење, вођење) и сл.

Развој појачавача слике (трећа генарација са GaAs NEA фотокатодом (NEA - **N**egative **E**lectron **A**ffinity) – са негативним излазним радом електрона) довео је до побољшања квалитета и компактности пасивних уређаја и смањења укупне масе. Тиме је пасивним уређајима омогућена масовнија примена на малим растојањима. Проширењем спектралне осетљивости NEA фотокатоде у инфрацрвеном делу спектра уз погодно филтрирање видљивог зрачења омогућило је широку примену пасивних наочара за ноћну пилотажу хеликоптера и ниско летећих авиона. [1]

Примена пасивних наочара за ноћну пилотажу хеликоптера омогућава већу сигурност лета ноћу, јер њихова велика резолуција на малим растојањима уз релативно велико видно поље омогућава правовремено уочавање и избегавање препрека у ниском лету (дрвеће, далеководи и сл.)

*Табела 13. Поређење оптоелектронских система за подршку у ноћним дејствима* [1]

| Pasivne sprave | LLLTV | Termovizija |
|---|---|---|
| **prednosti**<br>↗ direktno posmatranje<br>↗ stereoskopska slika<br>↗ jednostavna upotreba<br>↗ mala težina<br>↗ relativno niska cena<br>↗ mogućnost masovne upotrebe | ↗ nehlađeni detektor<br>↗ integracija alfa-numeričkih poruka<br>↗ prenos slike na daljinu<br>↗ memorisanje i analiza slike<br>↗ umerena cena<br>↗ jednostavna upotreba i integracija u sisteme | ↗ koristi toplotni kontrast<br>↗ celodnevna upotreba<br>↗ nema zaslepljivanja<br>↗ laka integracija u sisteme<br>↗ moguća TV kompatibilna slika<br>↗ manje izražen uticaj meteo-uslova |
| **mane**<br>↘ zaslepljivanje jakim izvorima<br>↘ potrebna osvetljenost (min. 1 mlux)<br>↘ izražen uticaj meteo-uslova<br>↘ mali domet<br>↘ otežana integracija u sisteme | ↘ zaslepljivanje jakim izvorima<br>↘ potrebna osvetljenost (min 5 mlux)<br>↘ izražen uticaj meteo-uslova<br>↘ mali domet<br>↘ mali dnevni resurs upotrebe | ↘ hlađeni detektor<br>↘ gubitak prirodne perspektive<br>↘ visoka cena<br>↘ potrebna posebna obuka<br>↘ složena logistika |

Могућност интеграције више визуелних информација (екран појачавача слике, визуелне информације периферног видног поља, дисплеј TV и термовизијских уређаја) на комплексном визиру кациге пилота или **HUD** - **H**ead-**U**p **D**ispley, обезбеђује комплементарну примену пасивних уређаја и термовизије.

Искуства из рата у Заливу, против Ирака, кога је карактерисала масовна примена ноћних дејстава уз примену оптоелектронских уређаја, показала су да је потребно посветити још више пажње развоју комплементарне примене термовизијских уређаја и пасивних уређаја (LLLTV).

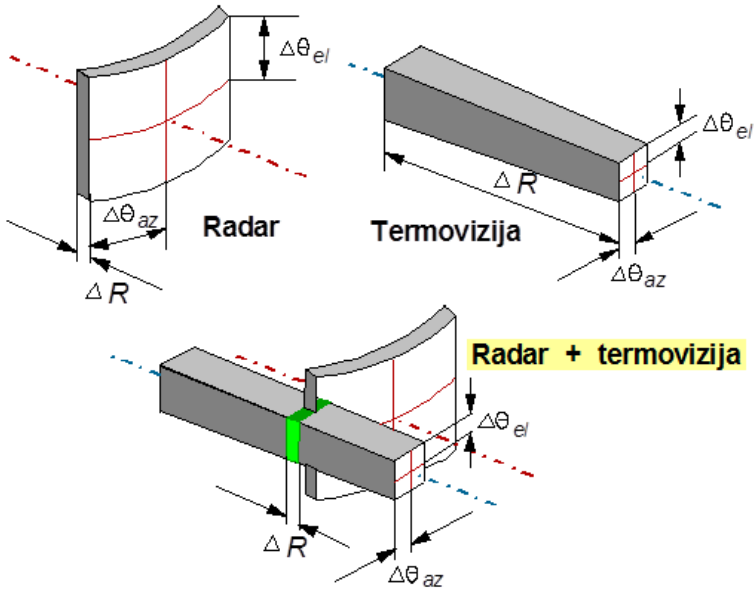
Термовизија је нашла значајне примене у мултисензорским системима битно повећавајући укупне могућности у погледу ресурса примене и отпорности на ометање, захваљујући пасивном режиму рада.

Интеграција термовизије у мултисензорске системе нашла је најширу примену у ракетним системима PVO при чему се остварује више значајних побољшања од којих су најзначајнија:

Упоредном применом радара и термовизије знатно се побољшава просторна резолуција целог система што је илустровано на Сл.33.

Уградњом термовизије омогућава се употреба ракетног система PVO и у условима интензивног електронског ометања радара. Уколико је термовизијски уређај спрегнут са ласерским даљиномером могућа је потпуно аутономна примена термовизије за одређивање скупа координата циља а тиме и аутоматско праћење циљева и навођење ракете на одабрани циљ.

Међусобни квалитативни однос неких функционалних карактеристика оптоелектронских уређаја и других електронских система за осматрање и нишањење приказан у табели 14 и указује на значај и услове симултане примене ових система.




*Сл. 33 Илустрација предности интеграције радара и термовизије у погледу повећања просторне резолуције.* [1]

*Табела 14. Однос карактеристика сензорских система за осматрање и извиђање* [1]

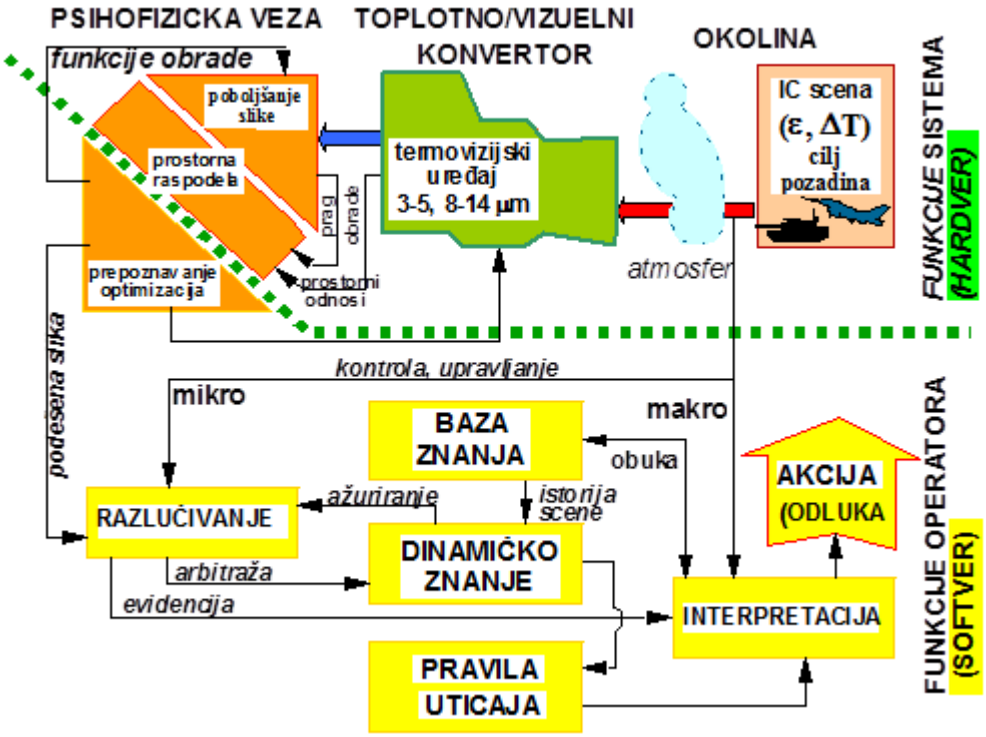
| ***Карактеристике*** | **Класа електронских система** | | |
|---|---|---|---|
| | Микроталасни **RW** | Милиметарски **MMW** | Оптоелектронски **OE, (IC)** |
| Поузданост праћења | * | *** | *** |
| Класификација / идентификација циља | * | ** | *** |
| Отпорност на ометање | * | ** | *** |
| Простор претраживања | *** | ** | * |
| Просторна резолуција | * | ** | *** |
| Отпорност на утицај метео-услова | *** | ** | * |
| Отпорност на утицај дима и прашине | *** | ** | * |
| Начин рада | *активни* | *активни, пасивни* | *пасивни, (активни)* |
| Компоненте | *чврсте, крупне* | *чврсте, ситне* | *ломљиве, ситне* |

Специфичности формирања и карактеристике термовизијске слике захтевају да се посебна пажња посвети овим својствима, како при пројектовању термовизијских уређаја и система, тако и при обуци оператора у циљу правилне интерпретације и употребе термовизијске слике. Логичка архитектура која је примењива за правилну интерпретацију термовизијске слике приказана на Сл.34 повезује функције термовизијског уређаја (хардвер) и кључне процесе који морају бити заступљени при коришћењу термовизијске слике (софтвер), како при употреби система тако и при обуци. [1]

Развој електронике и алгоритама за обраду термовизијске слике и екстракцију информација из слике омогућава примену термовизијске слике у системима за аутоматски избор и праћење циљева. Елементи логичке архитектуре за интерпретацију слике су присутни и при аутоматској обради слике и аутоматском издвајању информација из слике. Укупна структура (општа блок шема) система за аутоматску селекцију и праћење циљева приказана је на Сл.35.

Поређењем слика 34 и 35 лако се могу уочити заједнички елементи опште логичке архитектуре за интерпретацију термовизијске слике и система за аутоматско праћење циљева на бази примене термовизијске слике, при чему је: [1]

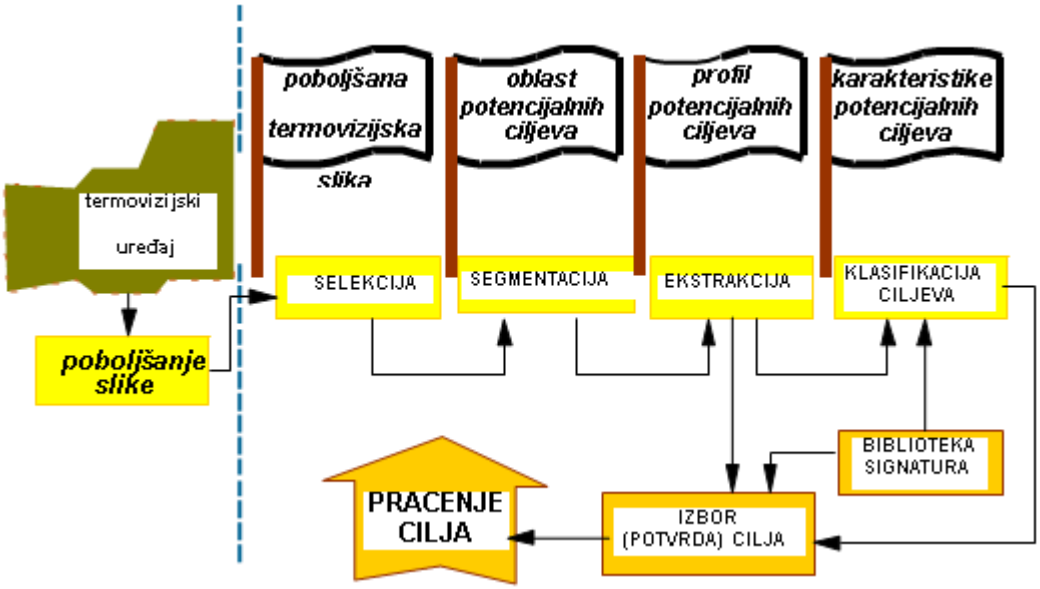
| | | |
|---|---|---|
| **SELEKCIJA** | ⇔ | **RAZLUČIVANJE + PREPOZNAVANJE** |
| **SEGMENTACIJA** | ⇔ | **RAZLUČIVANJE + INTERPRETACIJA** |
| **EKSTRAKCIJA** | ⇔ | **BAZA ZNANJA + INTERPRETACIJA** |
| **KLASIFIKACIJA CILJEVA** | ⇔ | **PRAVILA UTICAJA + INTERPRETACIJA** |
| **BIBLIOTEKA SIGNATURA** | ⇔ | **BAZA ZNANJA** |
| **IZBOR CILJA** | ⇔ | **INTERPRETACIJA + BAZA ZNANJA** |
| **PRAĆENJE CILJA** | ⇔ | **AKCIJA (ODLUKA)** |




*Сл.34 Логичка архитектура процеса при интерпретацији и употреби термовизијске слике* [1]

Системи за аутоматски избор и праћење циља на основу примене термовизијске слике су јако комплексни и подразумевају примену сложених рачунарских система са великим меморијским капацитетом, брзим приступом меморији и брзих процесора за обраду сигнала и информација. Ови системи у себи интегришу обраду сигнала и информација са елементима примене вештачке интелигенције у војним системима. Компатибилност формата термовизијске слике са стандардним форматима ТВ слике знатно олакшава процес обраде термовизијске слике и симултану примену ТВ и термовизијске слике у циљу побољшања процеса обраде термовизијске слике.

Обим примене термовизијских уређаја зависи од функционалних и оптоелектронских карактеристика уређаја и њихове прилагођености захтевима примене.




*Сл. 35 Општа блок шема функционисања система са аутоматском обрадом и употребом термовизијске слике* [1]

У табели 15 је дат преглед утицаја карактеристика термовизијских уређаја на неке карактеристичне захтеве примене при употреби у ноћним дејствима и условима отежане видљивости. Ова табела показује да термовизијски уређаји могу успешно задовољити и врло тешке захтеве примене у војним системима. [1]

У војним применама термовизијских уређаја и система термовизијски уређаји се користе за извршавање више различитих операција (функција).

У табели 16 је приказано коришћење могућих функција термовизијских уређаја у различитим борбеним системима. Очигледно је да начин коришћења информација које пружа примена термовизијских уређаја у различитим борбеним системима и ситуацијама није исти, што директно утиче и на степен сложености структуре и карактеристика примењених уређаја. Међутим, део потенцијално корисних функција термовизијских уређаја је заједнички за више различитих примена што још више оправдава примену концепта заједничких модула у конструкцији уређаја.

На укупну ширину примене термовизијских уређаја битан утицај имају и експлоатациони захтеви. Могућност испуњења експлоатационих захтева зависи од структуре уређаја и карактеристика саставних подсклопова.

Утицај структуре термовизијских уређаја на неке експлоатационе захтеве приказан је у Табели 17.

Ова табела показује да техничка и технолошка решења примењена у конкретном термовизијском уређају битно опредељују услове експоатације (опремање, снабдевање, одржавање) а тиме и укупну распрострањеност примене термовизијских уређаја.

При процени претње коју представља примена термовизијских уређаја мора се водити рачуна и о техничко технолошким могућностима противника.

*Табела 15. Функционалне карактеристике и примена термовизијских уређаја* [1]

| ***ФУНКЦИОНАЛНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ*** | **KARAKTERISTIKE PRIMENE** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Пасивни** | **Целодневна употреба** | **Домет** | **Домет** | **Домет** | **Обука и** | **Утицај метеоуслова** | **Слика терена** | **Употреба са покртних објекта** | **Употреба против покретних** |
| ***Детектује разлике температуре*** | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | | | | |
| ***Детектује разлике емисивости*** | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| ***Детектује загрејане делове објекта*** | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | | | |
| ***Непрекидан рад (целодневно)*** | ☑ | ☑ | | | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| ***Радни спектрални опсег*** | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | | | ☑ | ☑ | ☑ |
| ***Карактеристике слике (TV компатибилна)*** | ☑ | ☑ | | ☑ | ☑ | ☑ | | ☑ | ☑ | ☑ |
| ***Рад у реалном времену*** | ☑ | ☑ | | ☑ | ☑ | ☑ | | | ☑ | ☑ |
| ***Температуркса осетљивост*** **NETD** | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | | ☑ | ☑ | | |
| ***Просторна резолуција*** **MRTD** | ☑ | ☑ | | ☑ | ☑ | | | ☑ | ☑ | ☑ |

Термовизијски уређаји имају широке могућности примене при чему могу бити врло ефикасни што је и показало досадашње искуство. Међутим, за производњу и примену термовизијских уређаја морају бити присутни и одговарајући услови техничког и технолошког окружења.

Највећи значај има примена термовизије у системима управљања ватром борбених возила (тенк) као осматрачко-нишански сензор.

Значајна је и примена термовизије у нишанско осматрачком комплету система вођених противоклопних ракета. У овим применама се обично користе термовизијски уређаји са два видна поља (уско и широко) при чему су типични домети за детекцију циља око 4 км а домети за препознавање циља око 3 км.

Мање је значајна примена у оквиру осматрачких система. Укупна цена и габарити ограничавају могућност широке индивидуалне примене и примену у нишанским уређајима пешадијског наоружања.

*Табела 16. Функције термовизијских уређаја у специфичним применама* [1]

| ***Примена*** | **Функција** | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | **Управљање летом** | | | | | |
| | **Осматрање** | **Извиђања** | **Праћење циља** | **Нишањење** | **Снимање** | **Вожња** | **Самонаводњење** | **Вођење** | **Навигација** | **Пилотирање** | **Слетање** | **Управљање ватром (корекција)** |
| ***Борбена возила (тенк, BVP, .)*** | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | | ☑ | | | | | | ☑ |
| ***Артиљеријска оруђа*** | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | | | ☑ | | | | | ☑ |
| ***Минобацачи*** | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | | | ☑ | | | | | ☑ |
| ***Системи PVO ракета*** | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | | | ☑ | ☑ | | | | |
| ***Артиљеријска оруђа PVO*** | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | | | | | | | | ☑ |
| ***Извиђачка возила*** | ☑ | ☑ | | | ☑ | | | | | | | |
| ***Хеликоптери*** | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | | | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ |
| ***Авиони*** | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | | | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ |
| ***Беспилотне летелице*** | ☑ | | | | ☑ | | | ☑ | ☑ | ☑ | | |
| ***Пловни објекти (бродови)*** | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | | | | | | | | ☑ |
| ***Индивидуални војник*** | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | ☑ | | | | | | | ☑ |

*Табела 17. Структура термовизијских уређаја (система) и експлоатациони захтеви* [1]

| ***ЕКСПЛОАТАЦИОНИ ЗАХТЕВИ*** | | **СТРУКТУРА УРЕЂАЈА (СИСТЕМА)** | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **ПОДСИСТЕМИ** | | | | | | | | **КОНЦЕПТ** | | | | |
| | | | | | | **расхладни системи** | | | | | | | **модули** | |
| | | **ОПТИКА** | **СКЕНЕР** | **ДЕТЕКТОР** | **ЕЛЕКТРОНИКА** | **TE (термое-електрични** | **J-T (Џул-Томпсонов)** | **S - Stirling** | **ДИСПЛЕЈ** | **Начин скенирања** | **Спектрални опсег** | **Специјалне намене** | **Ширина примене** | **Технологија израде** |
| ЦЕНА | | ➲ | ➲ | ⬆ | ⬆ | ⬇ | ➲ | ⬆ | ⬇ | ➲ | ⬆ | ⬆ | ⬆ | ⬆ |
| Карактеристике | | ⬆ | ➲ | ⬆ | ⬆ | ⬇ | ➲ | ➲ | ➲ | ➲ | ➲ | ⬆ | ➲ | ➲ |
| Габарити | | ➲ | ⬇ | ⬇ | ➲ | ⬇ | ⬆ | ➲ | ➲ | ⬇ | ⬇ | ⬇ | ⬇ | ⬇ |
| Тежина | | ➲ | ➲ | ⬇ | ➲ | ⬇ | ⬆ | ➲ | ➲ | ⬇ | ⬇ | ⬇ | ⬇ | ⬇ |
| ЛОГИСТИКА | Снадбевање | ⬇ | ⬇ | ⬇ | ⬇ | ⬇ | ⬆ | ⬇ | ⬇ | ⬇ | ⬇ | ➲ | ➲ | ➲ |
| | Одржавање | ⬇ | ⬇ | ➲ | ⬇ | ⬇ | ⬆ | ➲ | ⬇ | ⬇ | ⬇ | ➲ | ➲ | ➲ |
| | Паоузданост | ⬇ | ➲ | ➲ | ⬇ | ⬇ | ⬆ | ⬇ | ⬇ | ➲ | ⬇ | ⬇ | ➲ | ➲ |
| ⬆ - јако утиче | | | ➲ - умерено утиче | | | | | | ⬇ - слабо утиче | | | | | |

Техничко-технолошки предуслови за примену термовизије се могу разматрати са два основна аспекта:

1. Технолошка зрелост, како индустрије тако и војних структура, за оцену значаја информација које може дати примена термовизије у циљу ширег укључивања примене термовизије за решавање техничких проблема у својим областима рада.

2. Техничко-технолошке могућности производње кључних подсклопова (детектор, сканер, расхладни систем и електроника за обраду сигнала и информација) у циљу избора оптималне структуре термовизијског уређаја.

У односу на ова два основна аспекта може се проценити значај примене термовизије, величина тржишта и трендови будућег развоја.

Могућности визуелизације поља "топлотног зрачења" коју пружа термовизија ће у индустрији имати све ширу примену због већ наглашених потреба штедње енергије у производним процесима као и повећаних захтева за контролу појединих процеса у циљу обезбеђења веће продуктивности и нивоа квалитета производа.

Висока температурска резолуција термовизијских уређаја омогућава све ширу примену термовизије у медицини за дијагностику у случају болести које доводе до поремећаја површинске расподеле температуре пацијента (реуматские болести, болести крвних судова и болести поремећаја метаболизма). [1]

Примена термовизије у војним системима проширује могућности визуелног контакта са противником у отежаним условима видљивости и тиме доприноси повећању укупног временског ресурса и простора ефикасне употребе оружане силе и побољшану динамику дејстава према противнику.

Применом термовизијских сензора омогућава се аутономно дејство на даљинама које обезбеђују повећану заштићеност сопствене живе силе. То је битно утицало на доношење одлука о све масовнијој примени термовизије у војним системима.

Правце развоја савремених термовизијских уређаја одређују следећи утицајни фактори:

- Упрошћавање и смањење утицаја система за хлађење на логистику током експлоатације, што се постиже било применом нехлађених детектора било применом Стирлинговог хладњака чија је технологија израде побољшана у мери која омогућује да МТБФ хладњака буде већи од 5000 сати.
- Смањење габарита уређаја што је разрешено у другој генерацији пошто повећан број детектора омогућава постизање задовољавајућих перформанси са мањим улазним апертурама телескопа. Смањење димензија телескопа утиче и на смањење укупне цене уређаја.
- Примена фокалних матрица која омогућава упрошћавање сканирања.

Трендови развоја термовизије су трасирани војним потребама и може се уочити неколико праваца који су диктирани развојем технологије термовизијских детектора:

1. Развој матрица са великим бројем детектора намењених за системе са паралелним сканирањем (400-1000x4 елемента) уз примену **TDI** (**TDI- T**ime **D**elay and **I**ntegration - временско кашњење и интеграција) за повећање осетљивости и хомогености одзива по

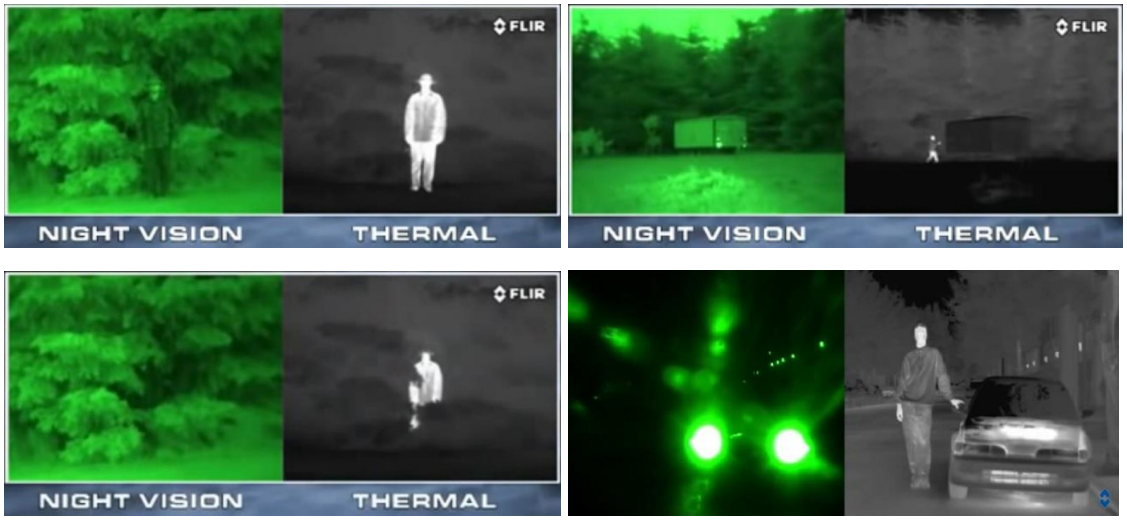
линијама тако да се обезбеди температурска резолуција боља од 0.01К (термовизијски уређаји друге генерације).

2. Развој фокалних матрица (до 512x512 детекторских елемената) при чему су постигнути одговарајући резултати са MOS CCD платина силицидним матрицама за рад у опсегу 3-5μm на 77К. Улажу се напори за развој матрица осетљивих у опсегу 3-5μm базираних на примени MOS CCD иридијум силицида. Најбољи резултати се очекују од развоја (Hg,Cd)Te монолитних или хибридних фокалних матрица али су тешкоће за реализацију матрица задовољавајућих димензија још увек велике иако не и непремостиве.

3. Развој матрица за рад на собној температури на бази примене пироелектричних материјала (BST-barijum stroncijum titanat и др.) намењених за преносне термовизијске уређаје релативно малог домета и сензоре интелигентне муниције.

4. Развој матрица за рад на собној температури на бази примене матрица болометарских детектора, при чему су публиковани тек почетни резултати у раду са полупроводничким структурама са врло добрим карактеристикама одвођења топлоте уз коришћење танких мембрана. Ови резултати су врло охрабрујући и уколико се разреше и други проблеми везани за практичну реализацију и масовну примену врло лако се може десити да у применама потисну ускозоналне полупроводнике. Недостатак ових детектора је што је тешко могућа примена у системима високог нивоа квалитета, због брзине одзива и спорости термичких процеса. Може се очекивати значајнија примена у областима где се сада успешно примењују уређаји са појачавачима слике, уколико се постигне задовољавајући квалитет компоненти и ниска цена детекторских матрица.

5. Развој одговарајућих алгоритама за обраду сигнала и информација који треба да омогуће аутоматизацију процеса препознавања и праћења циљева. Очекује се и шири развој нових софтверских пакета за обраду термовизијских слика примењљивих за ефикаснију примену термовизије у системима за аутоматско препознавање и праћење циљева.




*Слика 36. Разлика између ноћне и термовизијске камере* [15]

Атмосферски услови, као што су дим, киша или магла, рефлектујућа светлост, чине ноћну оптике мање ефикасним. Али термалне оптике виде кроз то јасније.

Ноћне оптике такође треба да имају одређену количину светлости да би радиле добро. Ако је светлост преслаба, као када се гледа у дубину сенке, нећете видети

ништа. Тако и када има превише светла, од уличних светиљки, сигурносних или ауто светла, такве оптике постају презасићене.

Термалне оптике немају оваква ограничења. Зато се специјалне јединице широм света опредељују за овакву технологију у потребама уочавања захтевних ноћних мета.

Широке могућности и значај примене термовизије у војним системима је основни разлог врло интензивних истраживања и развоја како у проширењу могућности производње и употребе термовизијских уређаја тако и у области организовања мера заштите и адекватних противдејстава.

Обзиром на укупна својства, примена термовизије представља значајну предност за корисника и велику претњу за противника. [15]

Укупна релативно висока цена која утиче на масовност употребе неће бити битно смањена у блиској будућности пошто нема резерви за смањење цена оптичког система, електронских блокова, као ни цене интеграције уређаја и контроле квалитета. Једине резерве за смањење цена се налазе у смањену цене детектора и система за хлађење, које се могу смањити у случају високо серијске производње. Потребе високог квалитета и поузданости рада лимитирају доњи ниво цена.

Цена одржавања и експлоатације термовизијских уређаја су такође релативно високе.

Укупан значај и могућности термовизијских уређаја али и укупни ресурси стратешких материјала (нпр. германијум) су такви да термовизијски уређаји подлежу стратегијском ембаргу најразвијенијих земаља.

# 7. ЗАКЉУЧАК

Термовизијски уређаји су потпуно пасивни у свом раду јер користе сопствено зрачење објеката у средњем и даљеком делу IC делу спектра. Због тога су погодни за примену и дању и ноћу. То омогућује и упрошћен систем за дневно-ноћна дејства.

Могућности које пружају термовизијски уређаји су довели и до промене у тактици примене оружане силе тако што су уведена два нова концепта:

- ПРЕТВАРАЊЕ НОЋИ У ДАН а као последица и
- КОРИШЋЕЊЕ НОЋИ за извођење борбрних дејстава јер се тада омогућава: постизање изненађења, постизање превласти на бојном пољу коришћењем технолошке надмоћности, постизање допунских поражавајућих психолошких ефеката, замарање противника кроз непрекидност дејстава и др.

Рад у инфрацрвеној области утиче на смањење утицаја метеоролошких фактора, али се мора истаћи да су термовизијски уређаји осетљиви на метеоролошке услове (посебно јака магла) и не могу се сврстати у класу уређаја који се могу примењивати у свим условима.

Карактеристике и квалитет термовизијске слике омогућавају компатибилност примене термовизијских уређаја са другим оптоелектронским сензорима.

Укупне карактеристике и пасиван рад омогућавају комплементарну примену термовизијских уређаја у системима вођења PVO ракета малог и средњег домета у условима интензивног радарског ометања.

У овом раду су описана структура и основни принципи рада термовизијских уређаја и дневно-ноћних уређаја у циљу упознавања са специфичностима конструкције и примене термовизијских уређаја и дневно-ноћних уређаја, ради лакше процене значаја, сложености. Наглашене су предности и мане примене термовизијских уређаја.

Дискутовани су параметри просторне и температурске резолуције термовизијских уређаја у циљу појашњавања како система параметара термовизијских уређаја тако и у циљу дефинисања услова за процену употребљивости термовизијских уређаја и дефинисања ТТЗ.

Преглед карактеристика термовизијских уређаја садржи општи преглед система карактеристика и преглед значења и значаја појединих карактеристика. Приказани су табеларни прегледи карактеристика савремених термовизијских и дневно/ноћних уређаја који се налазе у производњи и наоружању. Дате су и фотографије изабраних типова уређаја који у довољној мери илуструју ширину и значај примене.

Приказани су глобални захтеви и услови примене термовизијских уређаја у војним системима. Дискутоване су специфичности примене у различитим видовима војске, из чега се јасно виде разлике у условима примене. Дати су критеријуми и поступак који се морају поштовати при дефинисању ТТЗ и анализи погодности термовизијских уређаја за дефинисану примену. Анализирани су основни правци будућег развоја термовизијских уређаја.

Показано је да термовизијски уређаји имају врло широке и значајне примене у војним сиситемима. Укупне могућности које су до сада демонстриране показују да ће и у будућности термовизијски уређаји имати значајне примене у савременим средствима ратне технике. Због тога ће истраживања и развој метода у области примене термовизијских уређаја имати све већи значај.

# 8. ЛИТЕРАТУРА

[1] Б. Ливада, Војне примене термовизије, Војно Технички Институт, Београд 2000.

[2] Д. Васиљевић, Оптички уређаји и оптоелектроника, Машински факултет, Београд 2005.

[3] S. Salman, NIGHT VISION TECHNOLOGY, RSR Engineering college

[4] K. Chrzanowski, Review of night vision technology, OPTO−ELECTRONICS REVIEW **21**(2), 153–181, DOI: 10.2478/s11772−013−0089−3

[5] http://kingstronic.manufacturer.globalsources.com/si/6008843218358/pdtl/Night-vision-camera/1076680875/rechargeable-Night-Vision-Camera.htm

[6] https://en.wikipedia.org/wiki/T-90

[7] http://ofbindia.gov.in/products/data/optical/add_40.htm

[8] http://lzos.ru/en/index.php?option=com_content&task=view&id=73

[9] https://sr.wikipedia.org/sr/M-84

[10] http://warfare.be/db/catid/314/linkid/2363/title/agava-2-tank-thermal-imaging-day/night-sight/

[11] http://www.zrak.ba/products/dnns.html

[12] https://en.wikipedia.org/wiki/LAV_III

[13] http://www.flir.com/surveillance/display/?id=64725

[14] http://www.transvaro.com/en/?wpcproduct=tvvvs-2-mod3#.Vf8Lyd_tmko

[15] http://www.opticsplanet.com/howto/how-to-thermal-imaging-vs-night-vision-devices.html