

ИМПУЛСНИ ЛАСЕРСКИ МЕРАЧ ДАЉИНЕ ЗА ВОЈНЕ ПРИМЕНЕ*

Душан Д. Јоксимовић**

Мегатренд универзитет, Факултет за пословне студије, Београд

Јанко М. Цвијановић

Економски институт, Београд

Небојша Ж. Ромчевић

Институт за физику, Београд

У уводном делу рада укратко су објашњени фактори оружане борбе и детаљније је описан технички фактор у оквиру којег значајно место заузима повећање ефикасности наоружања усавршавањем уређаја за нишањење, где ласерски мерач даљине има примену. Презентоване су неке карактеристике ласерског мерача даљине који је саставни део система за управљање ватром тенка М-84. Анализиран је основни концепт тог ласерског мерача даљине. Посебна пажња посвећена је анализи карактеристика предајног и пријемног дела. Анализиран је утицај промене напона напајања блескалице на број и енергију емитованих ласерских импулса. Такође, анализиран је и утицај температуре на генерисање ласерског зрака. Експериментално је одређен модул нормализоване трансфер функције пријемника и израчунат еквивалентни пропусни опсег пријемника. За задату вероватноћу детекције корисног сигнала и вероватноћу броја појављивања лажног сигнала израчунат је потребан минималан однос сигнал/шум пријемника, а нумеричком симулацијом израчунат је однос сигнал/шум пријемника за различите метеоролошке видљивости. Такође, анализиран је и утицај атмосфере на простирање емитованог ласерског зрачења. Перформансе анализираног ласерског мерача даљине у потпуности задовољавају постављене стандарде. Потпуна експлоатација добијених резултата могућа је на бојишту, ако се перманентно прати метеоролошка ситуација и њено стање уважава у моменту примене на конкретном простору. Истовремено, могуће је и активно ометање противника употребом вештачких апарата за стварање димова.

Кључне речи: фактори оружане борбе, усавршавање уређаја за нишањење, ласерски мерач даљине, предајник, пријемник, однос сигнал/шум, слабљење атмосфере, стварање димова

* Овај рад публикује резултат истраживања на пројекту бр. III 45003 и пројекту бр. 179001 Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

** djoksimovic@megatrend.edu.rs

Место техничког фактора у оквиру фактора оружане борбе и правци његовог усавршавања

На ток и исход оружане борбе [5,6] утичу следећи фактори (сл. 1): људски ресурси, материјални ресурси, простор, време и информације. Фактори оружане борбе су међусобно зависни, повезани, условљени и детерминисани на нивоу сукобљених страна. У конкретним просторним и временским условима квалитет и квантитет људских и материјалних ресурса и информација су од пресудног утицаја на ток и исход оружане борбе.

Људски ресурси обухватају демографски потенцијал сукобљених страна који је способан и обучен за војно ангажовање. Они пресудно утичу на ток и исход оружане борбе. Људски живот је неприкосновена вредност у оружаном борби.

Материјални ресурси обухватају природне, привредне, финансијске, енергетске и информационе потенцијале сукобљених страна који се ангажују за војне потребе. Обезбеђивање материјалних ресурса за војне потребе има стратешки значај за реализацију мисија и задатака Војске Србије.

Простор обухвата копно, акваторију и ваздушни простор у којем се изводе операције и својом величином и квалитетом битно утиче на ток и исход оружане борбе. Умешно коришћење простора, уз његову правовремену припрему и уређење, омогућава успешно извођење борбених дејстава. Тенденције у извођењу оружане борбе указују на то да се операције војних снага изводе са изабраних основица, али без јасно дефинисаних обележја просторне координације и поделе на фронт, позадину и дубину.

Време се испољава као: историјски период, трајање, доба дана и године и метеоролошка појава. Оружану борбу карактерише убрзавање процеса и активности, због чега време постаје један од пресудних фактора оружане борбе.

Информације, као фактор оружане борбе, изражавају расположивост знањима и подацима потребним за успешно командовање на свим нивоима, чиме се смањује неизвесност у војној делатности. Квалитет и правовременост информација захтеви су које сваки ниво командовања настоји да обезбеди.



Слика 1 – Фактори оружане борбе

Неке земље у факторе сврставају и *финансије*. Имајући у виду тренутну економску ситуацију код нас и у свету и важност финансија у извођењу свих активности сматра се да је немогуће успешно организовање и извођење било које активности без обезбеђења овог фактора.

Утицај технологије на вођење рата и могући правци развоја у будућности

Војна техника има битан утицај на ток оружане борбе и рата у целини, а њена ефикасна употреба зависи од квалитета људства, стручних, психофизичких и других особина људи који се њиме служе, просторних и временских ограничења и постављених циљева у стратегији одбране. Отуда непосредна веза између војне технике и усвојене доктрине вођења оружане борбе.

Амерички социолози и теоретичари Елвин и Хајди Тофлер извели су теорију „три таласа рата”. Три таласа еволуције у сфери вођења рата јесу: аграрни – заснован на примитивним убојним средствима, индустријски и информатички талас.

У трећем таласу доминантну улогу имаће средства информационе технологије. Рат трећег таласа подразумева предузимање и извођење ратних дејстава употребом средстава и система оружја развијених на бази информатичких технологија.

Са развојем и увођењем нових средстава ратне технике развија се нова стратегијска и доктринарна концепција, у које се уграђују достигнућа развоја нових војних технологија. Управо ова интеракција развоја, производње и увођења у наоружање нових средстава ратне технике – СРТ, с једне, и развоја доктрине за њихову употребу, с друге стране, која је спровођена кроз вишегодишњи еволутивни процес, водила је ка квалитативној промени у стратегији и ратној доктрини САД и неких других земаља.

Буран развој науке, технике и технологије отвориће могућности развоја новог оружја и модернизацију постојећег. На којој оријентацији ће бити тежиште зависиће од више фактора од којих су најважнији економски ниво развоја и усвојена политика на државном нивоу. Могу се издвојити четири правца:

- развој информатичких технологија,
- развој космичких технологија,
- усавршавање оружја за масовно уништавање и
- повећање ефикасности класичног наоружања.

Развој информатичких технологија

Када се говори о оружјима информатичке технологије мисли се на класично и друго наоружање које има развијену информатичку компоненту. То су компоненте техничког фактора које су већ великим делом развијене и очекује се њихов још бржи развој. То су:

- прецизно навођење (ласерског, електрооптичког, инфрацрвеног, радарског, корелационог, даљиномерског, микроталасно-радиометарског, сателитског и другог навођења);
- аквизиција и препознавање циља у реалном времену, што ће бити једна од карактеристика будућег ратовања и услов за употребу прецизно навођене муниције и већег дела самонавођеног оружја;

- електронско ратовање, које намеће потребу развоја средстава и опреме за електронско извиђање, ометање и заштиту од ометања у реалном времену. И најмања предност у овом домену може донети велике предности на бојишту будућности и бити одлучујућа за коначан исход не само једне битке;
- командовање и управљање, које ће морати бити реализовано у реалном времену. Ако се претпостави могућност прикупљања, преноса, обраде и дистрибуције података и информација у реалном времену проблем би се свео на одлучивање;
- роботизација и аутоматизација.

Развој космичких технологија

Даљи развој ратне и војне технике вероватно ће бити пренет у космичка пространства. За сада се у категорију космичког оружја сврставају антисателити, анти-ракете, ласерско оружје, оружје на бази енергије усмереног зрачења и честица, радио-фреквенцијско оружје и космичка средства даљинске детекције.

Развој оружја за масовно уништавање

У другој половини 20. века оружје за масовно уништење је, углавном, било у функцији одвраћања и регистрована је спорадична употреба у неким локалним ратовима. На то је утицало низ фактора, поред осталог и техничка несавршеност овог оружја, посебно када је у питању његова примена на тактичком и оперативном нивоу. Један од проблема је и контрола ефеката овог оружја, с обзиром на велике могућности његовог повратног дејства. Не треба заобићи ни питање ефикасности неких оружја за масовно уништење с обзиром на њихову високу цену и начин употребе – просторни захват неравномерно распо-ређених циљева, при чему се већи део енергије нерационално троши на празан простор.

Повећање ефикасности класичног наоружања

У блиској будућности вероватно ће се побољшати квалитет класичног наоружања, повећањем ефикасности ватреног дејства. Захваљујући развоју информатичке технике, створиће се услови за поуздано погађање циљева и смањење утrophка муниције. Истовремено, биће нужно да се изнађу технички одговори на тактичке захтеве за даљи развој муниције за: 1) масовно гађање, јединично умањење, а просторно увећање ефикасности – касетни пројектили; 2) јединично гађање високе ефикасности – вођени и самонавођени пројектили; 3) уништавање приоритетних и неутралисање секундарних циљева и 4) блиску – непосредну борбу, као и за ону на већим растојањима. Сви ови правци подразумевају укључење ласера у разним варијантама.

Принцип мерења даљине ласерском импулсном методом

Принцип ласерског мерења даљине импулсном методом састоји се у генерисању и емитовању ласерског импулса у правцу објекта до којег се мери даљина, пријему одзивног сигнала и мерењу временског интервала између предаје и пријема ласерског импулса [1].

Претпостављајући да је брзина простирања ласерског зрачења кроз средину константна могуће је извршити мерење даљине на основу релације:

$$d = \frac{c \cdot t}{2}$$

где је:

c – брзина простирања ласерског зрачења (брзина светлости),

t – интервал између предаје и пријема ласерског импулса,

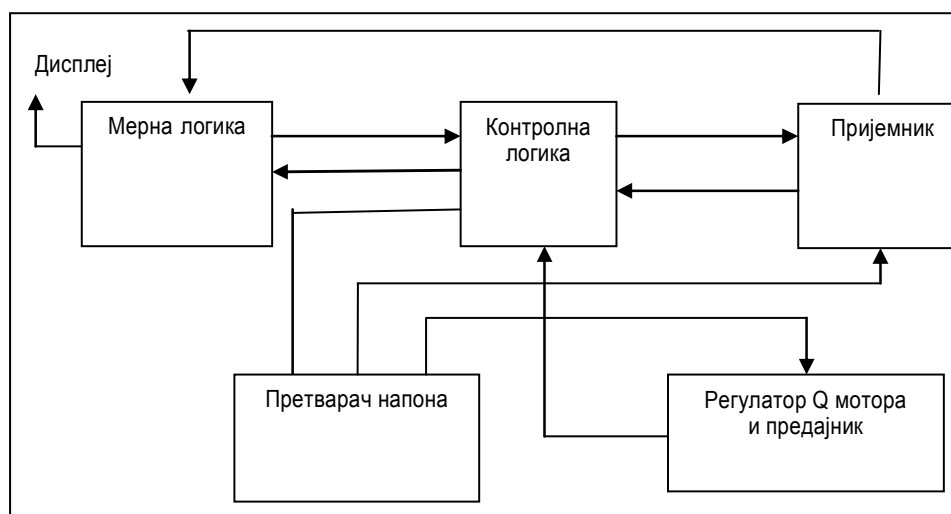
d – даљина до циља.

Основне карактеристике ласерског мерача даљине тенка М-84

Ласерски мерач даљине, који је саставни део система за управљање ватром (СУВ) тенка М-84, садржи:

- ласерски предајник,
- ласерски пријемник,
- мерач интервала између предаје и пријема ласерског импулса,
- део за електронски интерфејс између осталог дела СУВ-а и самог ласерског мерача (контролна логика),
- део за електронску регулацију кола за Q модулацију (регулатор Q мотора) и
- део за формирање одговарајућих извора напајања (претварач напона) [2].

Блок-дијаграм ласерског мерача даљине тенка М-84 приказан је на слици 2.



Слика 2 – Блок-шема ласерског мерача даљине тенка М-84

Основне карактеристике ласерског мерача даљине тенка М-84 наведене су у табели 1.

Табела 1 – Основне карактеристике ласерског мерача даљине тенка М-84

КАРАКТЕРИСТИКЕ	ВРЕДНОСТИ
Електричне карактеристике	
напон напајања	5V, 24V
струја потрошње	≤ 5A
Оптичке карактеристике	
таласна дужина ласерског зрачења	1,064μm
излазна енергија ласерског зрачења	≥ 45 mJ
излазна снага ласерског зрачења	≥ 2,25 MW
дивергенција ласерског зрачења	≤ 3,5 mrad
Остале карактеристике	
радна температура	-25°C до 55 °C
подручје мерења даљине	200m до 9995m
максимално одступање измерене даљине	10m
разлагање циљева по даљини	30m
максимална учестаност окидања	0,5Hz
максимално дозвољен број окидања	12 ok/min

Извор: [2]

Ласерски предајник

Да би ниво снаге рефлектованог сигнала био задовољавајући, неопходна је предаја излазног ласерског сигнала што веће снаге. За постизање високе прецизности мерења даљине потребни су кратки импулси, односно кратко време пораста импулса ласерског зрака. Време трајања импулса требало би да има вредност обрнуто пропорционалну ширини пропусног опсега пријемника, што спречава непотребан пораст шума.

За добијање импулса наносекундалног трајања примењена је метода механичке Q модулације, са ротирајућом призмом од 24000 об/мин.

Као активан елемент коришћен је Nd-YAG штапић димензије 5 × 50 mm. Оптичка и физичка својства Nd-YAG-а представљена су у табели 2.

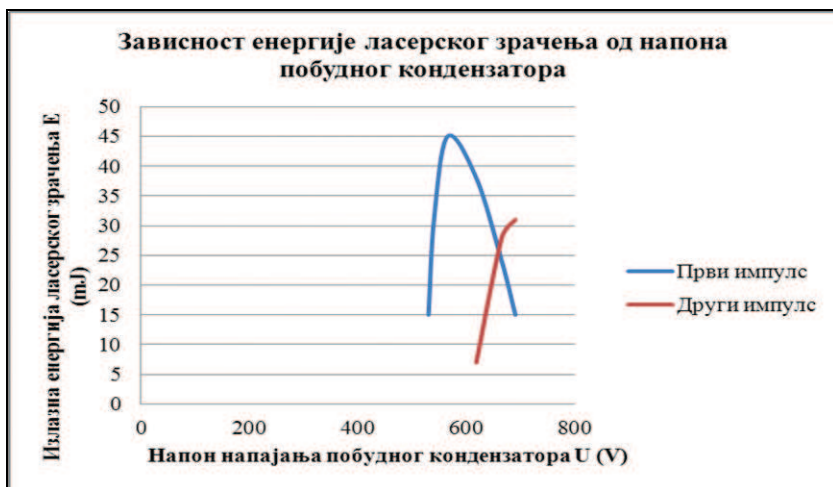
Табела 2 – Оптичка и физичка својства Nd-YAG-а

СВОЈСТВА Nd-YAG-а	ВРЕДНОСТИ
Хемијска формула	Nd:Y ₃ Al ₅ O ₁₂
Тежина %Nd	0,725%
Атома %Nd	1,0%
Nd атома/cm ³	1,38 ⁺ 10 ²⁰
Енергија фотона 1,06μm	1,86 ⁺ 10 ⁻¹⁹
Спектрална ширина прелаза	0,45nm
Средње време живота ласерског прелаза	550μm
Пресек за стимулисану емисију	σ ₂₁ =2,7-8,8 ⁺ 10 ⁻¹⁹ cm ²
Средње време живота за релаксациони прелаз	30ns
Индекс преламања	1,82 (на 1,0 μm)
Губици услед расејања	α ₀ =0,002 cm ⁻¹
Термална проводљивост	0,14W cm ⁻¹ K ⁻¹

Извор: [3]

Све оптичке компоненте анализираног ласерског мерача даљине, као и крајеви ласерског штапића, пресвучени су антирефлексним слојем коефицијента рефлексije $R \leq 0,002$. Трансмисијност излазног огледала је $T=0,7$. Блескалица којом се побуђује активни материјал је енергије од око 5 J, док је кондензатор за складиштење енергије (побудни кондензатор) капацитета 30 μ F. Заступљено је паралелно окидање блескалице.

У зависности од напона на кондензатору за складиштење енергије U, односно од побудне енергије, добијамо различит број ласерских импулса и њихову различиту енергију (слика 2).



Слика 3 – Зависност излазне енергије и броја ласерских импулса од напона напајања побудног кондензатора

Променом напона на кондензатору за побуду ласерског зрачења добија се низ различитих импулса. На тестираном ласерском даљиномеру (слика 2) види се да за напоне веће од 600 волти долази до појаве другог импулса. При још већим напонима дошло би до појаве и трећег ласерског импулса. За рад даљиномера најбољи је режим емитовања само једног ласерског импулса максималне енергије. У овом тестираном случају то је при напону од 565 волти на побудном кондензатору, при чему се израчи само један ласерски импулс енергије 45 mJ. Трајање овог импулса мерено на половини висине је 20ns, па је снага овог ласерског импулса 2,25 MW. Ови параметри су у одређеним границама променљиви за сваки ласерски даљиномер, па су у сваком појединачном случају потребна посебна подешавања напона. Напон побудног кондензатора може се мењати у границама од 450 до 900 волти и генерише се у делу претвараач напона.

Тренутак појављивања ласерског зрака, а самим тим и оптимизација Q модулације, одређује се подешавањем броја обртаја Q мотора. Најповољнији тренутак појаве ласерског зрака је око 85 μ s после окидања блескалице, мерено од половине висине улазног импулса блескалице.

Утицај температуре на генерисање ласерског зрака огледа се у следећем:

- за веће температуре потребно је више побудне енергије за почетак генерисања ласерског импулса,
- максимална енергија зрачења у једном импулсу расте са порастом температуре,
- енергија коју је потребно уложити да би предајник зрачио максималном енергијом у једном импулсу расте са температуром.

Енергија и број емитованих ласерских импулса веома зависе од температуре и напона побудног кондензатора [4]. Због те зависности неопходно је, приликом пројектовања, одлучити се за један од следећих режима рада предајника:

- предајник зрачи константном енергијом у захтеваном опсегу радних температура, и та енергија је одређена енергијом коју предајник постиже на минималној радној температури,
- предајник зрачи максимално могућом енергијом у захтеваном опсегу радних температура,
- предајник зрачи енергијом већом од неке унапред захтеване енергије у опсегу радних температура.

У ласерском мерачу даљине СУВ-а тенка М-84 примењен је последњи наведени режим рада предајника у којем предајник зрачи енергијом већом од неке унапред захтеване у опсегу радних температура.

Осим што генерише ласерски импулс усмерен ка мети до које се мери даљина, предајник преко оптичког кабла генерише сигнал који се преко контролне логики преноси мерној логици, која у том тренутку почиње мерење времена.

Ласерски пријемник

Оптички пријемници у оптоелектронским системима имају веома важну улогу у остваривању што квалитетнијег функционисања оптоелектронског примопредајног система.

На улазни део оптичког пријемника, који се састоји од фотодетектора, претпојачавача и појачавача, обично долазе слаби сигнали. Фотодетектор, претпојачавач и пријемни појачавач представљају изворе неколико врста шума, чија укупна вредност у односу на укупан сигнал може бити врло значајна. Гранична осетљивост пријемника представља минималну оптичку снагу, која на излазу појачавача доводи до односа сигнал/шум једнаког јединици. У полазним захтевима увек се инсистира да та оптичка снага има што мању вредност, а да би се то постигло мора се смањити ниво укупног шума на излазу пријемног појачавача.

Међу захтевима које мора да задовољи оптички пријемник најважнији су следећи:

- велика осетљивост у подручју таласних дужина на којима зрачи извор који се користи у систему,
- што мањи шум који оптички пријемник уноси у систем,
- довољно велика брзина одзива у односу на потребе система.

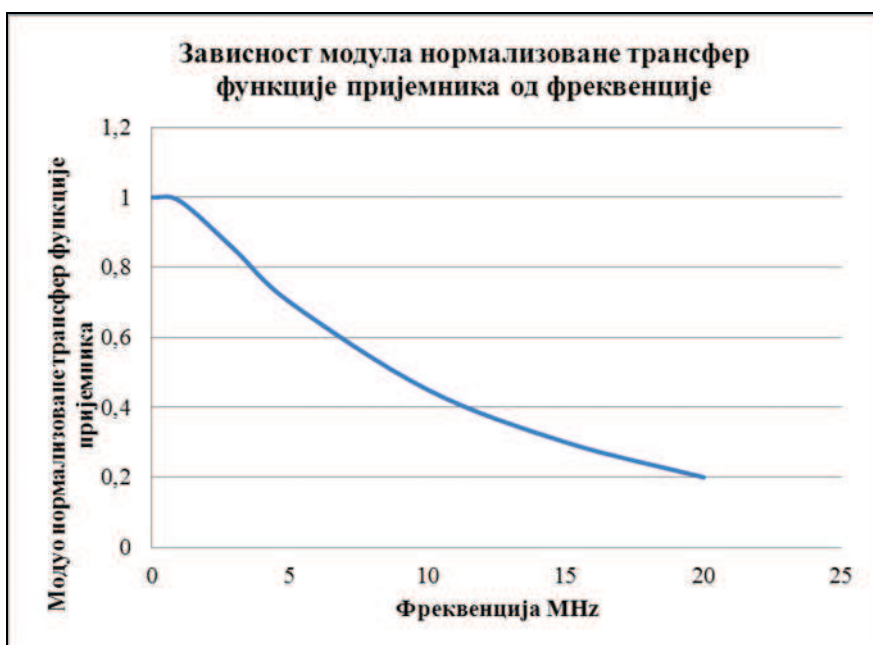
Пријемник ласерског мерача даљине СУВ-а тенка М-84 конципиран је на бази лавинске фотодиоде С30955Е као фотодетектора. Као претпојачавач користи се JFET 2N4416, а као појачавач за високе фреквенције употребљен је MC1590 са временском контролом појачања [2].

На излазу из појачавача налази се део који служи за подешавање прага детекције пријемника.

Улога ласерског пријемника је да детектује ласерски сигнал одбијен од мете и да пошаље сигнал мерној логици која ће тог тренутка да заустави мерење времена. Временска регулација појачања, као и праг детекције пријемника подешавају се помоћу одређених потенциометара.

Испред лавинске фотодиоде налази се филтер пропусник опсега учестаности од 20 nm око централне таласне дужине 1,064 μm , који онемогућава фотодиоди да реагује на друга непожељна зрачења и који смањује утицај позадинског зрачења на квалитет пријема.

Експериментално одређен модул нормализоване трансфер функције пријемника приказан је на слици 4.



Слика 4 – Нормализована трансфер функција пријемника

Трансфер функција пријемника $H_p(f)$ изузетно се добро може апроксимирати изразом

$$H_p(f) = \frac{1}{\frac{1}{R} + j2\pi fC}$$

за $RC=30 \text{ ns}$,

одакле добијамо да пропусни опсег пријемника износи $B=8,3 \text{ MHz}$. [2].

Појачање претпојачавача у опсегу до 1 MHz (опсег где је вредност модула нормализоване трансфер функције једнака јединици) јесте око 4,6 пута. Широкопојасни појачавач иза претпојачавача има пропусни опсег много већи од претпојачавача (35 MHz), па не утиче на деградацију пријема. Његово појачање је око 100 пута, па је укупно појачање нашег пријемника у опсегу где је модул трансфер функције пријемника једнак јединици, око 460 пута.

Напон напајања лавинске фотодиоде генерише се у делу претвараач напона, а његова температурна компензација врши се преко кола SG1524J помоћу одговарајућих потенциометара и компензационе диоде. Овај напон може се мењати у границама од 200 до 450 волти.

Утицај атмосфере на простирање ласерског зрачења Nd-YAG ласера таласне дужине 1,064 μm

Уопштено гледајући, приликом простирања ласерског зрачења кроз атмосферу долази до слабљења услед:

- апсорпције на молекулима водене паре и угљен-диоксида,
- апсорпције на честицама аеросола,
- расејања на молекулима,
- расејања на честицама аеросола,
- турбулентности атмосфере.

Сви ови процеси су независни и одвијају се независно. Укупно слабљење је врло сложена функција, како таласне дужине зрачења, тако и локалних атмосферских услова (температуре, влажности ваздуха, притиска, надморске висине, итд.). Турбулентна струјања условљавају третирање атмосфере као случајног медијума.

За таласну дужину Nd-YAG ласера (1,064 μm) најважнија компонента атмосферског слабљења је расејање на честицама аеросола. У аеросоле спадају магле, измаглице, облаци, талози, различити видови прашине и димова.

Магле и измаглице могу бити у виду капи и кристала, или њихове смесе. Димензије њихових честица могу бити од минимално 1 μm до десетине милиметара, при чему преовладава величина од 2 до 18 μm . Концентрација честица мења се од 0,5 до 800–900 у cm^3 .

Облаци се по микрофизичком саставу не разликују од магле, осим што код њих концентрација честица достиже неколико хиљада у cm^3 .

У талог се убрајају капи воде и кристали леда који падају на површину земље. Њихове димензије крећу се од 0,2 mm (ситна киша) до неколико центиметара (град).

За набројене типове аеросола, њихове основне карактеристике расподела честица по димензијама, хемијски састав и концентрација честица мењају се у доста широким границама. Важно је напоменути да су честице мањих димензија ефикасније за расејање таласне дужине на којој Nd-YAG емитује ласерски импулс (1,064 μm).

Несумњиво је да су основне карактеристике атмосферских аеросола веома променљиве. Ипак, могу се начинити неки уопштени закључци који, за одређивање слабљења ласерских импулса на различитим таласним дужинама, резултирају једном семиемпиријском формулом која повезује коефицијент аеросолног расејања α_{aer} и метеоролошку видљивост D_m [2], [5].

У овом случају слабљење ласерског зрачења услед расејања на честицама аеросола на дужини x (km) израчунава се по формули:

где је: $P(x) = P(0) \cdot e^{-\alpha_{\text{aer}} \cdot x}$

$$\alpha_{\text{aer}} = 3, \frac{91}{D_m} \cdot \left(0, \frac{55}{\lambda}\right)^{0,585 \cdot D_m^{\frac{1}{3}}}; \quad \alpha_{\text{aer}} u \left(\frac{1}{\text{km}}\right), \quad \lambda u (\mu\text{m}), \quad D_m u (\text{km}) \quad (1)$$

Израчунавање потребног минималног односа сигнал/шум пријемника

За ласерски мерач даљине СУВ-а тенка М-84 захтевано је да:

- вероватноћа детекције корисног сигнала износи $P_{\text{KS}} = 0.99$,
- вероватноћа појављивања погрешног резултата мерења износи 0,01 (максимално је дозвољено једно погрешно мерење даљине од сто мерења).

Ако је максимална даљина до циља x_m (у нашем случају 10 km), онда у интервалу $\frac{2 \cdot x_m}{c}$ (с је брзина ласерског зрачења, односно брзина светлости) постоји $\frac{2 \cdot x_m}{c \cdot \Delta t}$ интер-

вала од по Δt секунди, где је Δt секунди време трајања ласерског импулса (у нашем случају 20 ns). Ако са P_{LS} обележимо вероватноћу појављивања лажног сигнала у временском интервалу Δt , онда вероватноћа погрешног резултата мерења износи $\frac{2 \cdot x_m}{c \cdot \Delta t} \cdot P_{\text{LS}}$. Како се захтева да она износи 0,01, онда за параметре анализираног

ласерског даљиномера добијамо да је $P_{\text{LS}} = 3 \cdot 10^{-6}$.

Према [6], за вероватноће $P_{\text{KS}} = 0.99$, $P_{\text{LS}} = 3 \cdot 10^{-6}$ и пропусни опсег пријемника $B = 8,3 \text{ MHz}$, однос сигнал/шум мора минимално да износи 145, односно 21,6 dB.

Нумеричка симулациона провера односа сигнал/шум ласерског мерача даљине СУВ-а тенка М-84, у зависности од метеоролошке видљивости за цео опсег мерења даљине, урађена је по алгоритму у којем се даљина до циља задаје у циклусу са кораком од 200 m, а метеоролошка видљивост уноси интерактивно као параметар. За коефицијент рефлексије циља узета је вредност $\rho_c = 0,1$ и претпостављено ја да ласер зрачи нормално на циљ.

Израчунавање односа сигнал/шум извршено је по следећем алгоритму [2] [7]:

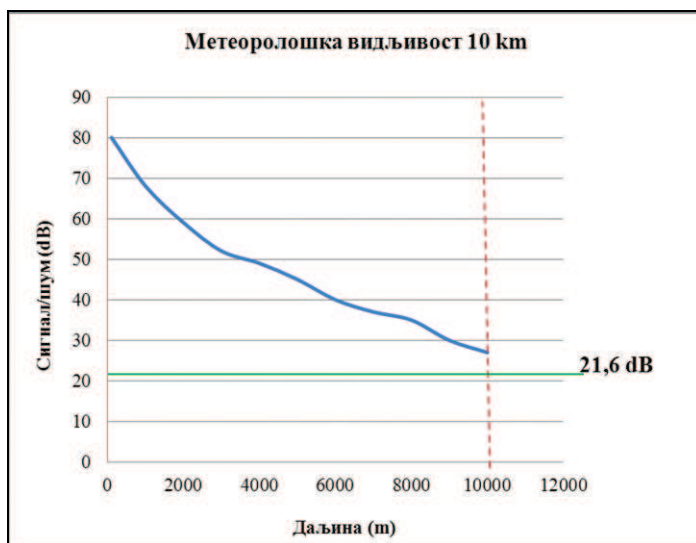
– у зависности од метеоролошке видљивости и даљине до циља израчунато је слабљење атмосфере;

– у зависности од коефицијента рефлексије циља, видног поља пријемника, пречника пријемног огледала и коефицијента трансмисије пријемне оптике израчуната је снага позадине и средња вредност струје позадине;

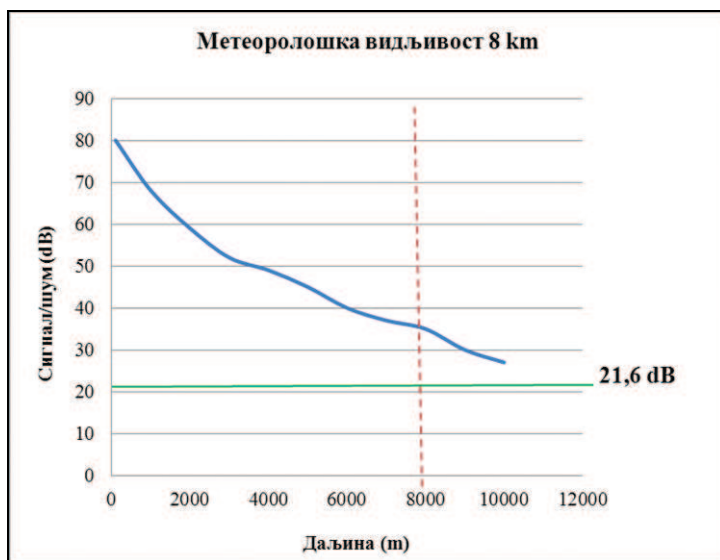
– у зависности од коефицијента трансмисије предајне оптике, коефицијента трансмисије заштитног филтра, излазне снаге ласера, угла између нормале површине мете и осе ласера, израчунати су корисна снага која долази на фотодиоду, средња вредност квадрата струје корисног сигнала и средња вредност струје корисног сигнала;

– у зависности од осетљивости, појачања, коефицијента јонизације фотодиоде, термичког шума фотодиоде, шума JFET претпојачавача и шума појачавача, израчунат је однос сигнал/шум пријемника.

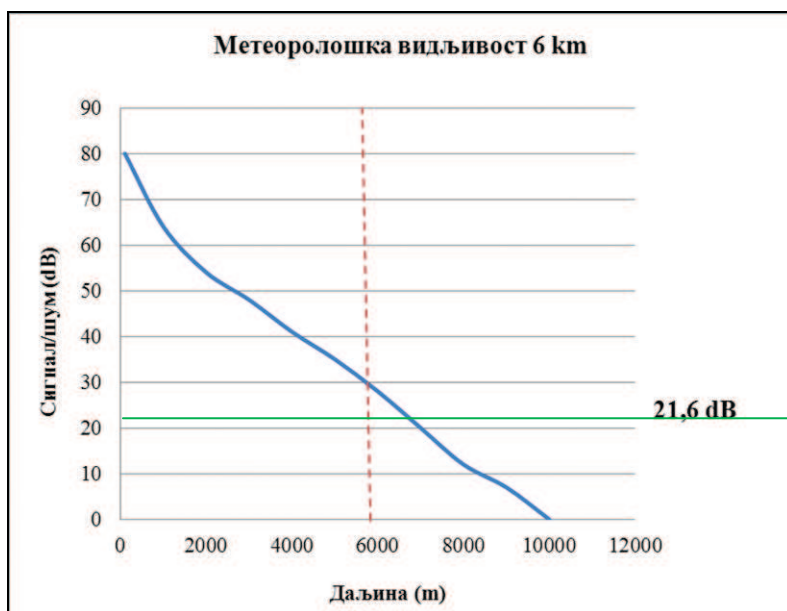
На сликама од 4 до 9 графички су приказани резултати нумеричког израчунавања односа сигнал/шум.



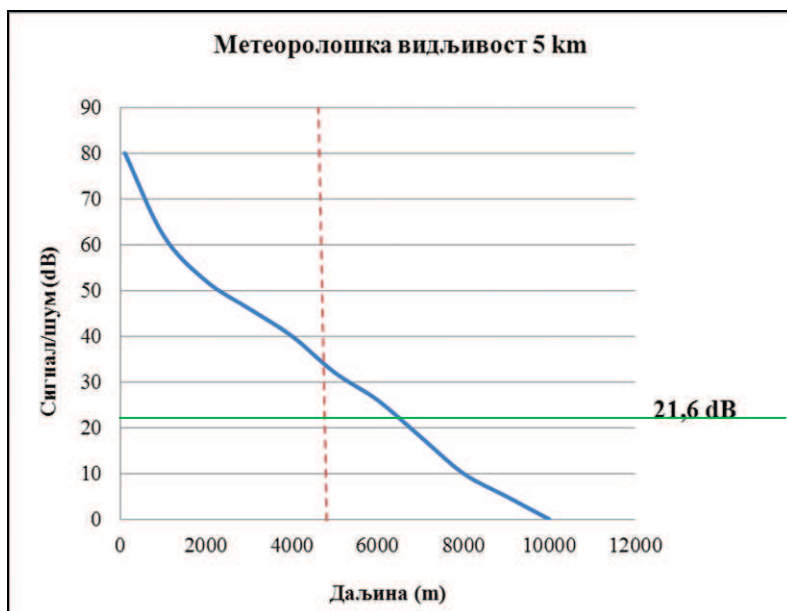
Слика 5 – Однос сигнал/шум за метеоролошку видљивост 10 km



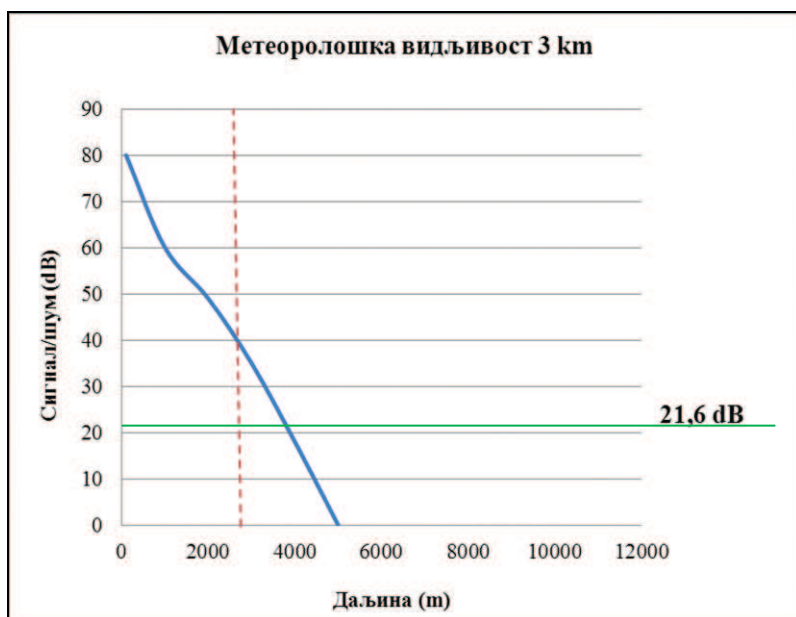
Слика 6 – Однос сигнал/шум за метеоролошку видљивост 8 km



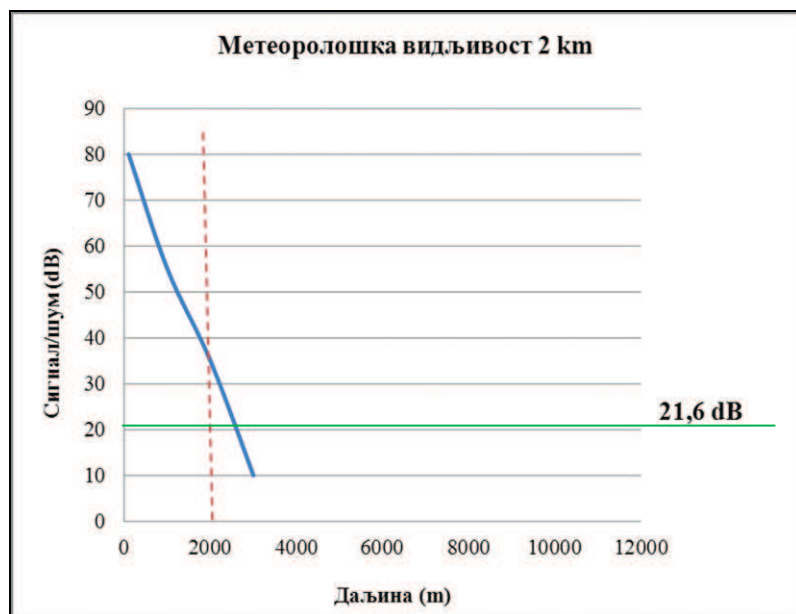
Слика 7 – Однос сигнал/шум за метеоролошку видљивост 6 km



Слика 8 – Однос сигнал/шум за метеоролошку видљивост 5 km



Слика 9 – Однос сигнал/шум за метеоролошку видљивост 3 km



Слика 10 – Однос сигнал/шум за метеоролошку видљивост 2 km

Са слика од 5 до 10 је очигледно да је за све метеоролошке видљивости однос сигнал/шум већи од минималног (21,6 dB) за даљине које су мање од метеоролошке видљивости, односно за оне даљине до којих има смисла мерити удаљеност циља, јер је циљ видљив.

Добијени резултати указују на неопходност увезивања оклопно-механизованих јединица са јединицама које располажу актуелном метеоролошком ситуацијом како би се ти резултати користили при одређивању даљине коришћењем ласера.

Развијени су системи ласерског оружја где се ласерски зраци усмеравају према циљу ради њиховог термичког уништења или оштећења. За ласерски зрак који се креће брзином светлости све мете су практично непокретне.

Истовремено, пружа се могућност ометања противника да ефикасно користи ласере, уколико се на актуелном делу фронта примењују оптички системи за расејавање и скретање ласерског снопа или задимљавање и на тај начин стварају аеросоли који онемогућавају тачно добијање резултата.

Закључак

Описивањем фактора оружане борбе и посебно техничког фактора указано је на значај примене ласера у повећању ефективности ватрених система.

У овом раду презентоване су неке карактеристике ласерског мерача даљине који је саставни део система за управљање ватром тенка М-84.

Најпре је презентован основни концепт мерења даљине импулсним ласером, као и концепт ласерског мерача даљине који се базира на Nd-YAG штапићу као активном елементу у ласерском предајнику и на лавинској фотодиоди као фотодетектору у ласерском пријемнику.

Показан је утицај напона напајања блескалице на број и енергију емитованог ласерског зрачења. Констатовано је да се повећањем тог побудног напона напајања повећава и број емитованих импулса, што је нежељени ефекат. Најбољи режим рада предајника постиже се када се емитује само један ласерски импулс максималне енергије. За тестирани ласерски мерач даљине то се постиже при напону побуде од 565 волти. У сваком појединачном случају потребна су посебна подешавања тог напона. Напон побудног кондензатора може се мењати у границама од 450 до 900 волти.

Констатовано је да се утицај температуре на генерисање ласерског зрака манифестује тако да: за веће температуре потребно је више побудне енергије за почетак генерисања ласерског импулса; максимална енергија зрачења у једном импулсу расте са порастом температуре; енергија коју је потребно уложити да би предајник зрачио максималном енергијом у једном импулсу расте са температуром.

Експериментално је одређен модул нормализоване трансфер функције пријемника и израчунат еквивалентни пропусни опсег пријемника. За задату вероватноћу детекције корисног сигнала и вероватноћу броја појављивања лажног сигнала израчунат је потребан минималан однос сигнал/шум пријемника који износи 21,6 dB.

Нумеричка симулација је показала да је за све метеоролошке видљивости однос сигнал/шум већи од 21,6 dB за даљине које су мање од метеоролошке видљивости.

ности, односно за оне даљине до којих има смисла мерити удаљеност циља, јер је циљ видљив, чиме смо показали да пријем ласерског мерача даљине одговара постављеним захтевима у смислу вероватноће детекције корисног сигнала и вероватноће појављивања погрешног резултата.

Такође, анализиран је и утицај атмосфере на простирање емитованог ласерског зрачења. Констатовано је да је за таласну дужину Nd-YAG ласера (1,064 μm) најважнија компонента атмосферског слабљења расејање на честицама аеросола. Наведена је и семиемпиријска формула помоћу које се израчунава слабљење ласерског зрачења таласне дужине T при проласку кроз атмосферу, у зависности од метеоролошке видљивости. Због тога је неопходно обезбедити метеоролошке податке који су актуелни у моменту употребе ласера.

Указано је на ширу могућност примене ласера, као и неопходност заштите од противничких ласера применом оптичких система за расејавање ласерског снопа или задимљавање.

Анализиране перформансе овог ласерског мерача даљине у потпуности задовољавају постављене стандарде.

Литература

- [1] Virembski, V. F., „Vojna laserska tehnika“, Vojnoizdavački novinski centar, Beograd, 1986.
- [2] Јоксимовић, Д., *Импулсни ласерски мерач даљине*, магистарски рад, Електротехнички факултет, Београд, 1996.
- [3] Koechner, W., Solid-State Laser Engineering, Springer Series in Optical Sciences, 2006.
- [4] Liebe, C. Ch., Abramovici, A., Bartman, R. K., Bunker, L. R., Chapsky, J., Chu, Ch.-Ch., Clouse, D., Dillon, J. W., Hausmann, B., Hemmati, H., Kornfeld, P. R., Kwa, C., Mobasser, S., Newell, M., Padgett, C., Roberts, W. T., Spiers, G., Warfield, Z., Wright, M. „Laser Radar for Spacecraft Guidance Applications“, Aerospace Conference, March 8-15, 2003, Proceedings, IEEE, 2003, Vol. 6.
- [5] Mučibabić, S., „Vreme kao činilac uslova u oružanoj borbi“, Vojno delo, br. 6, Beograd, 97-120, 1983.
- [6] Mučibabić, S., „Tehnologija i strategije sada i u budućnosti“ Uvodno predavanje po pozivu, Naučni skup - Odbrambene tehnologije u funkciji mira, Vojna akademija, 2005.
- [7] Bahuguna, K. C., Prabhat Sharma, Vasan, N. S., Gaba, S. P., „Laser Range Sensors“, *Defence Science Journal*, Vol. 57, No. 6, November 2007, pp. 881-890.
- [8] Laser Handbook, Vol. 2, ed. By F. T. Arrecchi and F. O. Schulz-Dubois, North-Holland Publishing Co Amsterdam, 1972.
- [9] Nejad, S. M., Olyaei, S., „Low-Noise High-Accuracy TOF Laser Range Finder“, *American Journal of Applied Sciences* Vol. 5, No. 7, pp. 755-762, 2008.