



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ



ИНСТИТУТ ПО ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ

инж. Евгени Димитров Бантутов

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд
за присъждане на образователна и научна степен “Доктор”
на тема:

МОДЕЛИРАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ТЕМПЕРАТУРАТА ВЪРХУ ПАРАМЕТРИТЕ НА УРЕДИ ЗА НОЩНО ВИЖДАНЕ

научна специалност: 02.21.10 “Приложение на принципите и методите на
кибернетиката в различни области на науката (техническа)”
проф. направление 5.2. “Електротехника, електроника и автоматика”

Научен консултант:
доц. д-р Даниела Борисова

София
2014

Дисертационният труд е обсъден и допуснат до защита на разширено заседание на секция „Информационни процеси и системи за вземане на решения“ при ИИКТ-БАН, състояло се на 31 октомври 2014 г.

Дисертационният труд е структуриран както следва: увод, три глави, заключение, списък на публикациите по дисертационния труд, декларация за оригиналност на резултатите и библиография. Дисертационният труд е в обем от 124 страници, 63 фигури и 15 таблици, 137 цитирани литературни източника.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 2014 г.
от часа в зала на на открито
заседание на научно жури в състав:

1.,
2.,
3.,
4.,
5.,

Резервни членове:

1.,
2.

Материалите за защитата са на разположение на интересувалите се в ИИКТ-БАН, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 25А, стая 215.

Автор:

инж. Евгени Димитров Бантутов

Заглавие:

Моделиране влиянието на температурата върху параметрите на уреди за нощно виждане

УВОД

В съвременните условия на непрекъснат технологичен прогрес се наблюдава разширяване на приложните области на много високотехнологични уреди и устройства. Типичен пример в това отношение са уредите за нощно виждане (УНВ). Използването на съвременни технологични решения позволи намаляване на цените на УНВ и ги направи достъпни за широк кръг военни и граждански приложения. Военните приложения са традиционна приложна област за УНВ – управление на бойни машини от различни типове (самолети, хеликоптери, танкове, морски съдове, транспортни машини), водене на бойни действия в нощни условия (стрелба, патрулиране, разузнаване) и др., но напоследък УНВ се използват масово и за граждански цели – при спасителни операции, при бедствия и аварии, навигация и управление на транспортни средства, за научни изследвания, за охрана, за туризъм и развлечения и т.н.

В тази връзка, провеждането на научни изследвания, които позволяват да се направи оценка на различните показатели на УНВ, по отношение на тяхната ефективност в различни условия на наблюдение, е едно актуално научноизследователско направление. При проектирането и използването на УНВ е от значение своевременното оценяване на ефективността им, като се отчитат всички вътрешни и външни фактори, влияещи на параметрите на УНВ. Един от важните външни фактори, оказващ влияние върху работоспособността на УНВ, е температурата на околната среда. Това влияние е съществено от гледна точка на определяне на възможностите за ефективно използване на УНВ при различни външни условия.

Обект на изследване в дисертационния труд са уредите за нощно виждане, а *предмет на изследването* е влиянието на температурата на околната среда върху параметрите на уредите за нощно виждане, базирани на използването на електронно-оптични преобразуватели (ЕОП) за усилване на светлината.

Цел на настоящия дисертационен труд е да се моделира и изследва влиянието на температурата на околната среда върху параметрите на УНВ и в частност, да се определи функционалната зависимост на разстоянието на действие на УНВ от температурата. За постигането на тази цел е необходимо да се изпълнят следните задачи:

1. Изследване и анализиране на съвременното състояние на уредите за нощно виждане с електронно-оптични преобразуватели по отношение влиянието на температурните промени върху основните параметри на уредите за нощно виждане.
2. Определяне на функционална зависимост на параметрите на уредите за нощно виждане с електронно-оптични преобразуватели от температурата на околната среда.

3. Разработване на методология за определяне на външните условия на наблюдение (вкл. околната температура), при които се запазва разстоянието на действие, зададено в каталожните спецификации на уредите за нощно виждане.
4. Разработване на алгоритъм за проектиране на УНВ, позволяващ предварителна оценка на параметрите на проектираните уреди и вземащ предвид външните условия на наблюдение, в т.ч. температурата на околната среда.

Дисертационният труд е структуриран в 3 глави и заключение.

В **Глава 1** е направен анализ на УНВ с ЕОП, анализирани са методите за определяне на характеристиките на УНВ и получените научни и научно-приложни резултати в тази област. Определени са перспективните изследователски направления в областта.

В **Глава 2** е описан подход за определяне на функционална зависимост на разстоянието на действие на уредите за нощно виждане с ЕОП от температурата на околната среда. За целта е въведен температурно зависим коефициент, чрез който може да бъде определено разстоянието на действие като функция на температурата. На базата на енергетичен разчет и с използване на въведения температурно зависим коефициент е предложен обобщен метод за определяне на разстоянието на действие на УНВ при различни температури на околната среда. Разработена е методология за определяне на различни комбинации на външните условия на наблюдение, съответстващи на зададени технически спецификации на УНВ. Създаден е алгоритъм за проектиране на УНВ, позволяващ предварителна оценка на параметрите на проектираното устройство с отчитане на температурата на околната среда.

В **Глава 3** са описани проведените експериментални изследвания на влиянието на температурата върху разстояние на действие на УНВ. Представени са резултати от експерименталното измерване на разстояние на действие на УНВ при различни температури на околната среда и при различни нива на осветеност. Резултатите от експерименталните изследвания са използвани за определяне на аналитична зависимост на въведения температурен коефициент от температурата. Предложената методология за определяне диапазоните на изменение на външните условия, при които уредът има едно и също разстояние на действие е приложена за два типа УНВ (очила и прицел) и са описани получените резултати. Описан е прототип на уеб-базирано приложение за предварителна оценка на параметрите на проектираните УНВ в зависимост от външните условия на наблюдение. В заключението са посочени насоки за бъдещи изследвания.

Номерирането на формулите, таблиците и фигурите в автореферата е идентично с това в дисертационния труд.

ГЛАВА I: УРЕДИ ЗА НОЩНО ВИЖДАНЕ С ЕЛЕКТРОННО-ОПТИЧНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

В тази глава се разглежда основния компонент на УНВ, базирани на технологията на усилване на светлината – електронно-оптичния преобразувател. Описани са основните параметри и зависимости на ЕОП по отношение на определянето на характеристиките на УНВ. Развитието и усъвършенстването на УНВ е в тясна връзка с изискванията, поставени към ЕОП за работа в разнообразни реални условия. Това налага основните параметри на ЕОП да бъдат изследвани, за да се гарантира изпълнението на зададените изисквания към тях.

Основните параметри на ЕОП, разгледани в тази глава са: чувствителност, светлинно усилване, разделителна способност, квантова ефективност, ореол, време на живот и температурен диапазон, контраст, модулационно-трансферна функция, светлинен шум, отношение сигнал/шум, ток на тъмно и еквивалентната фонова осветеност.

Чувствителността на ЕОП е параметър, който показва в каква степен и колко ефективно се преобразува светлината в електрически ток. Отношението на големината на входящия светлинен поток към големината на изходящия светлинен поток изразява коефициента на усилване на ЕОП. Разделителната способност на ЕОП с микроканална пластина (МКП) се определя основно от диаметъра и разстояние на отделните микроканални на МКП. Квантовата ефективност на ЕОП зависи от светлинната чувствителност на фотокатода, т.е. от използвания за фотокатода материал. Квантовата ефективност Q може да се изчисли като се използва спектралната чувствителност S (DEP, 2004):

$$(1.11) \quad Q[\%] = \frac{S[mA/W]}{124\lambda[nm]}$$

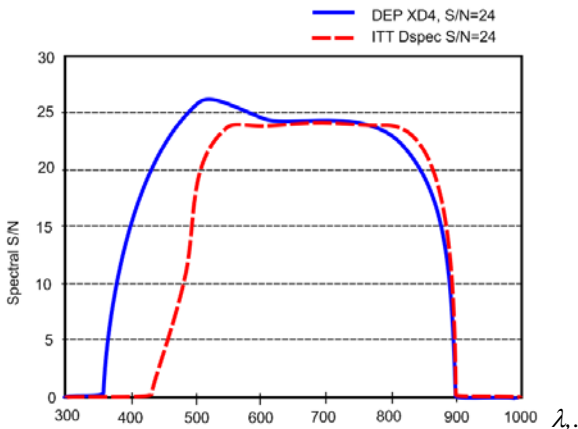
Ореолът (Halo ефект) се появява когато върху фотокатода попадне светлинен сигнал от достатъчно мощен точков източник. Върху екрана на ЕОП се наблюдава ярко светеща точка, която се намира в средата на светлинен кръг с ниска яркост. Причината за това е, че част от електроните се отклоняват от своето праволинейно движение към екрана (Zacher и др, 2007; Cui и др., 2013). Отклонените електрони предизвикват явлението ореол.

Параметърът отношение сигнал/шум (S/N) на ЕОП оказва влияние на възможността за разпознаване на светлинният образ в режим на ниски нива на осветеност и високи нива на светлинен шум. Отношението сигнал/шум на ЕОП може да се представи чрез следната математическа зависимост (XR-5TM Technology Image Intensifier):

$$(1.14) \quad \frac{S}{N} = \frac{S_o - S_{bkg}}{\sqrt{N_o^2 - N_{bkg}^2}}$$

където: S е сигнал; N е шум; S_o постоянен ток сигнал изхода на спектралния анализатор; S_{bkg} постоянен ток сигнал на изхода на спектралния анализатор, съответстващ на тока на тъмно; N_o средноквадратично отклонение на шума на постоянно токовия сигнал; N_{bkg} средноквадратично отклонение на шума на тока на тъмно.

Стойността на отношението сигнал/шум зависи от дължината на вълната и от конкретния ЕОП, както е показано на Фиг. 1.18 (DEP, 2004). Отношението сигнал/шум може да бъде измерено и в реални условия, но стойността му ще бъде различна, в зависимост от наблюдавания обект и фона. Причината е, че различният пейзаж отразява по различен начин светлината.



Фиг. 1.18

Шумовият фактор (F) е параметър на ЕОП, който определя в каква степен се увеличават светлинните шумове, предизвикани от МКП и от тока на положително заредени йони. Положително заредените йони се движат в обратна посока на електроните и представляват свободни газови молекули, намиращи се в обема на ЕОП. Шумовият фактор е безразмерна величина, чиято стойност се движи в границите от 1.2 до 3.8, и може да бъде определен от следната зависимост (Bosch, 2000; Bosch & Boskma, 1994):

$$(1.15) \quad F = \frac{A_{ob} \cdot E \cdot S \cdot t_i}{Q \cdot (S/N)^2}$$

където: A_{ob} – площта на наблюдавания обект в m^2 ; E – входната осветеност $10^{-4} lx$; S – фотокатодната чувствителност в A/lm ; t_i – период на измерване в sec ; Q – заряд на електрона ($1.6 \cdot 10^{-19} C$); (S/N) – отношение сигнал/шум.

Температурната зависимост на тока на тъмно, мярка за който е еквивалентна фонова осветеност (ЕФО) има значителен ефект върху разстоянието на действие (Musla, 2007). Според (Разумовский, 2001), за да се промени с един порядък тока на тъмно, външната температура трябва да се покачи с 15°C за кислородно сребърен фотокатод, с 25°C за мултиалкални фотокатода и с 40°C за антимонов цезиев фотокатод. Други автори дават сведения за експерименти, при които е установено, че топлинната емисия на електрони от фотокатода води до прекомерно високи стойности на еквивалентната фонова осветеност (Zhu и др, 2013). ЕФО се удвоява на всяко повишение на температурата с 3-4 °C и намалява контраста при ниски нива на осветеност (Travis, 1996).

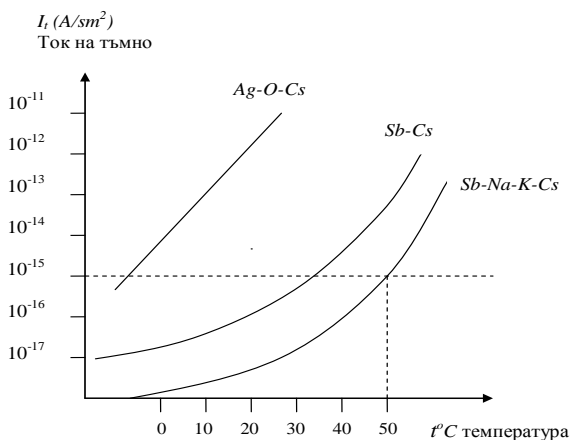
ГЛАВА II:

ОБОБЩЕН МЕТОД ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА РАЗСТОЯНИЕТО НА ДЕЙСТВИЕ НА УНВ С ОТЧИТАНЕ НА ТЕМПЕРАТУРАТА

Чрез метода на енергетичния разчет се получават различни математически изрази, чрез които е възможно изчисляването на разстоянието на действие на уредите за нощно виждане, но в тях в явен вид не присъства температурата като параметър. Предлага се обобщен метод за определяне на разстоянието на действие на УНВ с отчитане на температурата на околната среда. Този метод се базира на използване на въведения температурно зависим коефициент и различни зависимости за определяне на разстоянието на действие чрез енергетичен разчет. За целта е направен анализ на тока на тъмно на ЕОП, който се използва за изчисляване на интегралното ниво на светлинните шумове, определящи праговите възможности на уреда. Основните причини, които допринасят за големината на тока на тъмно (респективно за ЕФО), могат да се разделят условно на три основни групи в зависимост от начина, по който се осъществява влиянието на конкретния фактор върху тока на тъмно. В първата група попадат явления, които имат фундаментална физическа природа, във втората група попадат фактори, които имат механично-оптичен характер, а в третата група се намират специфични електрически параметри на ЕОП и технологични особености на реализацията на високоволтовото захранване. Към група 1 се отнасят: топлинна електронна емисия на фотокатода на ЕОП, вторичната електронна емисия на МКП, към втората група – оптичната обратна връзка през стъклени корпус на ЕОП, оптичната обратна връзка от екрана през МКП до фотокатода, наличието или отсъствието на междинен алуминиев филм между МКП и фотокатода (отнася се за трета генерация ЕОП), а в третата група попадат – обратния йонен ток от изхода на МКП към входа на МКП, потенциала между фотокатода и входа на МКП, локалните магнитни и електростатични полета. Осем от факторите са свързани с технологичните постижения на съвременната наука и могат да се обобщят както следва:

МКП, обратен йонен ток от входа на МКП към фотокатода, потенциал между фотокатода и входа на МКП, оптична обратна връзка през стъкления корпус на ЕОП, оптична обратна връзка от екрана през МКП до фотокатода, локални магнитни полета, електростатични полета, наличието или отсъствието на междинен алуминиев филм между фотокатода и МКП. Тези фактори са в състояние да увеличат тока на тъмно на ЕОП, като увеличават термичната емисия на електрони от фотокатода, които са основната причина за тока на тъмно. С напредването на технологичното развитие, влиянието на посочените осем може да бъде сведено до минимум или да изчезне напълно. За разлика от тях, термотокът от фотокатода, възникнал в резултат на топлинното движение на електрони, е физическо явление, което зависи от температурата. Най-голямо влияние върху параметъра еквивалентната фоновая осветеност, оказва спонтанната емисията на електрони от фотокатода, която е причинена от температурното движение на електроните в повърхностният слой на материала, от който е направен фотокатода на ЕОП.

Токът на тъмно е пряко свързан с праговата чувствителност на УНВ. ЕФО, която е мярка за тока на тъмно, се използва в изчисленията на енергетичния разчет, за да се определи интегралното ниво на светлинния шум, чрез което се определят праговите възможности на целия уред (Bender и др., 2004). В зависимост от типа на фотокатода и от технологията, по която е изработен, токът на тъмно при една и съща температура за различните фотокатоди е различен (Разумовский, 2001). Независимо от тази количествена разлика, в качествено отношение всички фотокатоди увеличават тока на тъмно заедно с увеличаване на температурата, както е показано на Фиг. 2.2 (Разумовский, 2001).



Фиг. 2.2. Зависимост ток на тъмно от температурата

Най-чувствителен към температурните промени е фотокатода на ЕОП. Параметърът ЕФО може да бъде използван като мярка, показваща количеството на термоелектроните, при отсъствие на полезен светлинен сигнал. Високите стойности на ЕФО са причина за по-нисък контраст на изображението при ниска осветеност и намаляване на разстоянието на действие. Това влияе най-забележимо при наблюдение на предмети на фона на небето, които имат много слаба осветеност и в среда, където нивото на осветеност е най-ниска. Нивото на ЕФО определя най-ниското светлинно ниво, при което един образ може да бъде открит. Смята се, че топлинната емисия на електрон от фотокатода води до прекомерно увеличение на ЕФО (Zhu, и др., 2013). Ето защо параметърът ЕФО се използва в изчисленията на енергетичния разчет, за да представи интегралното прагово (минимално) ниво на полезния светлинен сигнал (Φ) и светлинния шум. Основната енергетична зависимост, определяща минималното отношение сигнал/шум може да се представи по следният начин (Елизаренко и др., 1981):

$$(2.11) \quad \Phi_{ex} \geq \mu \Phi_{np}$$

където: μ – необходимо минимално отношение сигнал/шум, гарантиращо нормалната работа на уреда; Φ_{ex} е входящият светлинен поток; Φ_{np} е праговата чувствителност на уреда, при която уредът може да различи полезния сигнал.

Светлинният поток Φ , попадащ от различни посоки над повърхността A се определя чрез осветеността E :

$$(2.12) \quad E = \Phi/A$$

Когато източникът на светлина е точков излъчвател, осветеността на приемника се представя по следният начин (Gaussorgues, 1977):

$$(2.13) \quad E = \frac{I \cdot \cos \omega}{R^2}$$

където: I е интензитета на светлината излъчвана от точков източник, R е разстоянието между точковия източник на светлина и приемника на светлинна енергия; ω е пространственият ъгъл, под който се наблюдава обекта.

В случай на точков излъчвател, пространственият ъгъл, при които се наблюдава обекта, е достатъчно тесен и поради това може да се приеме, че $\cos(\omega) = I$, и следователно:

$$(2.14) \quad E = I/R^2$$

От (2.12) и от (2.14) следва че: $(\Phi/A) = I/R^2$ и за светлинния поток се получава следният израз:

$$(2.16) \quad \Phi_{ex} = \frac{I_{ex} \cdot A_{ex}}{R^2}$$

където: Φ_{ex} е светлинен поток, падащ върху фотокатода на ЕОП, I_{ex} е интензитетът на точковия източник на светлина, A_{ex} е площта на входния отвор, R е разстояние между източника на светлина и приемника.

Необходимо е да се определи влиянието на параметъра ЕФО (представен в техническата спецификация на ЕОП) върху параметрите на УНВ. ЕФО е в тясна зависимост с праговата чувствителност на уреда, и позволява да се изчисли праговата чувствителност Φ_{np} .

В практиката се използва факта, че за нормална работа на устройството, полезният сигнал постъпващ на входа на уреда Φ_{ex} , трябва да е от три до десет пъти по-голям от праговата чувствителност на уреда Φ_{np} . Изборът на конкретна стойност за μ зависи от опита на специалиста и от предназначението на уреда. Използвайки (2.11) и (2.16) може да се запише зависимостта между излъчването на обекта, прага на чувствителност на устройството и разстоянието на действие, като:

$$(2.18) \quad R \geq \sqrt{\frac{I_{ex} \cdot A_{ex}}{\mu \cdot \Phi_{np}}}$$

Чрез тази зависимост се изчислява разстоянието на действие, без да се отчита затихването на светлинната енергия, разпространяваща от източника до фотокатода. Поглъщането на светлината в дадено вещество се определя от закона на Бугер-Ламберт. Когато светлинен сноп с интензитет I_0 измине разстояние d в оптична среда, този интензитет намалява до стойност I :

$$(2.19) \quad I = I_0 \cdot e^{-kd}$$

където: k е коефициент на поглъщане на оптичната среда, през която преминава светлината.

Следователно, пропускането на оптичната среда, през която преминава светлината, може да бъде изразено като:

$$(2.20) \quad \tau_o = I/I_{ex}$$

където: I – интензитет на светлината, излъчван от наблюдавания обект; I_{ex} – интензитет на светлината, попадащ върху светлинния приемник.

В контекста на изследвания проблем, отразената от наблюдавания обект светлина преминава първо през атмосферата, след това през оптичната система на обектива на УНВ и след това попада върху фотокатода на ЕОП. Като се вземат предвид тези съображения и получените зависимости (2.18) и (2.20), то за разстоянието на действие на УНВ се получава следния математически израз:

$$(2.21) \quad R \geq \sqrt{\frac{I \cdot \tau_a \cdot \tau_o \cdot A_{ex}}{\mu \cdot \Phi_{np}}}$$

където: τ_a – пропускане на атмосферата (безразмерно), τ_o – пропускането на обектива (безразмерно).

Дефиниране на температурно зависим коефициент

Повишаването на температурата на околната среда води до повишаване на температурата на целия уред. Механичните и оптичните детайли, на добре оразмерен уред, са устойчиви на такова въздействие и на практика не променят своите качествени характеристики. Най-уязвим в това отношение е ЕОП, при който се наблюдава явлението ток на тъмно. Същността на явлението се състои във факта, че в работно положение екрана на ЕОП свети, когато върху фотокатода отсъства светлина. Това специфично присветване (т. нар. сцинтилации) е типичен пример за светлинен шум. Когато на входа на ЕОП се подаде слаб светлинен сигнал, сцинтилациите се смесват със светлинния образ на наблюдавания обект. В резултат от това смесване, слабият светлинен образ на обекта става трудно различим. Стандартният параметър за представяне на това явление е еквивалентната фонова осветеност. Това е параметър, който дава информация за количеството на електроните, които са достигнали до екрана на ЕОП и които са причина за появата на сцинтилации. Тези електрони не са се появили в резултат на въздействието на светлинен сигнал върху фотокатода и не представляват част от електронния образ и следователно те не носят полезна информация за наблюдавания обект, а напротив – внасят шум в полезния светлинен сигнал. С увеличение на температурата се увеличава количеството на т. нар. термични електрони, което води до увеличаване на шума. В резултат на увеличаването на шума на ЕОП, разстоянието на действие на нощният уред намалява (Разумовский, 2004). Този факт е свързан с физическата същност на явлението фотоэффект, за който опитно са установени следните три закона: 1) При осветяване с монохроматична светлина броят на отделените за единица време от повърхността на катода електрони е пропорционален на интензитета на светлината; 2) Светлина с дължина на вълната над една определена за дадения катод дължина λ_{max} не предизвиква фотоэффект. λ_{max} се нарича червена граница на фотоэффекта за дадения катод; 3) Максималната кинетична енергия, с която се отделят електроните от катода, не зависи от интензитета на светлината, а зависи линейно само от нейната честота. От друга страна, от уравнението на Айнщайн за външния фотоэффект следва, че електронът ще се отдели от повърхността на катода само когато кинетичната енергия на падащия светлинен квант е по-голяма от отделителната работа. С увеличението на температурата се повишава и кинетичната енергия на електроните на фотокатода. Това води до повишаване на количеството термични електрони, които са причина за повишаване на шума в светлинния образ, което от своя страна влошава отношението сигнал/шум и води до намаляване на разстоянието на действие на УНВ. За да бъде възможно определянето на разстоянието на действие на УНВ в зависимост от

температурата, се предлага въвеждане на специфичен температурно зависим коефициент K_T . По дефиниция, този коефициент се представя като:

$$(2.26) \quad K_T = f(T)$$

където: T е температура, а функцията $f(T)$ отразява закона, по който се променя K_T в зависимост от температурата.

Стойностите на този температурен коефициент K_T са различни за различните видове фотокатоди при дадена температура. Приема се, че с увеличаване на температурата, температурният коефициент K_T намалява, т.е. K_T се апроксимира като обратно пропорционален на температурата:

$$(2.27) \quad K_T \approx T^{-1}$$

По правило, параметрите на ЕОП се измерват при предварително зададена и известна еталонна температура, спрямо която се отчитат измененията на тези параметри при повишаване на температурата, т.е. приема се, че при еталонната температура $K_T=1$.

Като вземем предвид (2.21) и (2.26) може да се изрази разстоянието на действие като функция на температурата по следният начин:

$$(2.28) \quad R_t = K_T \cdot \sqrt{\frac{A_{ex} \cdot \tau_a \cdot \tau_o \cdot I}{\mu \cdot \Phi_{np}}}$$

За да се определи функционалната зависимост на K_T от температурата се провеждат съответни експериментални изследвания. За целта е използван ЕОП, произведен през 2005 г. от фирмата DEP. Техническите спецификации на този ЕОП задават гранични стойности на работната температура, които са в интервала от минус 45°C, до плюс 50°C. Опитно е установено, че параметрите на ЕОП се влошават с увеличаване на температурата и се подобряват с намаляване на температурата. Съгласно възприетия военен стандарт MIL-STD-1858, параметрите на ЕОП се измерват в лабораторни условия при температура на околната среда 21°C. Поради това за долна граница на изследвания температурен диапазон е приета стойността $T_{min}=21$ °C. Като горна граница за експерименталните изследвания е приета стойността $T_{max}=+49$ °C.

Основавайки се на стандарта MIL-STD-1858 и факта, че параметрите на ЕОП се измерват при температура 21°C следва, че математическите изрази, определящи разстоянието на действие, ще са коректни при температура 21°C и при тази температура K_T ще има стойност равна на единица. От горните разсъждения следва, че разстоянието на действие при температура, по-висока от 21 °C може да се определи чрез въведения температурно-зависим коефициент като:

$$(2.31) \quad R_t = K_T R_{21}$$

където: R_t е разстоянието на действие при температура, по-висока от 21°C, R_{21} е разстоянието при температура 21°C.

Като се използват (2.28) и (2.31) определянето на стойността на K_T при температура, различна от еталонната може да се изрази като:

$$(2.32) \quad K_T = \frac{R_t}{R_{21}} = R_t \sqrt{\frac{\mu \cdot \Phi_{np} \cdot \phi_k}{A_{ex} \cdot \tau_a \cdot \tau_o \cdot I}}$$

където: K_T е температурно-зависим коефициент, R_t е разстояние на действие при температура по-висока от 21°C, R_{21} е разстояние на действие при температура 21°C.

Стойността на разстоянието на действие R_{21} може да се изчисли от израза (2.21). За да се определят стойностите на температурно зависимия коефициент чрез (2.32) е необходимо да се проведат експерименти за определяне на разстоянието на действие R_t при различни температури. Получените стойности на K_T се използват за да се определи вида на функционалната зависимост на K_T от температурата. След определянето на тази зависимост на K_T от температурата, този коефициент може да се използва аналогично и с други изрази за изчисляване на разстоянието на действие при температури, по-високи от еталонната.

Обобщен метод за определяне на разстоянието на действие на УНВ с отчитане на температурата

Чрез метода на енергетичния разчет се получават различни математически изрази, чрез които е възможно изчисляването на разстоянието на действие на УНВ, но в тях в явен вид не присъства температурата като параметър. Следвайки последователността на енергетичния разчет за изчисляване на разстоянието на действие на УНВ (Елизаренко и др 1981; Разумовский, 2001; Тымкул, 2001) разстоянието на действие се определя като:

$$(2.47) \quad R \geq \sqrt{\frac{A_{ex} \cdot A_{об} \cdot \tau_o \cdot \tau_a \cdot E \cdot S \cdot K}{\pi \cdot \mu \cdot \Phi_{np}}} \text{ [m]}$$

където: E – естествена нощна осветеност в lx; S – интегрална чувствителност в A/lm; K – контраст между наблюдавания обект и фона; $\pi = 3.14$; μ – необходимо минимално отношение сигнал/шум, гарантиращо нормалната работа на уреда; Φ_{np} – прагова чувствителност на фотокатода на ЕОП в lm.

В тази зависимост участват почти всички външни условия, при които се реализира наблюдението. Като се вземе предвид (2.31) и (2.47), може да се запише следната зависимост за определяне разстоянието на действие на УНВ отчитайки и околната температура:

$$(2.48) \quad R = K_T \sqrt{\frac{A_{ex} \cdot A_{об} \cdot \tau_o \cdot \tau_a \cdot E \cdot S \cdot K}{\pi \cdot \mu \cdot \Phi_{np}}}$$

В така получения израз (2.48), разстоянието на действие се представя като функцията от различни външни условия за наблюдение, включително и температурата на околната среда.

Друг математически израз за определяне разстоянието на действие на очила за нощно виждане (Гоев, 2002) е:

$$(2.49) \quad R = 3.10^5 \sqrt{\frac{\tau_o \tau_a D_{ex} SEK}{\mu \gamma}} [m]$$

където: D_{ex} – диаметър на входната зеница на обектива в m ; γ – разделителната способност в rad .

В тази формула за определяне на разстоянието на действие участва разделителната способност на уреда, но отново не се взема предвид влиянието на температурата. Вземайки предвид (2.31) и (2.49), може да се определи R , като функция на температурата на околната среда:

$$(2.50) \quad R_t = K_T . 3.10^5 \sqrt{\frac{\tau_o \tau_a D_{ex} SEK}{\mu \gamma}}$$

Друг възможен подход за теоретично определяне на разстоянието на действие е предложен в (Borissova и Mustakerov, 2006) чрез използване на параметрите на отделните елементи и отчитане на външните условия на наблюдение:

$$(2.51) \quad R = \sqrt{\frac{0.07 D_{ex} f'_{об} \tau_o \tau_a S \delta_{ЕОП} E A_{об} K}{\mu \Phi_{пр.фк}}} [m]$$

където: $f'_{об}$ – фокусно разстояние на обектива в mm ; $\delta_{ЕОП}$ – разделителната способност на ЕОП в lp/mm .

Отчитайки зависимостите (2.31) и (2.51) може да се запише следната модификация за определяне на разстоянието на действие с отчитане на температурата като:

$$(2.52) \quad R = K_T \cdot \sqrt{\frac{0.07 D_{ex} f'_{об} \tau_o \tau_a S \delta_{ЕОП} E A_{об} K}{\mu \Phi_{пр.фк}}}$$

Така получената зависимост (2.52) определя връзката между отделните параметри на съставните елементи (модули) на УНВ и едновременно с това отчита всички външни условия на наблюдение, включително и температурата. Тъй като тази зависимост взема предвид всички външни условия на наблюдение и техническите характеристики на УНВ, то тя може да бъде използвана за разработването на методология за определяне на външните условия, съвместими с техническите спецификации на УНВ.

Методология за определяне на различни комбинации на външни условия на наблюдение, вкл. и температурата, съвместими с техническите спецификации на УНВ

Разработената методология се базира на израза (2.52), определящ разстоянието на действие на УНВ и отчитащ температурата на околната среда. При това се взема предвид, че пропускането на атмосферата варира в тесен интервал от 0.69 до 0.804 (Ohkawara, 2012) и може да се разглежда като постоянна величина. Зависимостта (2.52) може да се използва за намиране на различни комбинации от външни условия за наблюдение, съответстващи на дадено разстояние на действие на уреда. Минималната стойност на естествената нощна осветеност и максималната стойност на контраста между обекта и фона, и обратно, представляват две гранични условия за конкретно разстояние на действие. Тези две гранични стойности за осветеността и контраста при определен обект за наблюдение и разстояние на действие могат да бъдат определени с помощта на решаване на съответни многокритериални задачи. Един граничен случай съответства на максимална естествена нощна осветеност и минимален контраст между наблюдавания обект и фона, което може да бъде изразено чрез формулиране на Задача 1а:

$$(2.54) \quad \begin{cases} \min K = \left(\frac{R^2 \cdot \mu \cdot \Phi_{\min} \cdot T^2}{0.07 \cdot D_{ex} \cdot f_{ob} \cdot \tau_o \cdot \tau_a \cdot S_{\Sigma} \cdot \delta \cdot E \cdot A_{target}} \right) \\ \max E = \left(\frac{R^2 \cdot \mu \cdot \Phi_{\min} \cdot T^2}{0.07 \cdot D_{ex} \cdot f_{ob} \cdot \tau_o \cdot \tau_a \cdot S_{\Sigma} \cdot \delta \cdot K \cdot A_{target}} \right) \end{cases}$$

при ограничения:

$$(2.55) \quad E^l \leq E \leq E^u$$

$$(2.56) \quad K^l \leq K \leq K^u$$

$$(2.57) \quad A^l \leq A_{target} \leq A^u$$

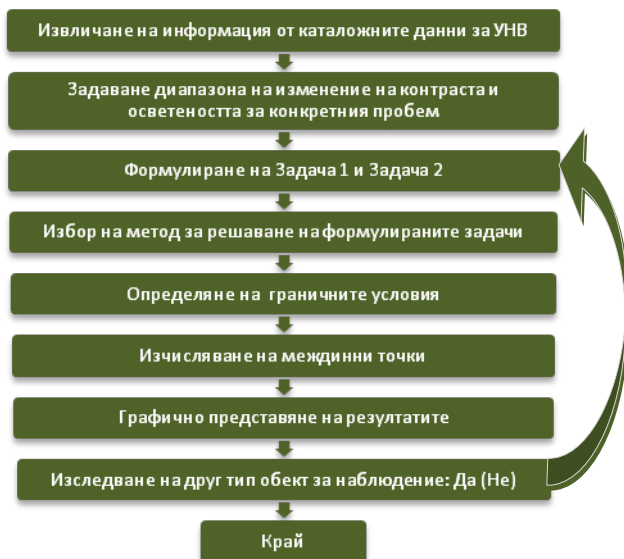
където с E^u , K^u , A^u и E^l , K^l , A^l са означени горните и долните граници на естествената нощна осветеност, контраста и редуцираната площ на наблюдавания обект; R е зададеното каталожно разстояние в метри; μ ; $\Phi_{min,ph}$, D_{in} , f_{ob} , τ_o , S , и E са константи, зависещи от конкретния уред.

Другият граничен случай съответства на минимална естествена нощна осветеност и максимален контраст между наблюдавания обект и фона, изразено чрез формулирана Задача 2а:

$$(2.58) \quad \begin{cases} \max K = \left(\frac{R^2 \cdot \mu \cdot \Phi_{\min} \cdot T^2}{0.07 \cdot D_{ex} \cdot f_{ob} \cdot \tau_o \cdot \tau_a \cdot S_{\Sigma} \cdot \delta \cdot E \cdot A_{target}} \right) \\ \min E = \left(\frac{R^2 \cdot \mu \cdot \Phi_{\min} \cdot T^2}{0.07 \cdot D_{ex} \cdot f_{ob} \cdot \tau_o \cdot \tau_a \cdot S_{\Sigma} \cdot \delta \cdot K \cdot A_{target}} \right) \end{cases}$$

при ограничения (2.55) – (2.57).

Така формулираните задачи могат да бъдат интегрирани като етап на методологията за определяне на различни комбинации от външни условия, при които зададеният УНВ постига същото разстояние на действие, като това в неговите каталожни спецификации. Етапите и последователността на изпълнение на предложената методология са показани на Фиг. 2.7 (Borissova, Mustakerov, Bantutov, 2014).



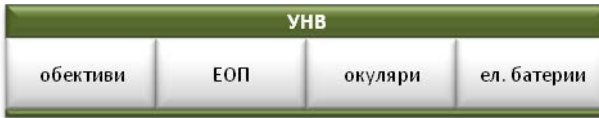
Фиг. 2.7. Етапи на предложената методология

Първият етап от методологията включва извличане на информация за параметрите на УНВ от каталожните данни. На следващия етап се определят допустимите стойности (горни и долни граници) на нощната осветеност и контраста между наблюдавания обект и фона. Определя се типа на наблюдавания обект, например – човешка фигура в цял ръст, джип, танк и т.н. След това се формулира Задача 1 и Задача 2 и се избира метод за решаване. За по-голяма прецизност при определяне на графиката може да бъдат изчислени една или повече междинни точки, след което се изчертава самата графика. При необходимост от определяне на диапазон на изменение на външните условия за различен обект на наблюдение, процедурата се повтаря.

Описаната методология позволява да бъдат определени различни комбинации на външните условия за наблюдение, съответстващи на параметрите на конкретен УНВ.

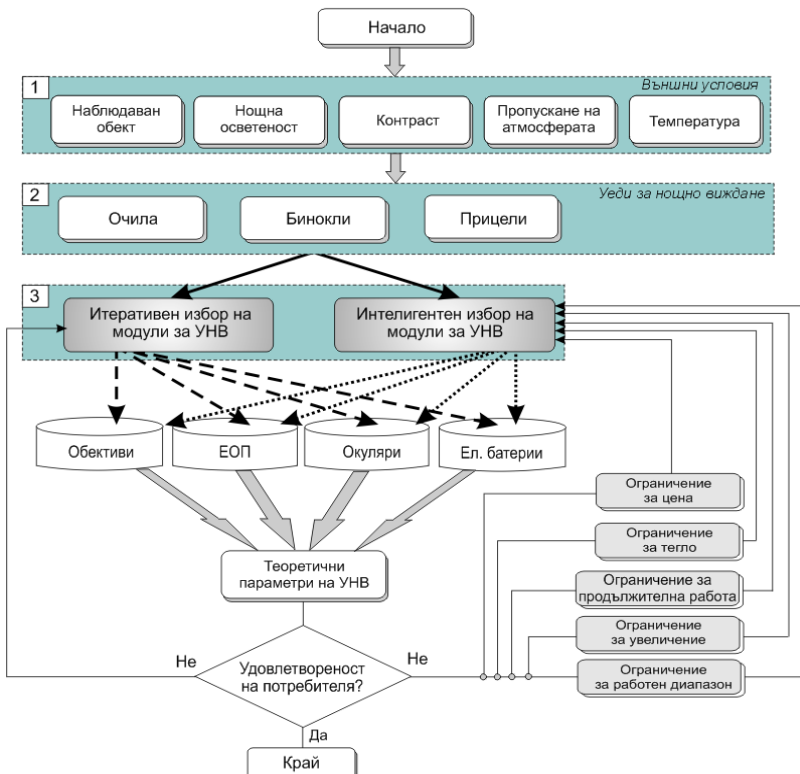
Алгоритъм за проектиране на УНВ, позволяващ оценка на параметрите на проектираните уреди с отчитане на температурата

Основните модули на пасивни уреди за нощно виждане могат да бъдат редуцирани до обективи, ЕОП, окуляри и електрическо захранване, както е показано на Фиг. 2.8. (Borissova, Mustakerov, Bantutov, 2013).



Фиг. 2.8. Основни модули на УНВ

Предложен е алгоритъм за проектиране на УНВ, позволяващ предварителна теоретична оценка на параметрите на УНВ с отчитане на температурата на околната среда. Алгоритъмът започва със задаване на външни условия на наблюдение (Фиг. 2.9).



Фиг. 2.9. Блок-схема на предложения алгоритъм

На втория етап се избира типа на проектираните УНВ (очила, прицел, бинокъл). Третият етап включва двата клона на алгоритъма – итеративен или интелигентен избор на модули. Итеративният клон на алгоритъма позволява на потребителя да направи собствен избор на съвместими модули за избрания тип устройство и да определи параметрите на проектирания уред като цяло, вземайки предвид определените външни условия. Ако потребителят не е доволен от изчислените параметри на проектираното устройство, той може да избере други модули. Вторият клон на алгоритъма позволява потребителят да зададе някои предварителни граници за параметрите на проектираното устройство. Основната идея на този интелигентен избор на модули е да се намери такава допустима комбинация от модули, която най-добре да удовлетворява зададените от потребителя изисквания.

Чрез описания алгоритъм за оценка на параметрите на проектираните УНВ могат да бъдат симулирани различни процеси на проектиране, като се вземат предвид зададените външни условия на наблюдение. Едновременно с това е възможно да бъдат зададени и някои предварителни изисквания, на които да отговаря проектираното устройство.

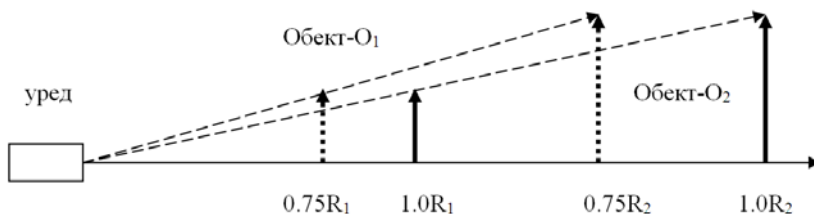
ГЛАВА III.

РЕЗУЛТАТИ ОТ ПРОВЕДЕНИТЕ ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

В тази глава са описани проведените експериментални изследвания за определяне влиянието на температурата върху разстоянието на действие на УНВ. Представени са резултати от експерименталното измерване на разстояние на действие на УНВ при различни температури на околната среда и при различни нива на осветеност. Резултатите от експерименталните изследвания са използвани за определяне на аналитична зависимост на въведения температурен коефициент от температурата. Предложената методология за определяне диапазоните на изменение на външните условия, при които уредът има едно и също разстояние на действие е приложена за два типа УНВ (очила и прицел) и са описани получените резултати. Описан е прототип на уеб-базирано приложение за предварителна оценка на параметрите на проектираните УНВ в зависимост от външните условия на наблюдение.

Описание на проведените експериментални изследвания за влияние на температурата върху параметрите на УНВ

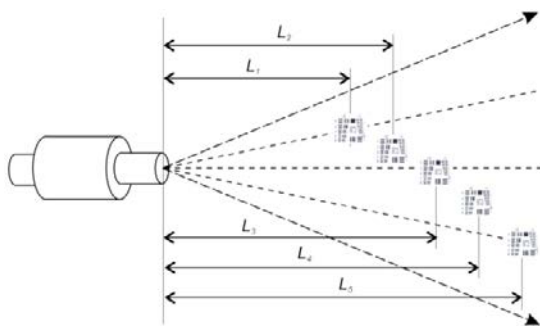
На фиг. 31. е показан принципът, по който се извършва изследването на разстоянието на действие в лабораторни условия.



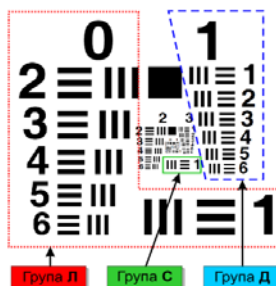
Фиг.3.1. Процентно намаляване разстоянието на действие

Реперните вектори, показани с прекъсната линия, се наблюдават под еднакъв зрителен ъгъл и се намират на разстояния $0.75R$. Процентното намаляване на разстоянието на действие на УНВ по отношение на двата обекта е еднакво. Това означава, че са в сила законите на геометричната оптика, и е възможно изследването на разстояние на действие в лабораторни условия. Получените резултати ще бъдат верни за полеви изпитания.

В зрителното поле на уреда за нощно виждане се наблюдават едновременно пет еднакви мири (двумерни обекти с периодична структура). Мирите са наредени една зад друга на различни разстояния от обектива без да се припокриват в зрителното поле на обектива. Визирната ос на всяка мира съдържа определен ъгъл спрямо централната оптична ос на обектива, както е показано на Фиг. 3.8.



Фиг.3.8. Оптична мира и групи елементи



Фиг.3.9. Оптична мира и групи елементи

На Фиг. 3.9 са показани елементите от оптичната мира, които са използвани при експерименталните изследвания. Елементите в група А са с ниска пространствена честота, в група Д елементите са с по-висока пространствената честота, в група С има един елемент с най-висока пространствена честота.

На Фиг. 3.10. са показани снимки на наблюдаваните пет мири (а) при ниски нива на осветеност през УНВ ПРИЛЕП-М и (б) при нормална осветеност без уред.



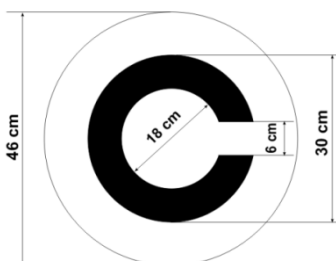
Фиг. 3.10. Наблюдаване на разположените 5 мири със и без уред

Уредът, с който са проведените експерименталните изследвания, е нощен монокуляр "ПРИЛЕП-М", със защитени авторски права (Патент 7826, 2013). Външният вид на използвания уред е показан на Фиг. 3.11.



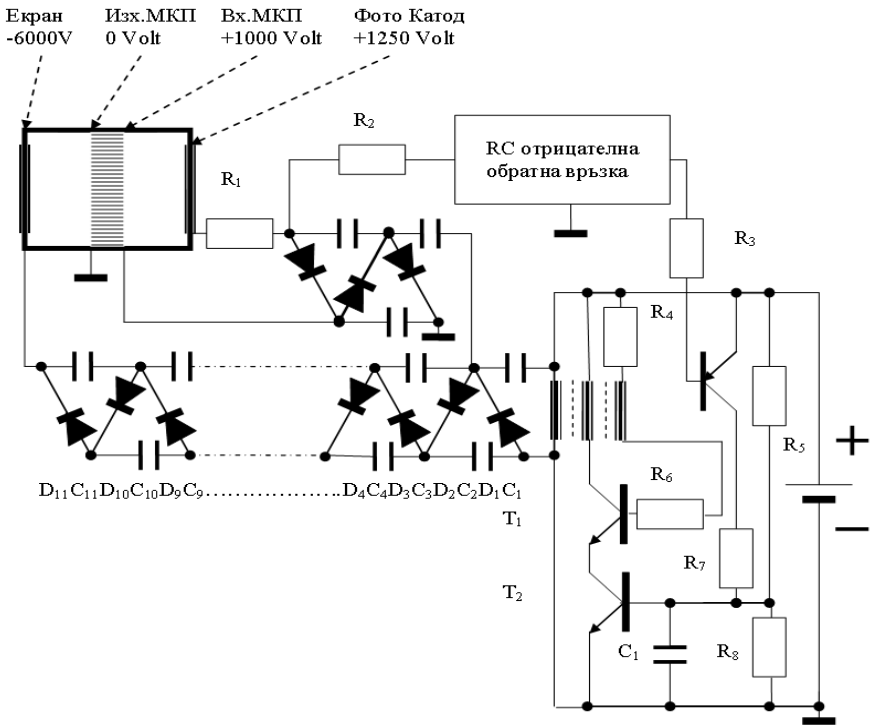
Фиг. 3.11. Нощен монокуляр "ПРИЛЕП-М"

Експерименталните измервания са проведени в лабораторни условия в помещение със затъмнени прозорци. Измереното ниво на осветеност с помощта на кръга на Ландолт е 10^{-7} lx. Методът на това измерване е субективен, но достатъчно точен за целите на експеримента.



Фиг. 3.15. Размери на кръга на Ландолт

За нормалната работа на електронно-оптичния преобразувател са необходими и реализирани три захранващи напрежения от 5000 до 6000 волта, от 800 до 1100 волта, и от 180 до 200 волта, които се получават чрез високоволтovo малогабаритно токозахранващо устройство, което е специално разработено за целите на научното изследване, а неговата ел. схема е показана на Фиг. 3.13.



Фиг.3.13. Високоволтowo малогабаритно токозахранващо устройство

Уредът за нощно виждане се поставя в термична камера с нагревател, изработена от пенополиуретан с дебелина на стените 2 см и размери: височина от 210 mm; ширина 140 mm и дължина 210 mm. Направени са два отвора в термичната камера, така че през тях да се показва окуляра и обектива на нощния уред, както е показано на Фиг. 3.17.



Фиг. 3.17. Термична камера с УНВ Прилеп М



Фиг. 3.19. Термична камера с термометър

Непосредствено над нагревателя се поставя уреда за нощно виждане. По този начин се осигурява достатъчно добра конвекция на нагретият въздух, който се движи вертикално от нагревателя към УНВ. Целта е постигане на термодинамично равновесие между произвежданото количество топлина и топлината, която напуска термичната камера. В този случай, температурата на въздуха в затвореният обем остава постоянна величина. Промените на температурата и установяването на термодинамичното равновесие се измерват с помощта на лабораторен живачен термометър.

Резултати от експериментално измерване на разстоянието на действие на УНВ ПРИЛЕП-М

Първоначално за провеждането на експерименталните изследвания бе предвидено използването на три мири, разположени на различно разстояние една от друга. В процеса на изследване бе установено, че за по-прецизно определяне на зависимостта на разстоянието на действие от температурата е необходимо добавянето на още 2 мири. Поради това получените резултати са описаните като резултати от използването на 3 и на 5 мири.

Резултати от измервания, проведени с три мири

За получаването на тези резултати е използвана опитната постановка с три мири, показана на Фиг. 3.8. Наблюдаваните три мири са разположени на разстояния $R_1 = 2.5 \text{ m}$, $R_2 = 3.75 \text{ m}$ и $R_3 = 5 \text{ m}$ съответно. Цел на експеримента е определяне на разстоянието на действие при различни осветености и при различни температури. Измерванията са проведени в продължение на 28 работни дни, в различни части на денонощието. Общият брой на получените резултати от измервания с три мири, може да бъде структуриран в 56 различни таблици. Отчетени са характерните особености на наблюдението, свързани с психологически и физиологически състояния на субекта, които оказват влияние върху експериментите и резултатите на този тип оптически измервания. Например, при една и съща осветеност на наблюдавания обект, но в различни части на денонощието (сутрин, след обяд или късно вечер), в резултат на настъпила умора в наблюдателя, близките по стойност показания търпят отклонения, които достигат до 10 %. При обработката на резултатите тези обстоятелства са взети предвид. Общото количество на единичните измервания, при които е получен конкретен актуален резултат е 3024.

В Таблица 3.3 и Таблица 3.4 са представени резултатите от измерванията при достигнато температурно равновесие от 20.5 °C, 28 °C, 32 °C, 37.5 °C, 42 °C и 49 °C и съответния различим елемент от наблюдаваната мира.

Таблица 3.3. Резултати от измерванията проведени на 12.02.2014

12.02.2014		12 h 17 min T = 20.5 °C			14 h 35 min T = 28 °C			16 h 56 min T = 32 °C			
No	V	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	
1	30	01л	-	-	01л	-	-	01л-	-	-	
2	40	04л	01л	-	04л	01л	-	04л	01л	-	
3	50	06л	04л	-	06л	04л	-	06л	03л	-	
4	60	11д	05л	03л	11д	05л	03л	11д	05л	02л	
5	70	13д	06л	04л	13д	06л	04л	13д	06л	04л	
6	80	13д	06л	04л	13д	06л	04л	13д	06л	04л	
7	90	14д	11д	05л	14д	11д	05л	14д	11д	05л	
8	100	15д	12д	05л	15д	12д	05л	15д	12д	05л	
9	110	16д	12д	05л	16д	12д	05л	16д	12д	05л	
10	120	16д	13д	06л	16д	13д	06л	16д	13д	06л	
11	130	21с	14д	06л	21с	14д	06л	21с	14д	06л	
12	140	21с	14д	06л	21с	14д	06л	21с	14д	06л	
13	150	21с	14д	06л	21с	14д	06л	21с	14д	06л	
14	160	21с	14д	06л	21с	14д	06л	21с	14д	06л	
15	170	21с	15д	11д	21с	15д	11д	21с	15д	11д	
16	180	21с	15д	11д	21с	15д	11д	21с	15д	11д	
17	200	21с	15д	11д	21с	15д	11д	21с	15д	11д	
18	210	21с	15д	11д	21с	15д	11д	21с	15д	11д	
12ч.49мин. вкл. 10 в. нагр				15ч.11мин. вкл. 12 в. нагр				17ч.28 мин. вкл. 15 в. нагр.			

Таблица 3.4. Резултати от измерванията проведени на 12.02.2014

12.02.2014		18ч.55мин. T°C=37.5			20ч.42мин. T°C=42			22ч.35мин. T°C=49			
No	V	M1	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3	
1	30	01л	-	-	01л	-	-	-	-	-	
2	40	04л	01л	-	03л	-	-	03л	-	-	
3	50	11д	03л	-	11д	02л	-	11л	02л	-	
4	60	11д	04л	02л	11д	04л	02л	11д	04л	01л	
5	70	13д	05л	03л	13д	05л	03л	13д	05л	02л	
6	80	13д	06л	04л	13д	06л	04л	13д	06л	03л	
7	90	14д	11д	04л	14д	11д	04л	14д	11д	04л	
8	100	15д	12д	05л	15д	12д	05л	15д	12д	05л	
9	110	16д	12д	05л	16д	12д	05л	16д	12д	05л	
10	120	16д	13д	06л	16д	13д	06л	16д	13д	06л	
11	130	21с	14д	06л	21с	14д	06л	21с	14д	06л	
12	140	21с	14д	06л	21с	14д	06л	21с	14д	06л	
13	150	21с	14д	06л	21с	14д	06л	21с	14д	06л	
14	160	21с	14д	06л	21с	14д	06л	21с	14д	06л	
15	170	21с	15д	11д	21с	15д	11д	21с	15д	11д	
16	180	21с	15д	11д	21с	15д	11д	21с	15д	11д	
17	200	21с	15д	11д	21с	15д	11д	21с	15д	11д	
18	210	21с	15д	11д	21с	15д	11д	21с	15д	11д	
19ч. 21мин. вкл. 17 в. нагр.				21ч.14мин. вкл.19в. нагр				23ч.07мин. T°C=48,5.			

От получените резултатите се забелязват три закономерности:

- с увеличаване на осветеността при една и съща температура, разстоянието на действие се увеличава.
- с увеличаване на температурата, разстоянието на действие намалява.

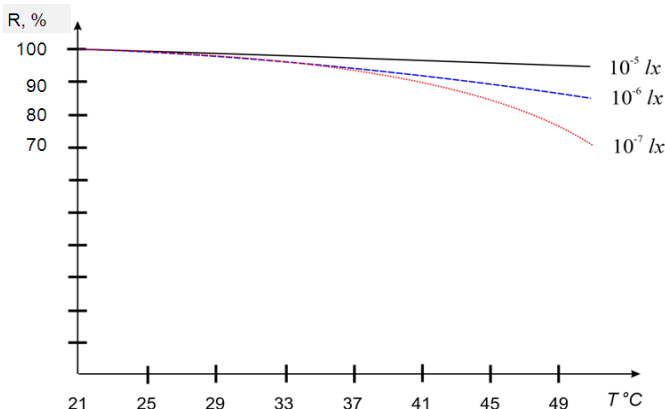
Тези две закономерности са в сила за всички извършени измервания и са представени в първите четири реда на всяка таблица. Третата закономерност се забелязва при нарастваща осветеност (в пети ред на всяка таблица):

- резултатите се запазват постоянни до достигане на максималните нива на осветеност.

Тези три закономерности, без никакви изключения са в сила за всички извършени измервания. Получените резултати са в съответствие с теоретичният анализ. Съществува ниво на осветеност, при което входящият полезен светлинен сигнал е десетки и стотици пъти по силен от топлинните шумове на фотокатода. Това е прагово ниво на осветеност, при което увеличението на температурата не оказва влияние върху разстоянието на действие. Този режим се нарича „режим на работа при висока осветеност“.

На Фиг. 3.20 е в графичен вид е показано как се изменя разстоянието на действие при повишаване на температурата при три различни нива на осветеност.

Анализът на резултатите от извършените експерименти с три мири показва необходимост от детайлно изследване на разстоянието на действие при увеличаване на температурата, когато ЕОП е в „режим на работа при ниски нива на постоянна осветеност“ – от порядъка на $10^{-7} lx$. Това налага промяна на опитната постановка като се добавят още 2 мири.



Фиг. 3.20. Зависимост на разстоянието на действие на уреда от температурата

Резултати от измервания, проведени с пет мири

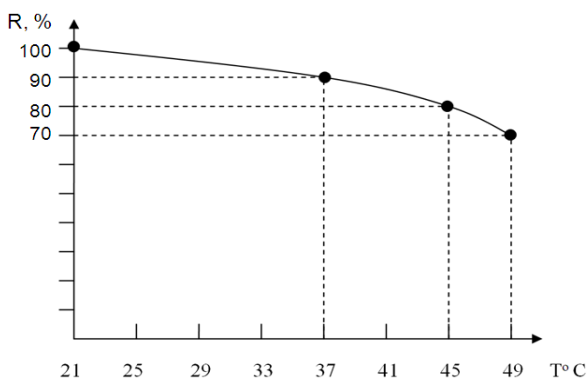
Опитната постановка с 5 мири е композирана като всяка следваща мира се намира на разстояние, което е с 10 % по-близо до уреда (Фиг. 3.8). Наблюдението се извършва върху един и същ елемент на различните мири.

В Таблица 3.9 са показани експерименталните резултати на зависимостите между температура, пореден номер на мира, в която се наблюдава предварително определен елемент и процентното намаляване разстоянието на действие.

Таблица 3.9. Зависимост му температура и наблюдаван елемент.

Мири \ Температура	21	25	29	33	37	41	45	49
M1	X	X	X	X	X	X	X	X
M2	X	X	X	X	X	X	X	X
M3	X	X	X	X	X	X	X	O
M4	X	X	X	X	X	X	O	O
M5	X	X	X	X	O	O	O	O
%	100	99	97	95	90	85	80	70

В първата колона от Таблица 3.9 са наблюдаваните мири. В първият ред са стойностите на нарастващата температура, със стъпка 4 градуса. В последният ред е процентното намаляване на разстоянието на действие. На Фиг. 3.22 в графичен вид са показани апроксимираните резултати от експерименталното измерване разстоянието на действие при различни температури и осветеност от 10^{-7} lx . Формата на графиката показва че разстоянието намалява нелинейно с увеличение на температурата.



Фиг. 3.22. Апроксимирани резултати от измервания при осветеност 10^{-7} lx .

Токът на тъмно се удвоява при увеличаване на температурата с стойност от 3 до 5 градуса. В общият случай, експериментите показват, че тази зависимост е експоненциална и представлява квадратична функция. Това се потвърждава и от резултатите, описани в (Zhu, и др., 2013; Bender и др., 2004). От графиката се вижда, че същественото намаляване на разстоянието на действие се наблюдава при температури по високи от +42 °С.

Определяне на функцията на изменение на температурния коефициент K_T чрез получените експерименталните резултати

Стойностите за K_T се изчисляват като се използва получената формула (2.31) и експерименталните резултати от измерванията за разстоянието на действие. Определените стойности за K_T на база на проведените експерименти при различни температури и изчисленото разстояние на действие на УНВ при 21 °С, са показани в таблица 3.10.

Таблица 3.10. Стойности за K_T от експерименталните резултати

Температура, °С	21	25	29	33	37	41	45	49
K_T	1	0.99	0.97	0.94	0.9	0.86	0.80	0.70

Така получените резултати са използвани за апроксимиране на математически израз за функцията на изменение на K_T с нарастване на температурата. Получените експериментални графики позволяват да се определи аналитичната функция, по която се изменя коефициента K_T в зависимост от температурата по следния начин:

$$(3.6) \quad K_T = f(T) = \frac{T_{\min}}{T_{\min} + \frac{(T - T_{\min})^2}{2T_{\max}}}$$

където $T_{\min} = +21^\circ\text{C}$, е долна граница и $T_{\max} = +49^\circ\text{C}$, е горна граница на температурния диапазон.

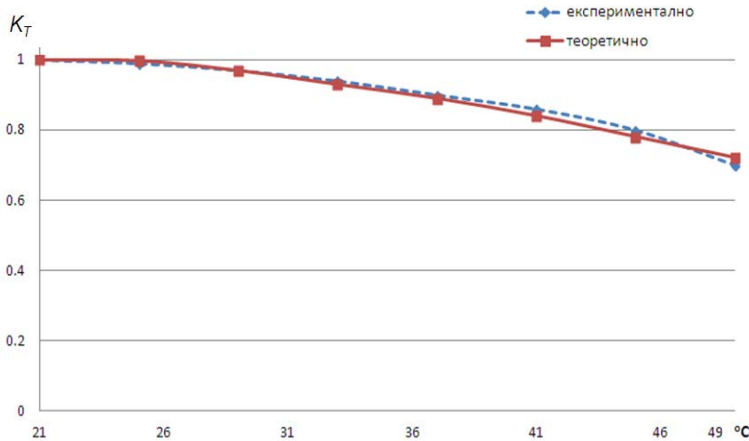
С така получения израз (3.6) за същите стойности на температурата, при които са проведени експериментите, са изчислени теоретично стойности за температурния коефициент K_T , показани в Таблица 3.11.

Таблица 3.11. Получени теоретични стойности за K_T

Температура, °С	21	25	29	33	37	41	45	49
K_T	1	0.998	0.97	0.93	0.89	0.84	0.78	0.72

Сравнение на резултатите от експериментално определените стойности за температурния коефициент K_T с теоретично определените

Сравнението на експерименталните и теоретични стойности на коефициента K_T са показани графично на Фиг. 3.23.



Фиг. 3.23. Сравнение на теоретичните и експерименталните стойности на K_T

От получените графики, се вижда, че определената аналитична зависимост (3.6), по която се изменя коефициента K_T в зависимост от температурата, дава достатъчно добро съвпадение с експерименталните резултати. Сравнението на двете криви определя достатъчно малки отклонения от експерименталните стойности, което позволява определената зависимост (3.6) да бъде използвана в различните модификации на формули за определяне на разстоянието като функция на температурата. Замествайки в (2.31) определената зависимост за температурния коефициент (3.6) позволява дефиниране на обобщена зависимост за разстоянието на действие като функция на температурата:

$$(3.7) \quad R_l = K_T \cdot R_{21} = \frac{T_{\min}}{T_{\min} + \frac{(T - T_{\min})^2}{2T_{\max}}} R_{21}$$

Формула (3.7) може да бъде използвана за определяне на предварителна теоретична оценка на разстоянието на действие на УНВ като се отчита влиянието на околната температура. Стойността за параметъра R_{21} може да бъде изчислена по различни начини, в зависимост от наличната информация, както е показано в т. 2.4.

Резултати от полеви изпитания – сравнение между теоретични и експериментални резултати

В Таблица 3.12 е показана стойността на разстоянието на разпознаване R^P при наблюдаване на човешка фигура в цял ръст, получена чрез полеви изпитвания на нощен монокулар “ПРИЛЕП-М” (Патент 7826, 2013), сравнена с теоретично изчислената стойност. Условието, при които са направени полевите изпитвания са: време – облачно, липса на звезди и луна, умерен вятър, температура 28 °С; измерена осветеност с помощта на кръг на Ландолт $3,5 \cdot 10^{-4} lx$, наблюдава се човешка фигура в цял ръст в маскировъчно облекло на фона на сухи храсти и черен междуселски път.

Табл. 3.12. Стойности за теоретичното и експерименталното разстояние

D_{ex} m	$f_{об}$ mm	τ_0	S A/lm	δ lp/mm	S/N	T , °C	Теорет. стойност R, m	Измерена стойност R, m	Δ %
0,018	25,17	0,8	0,00055	50	20	28	287	308	7.32

Стойностите на пропускането на атмосферата (0.75) и контрастът (0.2) не са измервани по време на полевите изпитания, а са избрани като предполагаеми най-близки стойности, според описаните външни условия на наблюдение. Относителната разлика, която се получава между теоретично изчисленото разстояние при околна температура от 28 °С и реално полученото чрез измерване при същата температура е:

$$(3.8) \quad \Delta = \frac{|R_{теоретично} - R_{експериментално}|}{R_{теоретично}} \cdot 100 = 7.32 \%$$

Сравнението на резултатите, получени при реални полеви изпитания на произведен прототип на ОНВ, с теоретично изчислените при същите условия, показва относителна разлика от 7.32 %. За целите на предварителната теоретична оценка на разстоянието на действие на УНВ, грешка в рамките под 10 % може да се счита за приемлива.

Тестване на предложената методология за определяне на различни комбинации на външните условия на наблюдение, вкл. и температурата на околната среда, съвместими с техническите спецификации на УНВ, дадени в каталога на устройството

За проверка на описаната в глава 2 методология за определяне на различни комбинации на външните условия на наблюдение, вкл. и температурата, съвместими с техническите спецификации на УНВ, са използвани два типа УНВ с каталожни данни, показани в Таблица 3.13.

Таблица 3.13. Каталогни данни на УНВ

Разделителна способност lp/mm	Отношение сигнал/шум	Фотокатодна чувствителност, A/lm	Диаметър на входната зеница, m	Фокусно разстояние, mm	Разстояние на откриване, m
Night vision goggles – MVP-MV14BGP*					
64	21	0.001350	0.018	26	300
Weapon Sight – MV-740**					
64	24	0.001800	0.018	100	425

* http://www.morovision.com/night_vision_goggles/MVP-MV-14BGP.htm

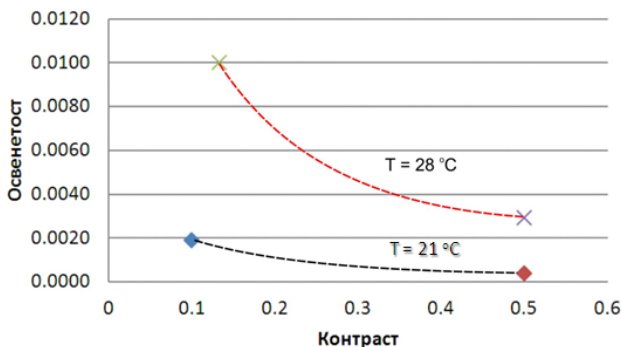
** http://morovision.com/weapons_sights/MVPA-MV-740-3P.htm

Получените стойности за граничните условия на осветеността и контраста при околна температура 28 °C са показани в Таблица 3.14.

Таблица 3.14. Резултати за гранични стойности на осветеността и контраста

УНВ	Тип на наблюдавания обект	Осветеност, lux	Контраст	Температура, °C	Разстояние на откриване, m
Night vision goggles MVP-MV14BGP	<i>Резултати от решение на Задача 1: (max E, min K, $w_1=0.50, w_2=0.50$)</i>				
	$(A_{ieep} = 2.47)$	0.01000	0.133	28	300
	$(A_{truck} = 5.9)$	0.00558	0.10		
	$(A_{tank} = 10)$	0.00329	0.10		
	<i>Резултати от решение на Задача 2: (min E, max K, $w_1=0.50, w_2=0.50$)</i>				
	$(A_{ieep} = 2.47)$	0.00266	0.50	28	300
	$(A_{truck} = 5.9)$	0.00112	0.50		
	$(A_{tank} = 10)$	0.00066	0.50		
Weapon sight MV-740	<i>Резултати от решение на Задача 1: (max E, min K, $w_1=0.50, w_2=0.50$)</i>				
	$(A_{ieep} = 2.47)$	0.00596	0.10	28	425
	$(A_{truck} = 5.9)$	0.00249	0.10		
	$(A_{tank} = 10)$	0.00147	0.10		
	<i>Резултати от решение на Задача 2: (min E, max K, $w_1=0.50, w_2=0.50$)</i>				
	$(A_{ieep} = 2.47)$	0.00119	0.50	28	425
	$(A_{truck} = 5.9)$	0.00049	0.50		
	$(A_{tank} = 10)$	0.00029	0.50		

На Фиг. 3.28 е показано сравнение на получените резултати при различни температури (21 °C и 28 °C) за един и същ наблюдаван обект (джип) при зададено разстояние на действие 300 m.



Фиг. 3.28. Изменение на осветеността и контраста за ОНВ при наблюдаван обект – джип и при различни температури, реализиращи едно и също разстояние

Сравнението показва, че за постигане на едно и също разстояние на действие (300 m) при наблюдаване на един и същ обект (джип), при повишаване на температурата са необходими по-високи стойности на контраста и осветеността. Това доказва, че повишаването на температурата влошава параметрите на ЕОП и тези на уреда за нощно виждане.

Описание на прототип на веб-базирано приложение за оценка на параметрите на проектираните УНВ в зависимост от температурата

Алгоритъмът за проектиране на различни типове УНВ при зададени външни условия, в т.ч. температурата на околната среда е реализиран в изследователски прототип, чийто основен потребителски интерфейс е показан на Фиг. 3.30 (Borissova, Bantutov& Mustakerov, 2014):

The screenshot shows a web-based application interface with a green background. At the top, there are navigation buttons: 'Main menu', 'Print', 'Help', and 'About'. Below this, there are radio buttons for selecting device types: 'NV Goggles', 'NV Binoculars', and 'NV Sight'. The main area is a grid of input fields and dropdown menus. The columns are labeled: 'IIT', 'Objective', 'Ocular', 'El. batteries', 'El. batteries number', 'Target type', 'Ambient light', 'Contrast', 'Atm. transmittance', and 'Temperature'. Each column has a dropdown menu. Below the grid, there are sections for 'Objective' and 'Battery' parameters, each with a 'Reset' button and a 'Calculation' button. The 'Objective' section includes fields for 'Limiting resolution', 'Luminous sensitivity', 'Signal/noise ratio', 'Weight', 'Price', 'Focal length', 'F-number', 'Transmittance', 'Field of view', 'Focus range', 'Weight', and 'Price'. The 'Battery' section includes fields for 'Diopter adjustment', 'Eye relief', 'Focal length', 'Weight', 'Price', 'Capacity', 'Number', and 'Price'. At the bottom, there are two columns of fields: 'NVD detection range', 'NVD recognition range', 'NVD identification range', 'NVD magnification', 'El. battery power supply lifetime duration', 'El. battery number', 'Weight of the NVD optoelectronic channel', and 'Price of the NVD optoelectronic channel'.

Фиг. 3.30. Основен екран на прототипа на системата

Посредством съответни бутони потребителят може да избере един вид УНВ – очила, бинокли или прицели. Една част от менюта са предназначени за избор на основните модули за УНВ, а останалата част – потребителят може да избира различни външни условия за наблюдение (наблюдаван обект, естествената нощна осветеност, контраст, пропускане на атмосферата и температура). При избор на всеки модул, неговите параметри се показват в съответни текстови полета. Останалата част от интерфейса има за цел да визуализира резултатите от направените избори. Разработеният прототип е тестван с ограничен брой модули, за да се илюстрира неговата приложимост. Като бъдеща работа е предвидено усъвършенстване на предложения прототип и тестване на неговата работоспособност на различни операционни системи.

Заклучение

В дисертационния труд са представени резултатите, получени при изследването на влиянието на температурата върху параметрите на УНВ. Отношението сигнал/шум на ЕОП зависи както от материала, от който е направен фотокатода, така и от фоновата осветеност, респективно – тока на тъмно, шумовия фактор и температурата. За да се отчете влиянието на температурата върху разстоянието на действие, в настоящия дисертационен труд е въведен температурно зависим коефициент. Чрез енергетичен разчет е изведена математическа зависимост за влияние на температурата върху параметрите на УНВ. Използването на дефинирания температурно зависим коефициент позволява да бъдат модифицирани известните формули за определяне разстоянието на действие, като се отчита и влиянието на температурата. Чрез експериментални изследвания са определени стойности и математическа зависимост на температурния коефициент от температурата. Това позволява използването му в различни модификации на формули за определяне на разстоянието на действие на УНВ в зависимост от температурата. Тези резултати са приложени в разработена методология за определяне на различни комбинации на външни условия на наблюдение, съвместими с техническите спецификации на УНВ. Описан е разработения изследователски прототип на уеб-базирано приложение за оценка на параметрите на проектираните УНВ в зависимост от външните условия, вкл. и температурата.

Експерименталните изследвания показват, че промените в параметрите на ЕОП, респективно в параметъра разстояние на действие на УНВ в следствие на повишаване на температурата, се забелязват само при ниски нива на осветеност в границите 10^{-6} - 10^{-7} lx. Представено е сравнение на резултати от полеви изпитания за разстоянието на действие на реален уред и резултати от теоретични изчисления при едни и същи условия на наблюдение, вкл. и температурата. Получената грешка е под 10 %. Представени са резултатите от численото тестване на предложената методология за определяне диапазона на изменение на външните условия, при които уредът има едно и също разстояние на действие.

Постигнатите резултати в дисертационния труд очертават следните насоки за бъдещи изследвания – изследване разстоянието на действие на УНВ при повишаване на температурата, като се използват ЕОП с различен материал на фотокатода, с цел сравнение на получените резултати и уточняване на функционалната зависимост на коефициента K_T от температурата.

СПРАВКА ЗА ПРИНОСИТЕ В ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

От получените резултати в настоящия дисертационен труд могат да се формулират следните научни и научно-приложни приноси:

1. Методът на енергетичния разчет за определяне на разстоянието на действие на УНВ е допълнен по отношение влиянието на температурата на околната среда. За определяне на влиянието на температурата върху параметрите на УНВ е въведен температурно зависим коефициент K_T . На база на проведени експериментални изследвания е определена функционална зависимост на коефициента K_T при изменение на стойностите на околната температура в допустимия температурен диапазон на работа на УНВ. Температурно зависимият коефициент K_T е използван за определяне на разстоянието на действие като функция на температурата на околната среда. Въведеният температурно зависим коефициент K_T може да бъде използван и при други подходи, определящи разстоянието на действие на уреда, като се отчита околната температура.
2. В резултат на теоретичен анализ и експериментални изследвания, в настоящия дисертационен труд се предлага основните фактори, които допринасят за големината на тока на тъмно (респективно за ЕФО), да се структурират на три основни групи, в зависимост от начина, по който се осъществява влиянието на конкретният фактор върху тока на тъмно. В първата група попадат явления, които имат фундаментална физическа природа. Втората група обединява фактори, които имат механично-оптичен характер. В третата група се намират специфични електрически параметри на ЕОП и технологични особености на конструкцията на високоволтовия преобразувател на електрически потенциал.
3. Предложена е методология за определяне на различни комбинации на външните условия на наблюдение, вкл. и температурата на околната среда, съвместими с техническите спецификации на УНВ, дадени в каталога на устройството. Методологията се базира на формулирането и решаването на съответни математически задачи.
4. Предложен е алгоритъм за проектиране на УНВ. Този алгоритъм може да се използва при проектиране на различни типове УНВ при зададени външни условия, в т.ч. температура на околната среда и позволява предварителна оценка на параметрите на проектираното устройство. Алгоритъмът е реализиран в изследователски прототип на уеб-базирано приложение.
5. За целите на експерименталните изследвания за влияние на температурата върху параметрите на УНВ, е разработен специализиран високоволтов импулсен преобразувател на напрежение за захранване на електронно-оптичния преобразувател на УНВ.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Bantutov E. An approach for estimation of night vision devices performance in respect of temperature variation. *International Journal Advanced Modeling and Optimization*, ISSN: 1841-4311, Vol. 16, No 2, 2014, pp. 261-268.
2. Борисова Д., Е. Бантутов, И. Мустакеров. Подход за определяне на теоретичните параметри на уреди за нощно виждане с отчитане влиянието на температурата. *Int. Conf. AUTOMATICS AND INFORMATICS'2014*, Proc. ISSN 1313-1850, CD:ISSN 1313-18, 2014, стр. I-47-I-50.
3. Borissova D., I. Mustakerov, E. Bantutov. Methodology for determining of surveillance conditions in relation to night vision devices performance. *International Journal Advanced Modeling and Optimization*, ISSN: 1841-4311, Vol. 16, No 1, 2014, pp. 51-59.
4. Borissova D., I. Mustakerov, E. Bantutov. Web-based architecture of a system for design assessment of night vision devices. *International Journal of Information Science and Engineering*, pISSN 2010-376X, eISSN 2010-3778, Vol. 7, No7, 2013, pp. 62-67.
5. Borissova D., M. Dekov, D. Kozarev, E. Bantutov, I. Iliev. Optical-electronic device – night vision goggles – “Prilep”. *Cybernetics and Information Technologies*, ISSN: 1311-9702, Vol. 1, No 1, 2001, pp. 108-115.

Патенти по темата

6. Свидетелство за промишлен дизайн # 7826 – приспособление за нощно гледане, регистрирано от Патантно ведомство на РБългария на 25 юни 2013 г. с автори Е. Бантутов и колектив.

Бибблиография

1. Гоев А. И. Модернизация уредов ночногo видения. Специальная техника, № 2, 2002, 11-14.
2. Елизаренко А. С., Ю. Б. Парвулосов, В. П. Соддатов, Ю. Г. Якушенков, Проектирование оптико-электронных уредов, Москва, Машиностроение, 1981, 262 стр.
3. Патент # 7826/25 юни 2013 – приспособление за ношно гледане – колектив: Б. Бантутова, Д. Борисова, Е. Бантутов, И. Мустакеров.
4. Разумовский И. Т., Уреды ночногo видения – Электронный учебник по дисциплине: “Специальные оптические уреды”, Санкт-Петербургский Государственный Институт Точной Механики и Оптики (Технический Университет), 2004.
5. Тымкул В. М., Методы энергетического расчета оптико-электронных уредов и систем, 2001.
6. Bantutov E. An approach for estimation of night vision devices performance in respect of temperature variation. Int. J. Advanced Modeling and Optimization, Vol. 16(2), 2014, pp. 261-268.
7. Bender E. J.; Michael V. Wood; Steve Hart; G. B. Heim; J. A. Torgerson. Characterization of photocathode dark current vs. temperature in image intensifier tube modules and intensified televisions. Proc. SPIE 5563, 2004, doi: 10.1117/12.562811.
8. Borissova D., E. Bantutov, I. Mustakerov. Approach for determination the theoretical parameters of night vision devices considering the temperature influence. Int. Conf. Automatics and Informatics'2014, Proc. ISSN 1313-1850, CD: ISSN 1313-18, 2014, стр. 1-47-1-50.
9. Borissova D., I. Mustakerov, E. Bantutov. Methodology for determining of surveillance conditions in relation to night vision devices performance. Int. J. Advanced Modeling and Optimization, Vol. 16(1), 2014, pp. 51-59.
10. Borissova D., I. Mustakerov, E. Bantutov. Web-based architecture of a system for design assessment of night vision devices. Int. J. Information Science and Engineering, Vol. 7(7), 2013, pp. 62-67.
11. Borissova D., I. Mustakerov. A working distance formula for night vision devices quality preliminary information. Cybernetics and Information Technologies, Vol. 6(3), 2006, pp. 85-92.
12. Borissova, D., I. Mustakerov. A generalized optimization method for night vision devices design considering stochastic external surveillance conditions. Applied Mathematical Modelling, Vol. 33, 2009, pp. 4078-4085.
13. Bosch L. A., Image intensifier tube performance is what matters. Proc. SPIE 4128, Image Intensifiers and Applications II, 2000, doi: 10.1117/12.405867.
14. Bosch L. A., L. Boskma. Performance of DEP super generation image intensifiers. Proc. SPIE Airborne Reconnaissance XVIII, vol. 2272, 1994, pp. 194-202.
15. Cui D., L. Ren, B. Chang, F. Shi, J. Shi, Y. Qian, H. Wang, J. Zhang. Halo performance on low light level image intensifiers. Proc. SPIE 8761, March 2013; doi:10.1117/12.2019621.
16. DEP – The Delft Electronic Products guide, 2004, http://www.lahouxoptics.ru/_files/editor/file/info/productguide.pdf.
17. Gaussorgues G. La Thermographie infrarouge principes-technologie applications deuxieme edition revue et augment tee technique et documentation lavoisier, Paris 1977.
18. Military Standard, MIL-STD-1858.
19. Ohkawara, N. Long-term variations of atmospheric transmittance from pyrhelimeter measurements. 12th BSRN Science and review and workshop, 2012, Potsdam, Germany.
20. Travis, J. Scoping Out Night Vision. March 1996.
21. XR-5TM Technology Image Intensifier, 18 millimetre 184-3384A0 Auto-gating XX25401.
22. Zacher J. E., T. Brandwood, P. Thomas, M. Vinnikov, G. Xu, S. Jennings, T. Macuda, S. A. Palmisano, G. Craig, L. Wilcox, R. S. Allison. Effects of image intensifier halo on perceived layout. Proc. SPIE 6557, 1 May 2007; doi:10.1117/12.719892.
23. Zhu Y., N. Zhang; D. Li; J. Nie; T. Zhang; X. Liu; Z.Liu; L. Fu. Technology discussion of reducing the equivalent background illumination of Gen III Image Intensifier. Proc. SPIE 8912, August 16, 2013; doi:10.1117/12.2034058.