

**Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Војна академија Универзитета одбране у Београду**



**Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство
Ниво студија: Основне академске студије
Модул: Наоружање
Предмет: Конструкција аутоматског наоружања
Број индекса: 517/2012**

**Ненад З. Вранић
Упоредна анализа принципа рада
аутоматског оружја калибра 12,7 mm
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. Доцент др Александар Кари дипл. инж. - ментор**
- 2. Проф. др Богдан Недић - председник**
- 3. др Дамир Јерковић, дипл. инж. - члан**

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

1. Извршити класификацију принципа рада аутоматских оружја.
2. Дефинисати основне карактеристике аутоматских оружја.
3. За изабрани калибар оружја и дефинисане балистичке и конструктивне карактеристике извршити унутрашње балистички прорачун.
4. Дати математичко-механичку формулацију изабраних могућих принципа рада за наведени калибар оружја и на основу дефинисаних модела направити симулацију.
5. Према изабраним критеријумима упоредити и анализирати добијене резултате и извршити избор најпогоднијег принципа рада.

Препоручена литература:

- [1] Chinn G. M., The machine gun, Bureau of ordnance – Department of Navy, Washington, 1951.
- [2] Петровић М., Механика аутоматског оружја, Медија центар „Одбрана“, Београд, 2007.
- [3] М. Васиљевић: Аутоматска оружја I и II, скрипта, ТШЦ КоВ, Загреб, 1970.
- [4] Алферов В. В., Конструкција и прорачун аутоматског оружја (на руском), Машиностроение, Москва, 1977.
- [5] Кари А., Предавања и презентације из предмета Конструкција аутоматског оружја у школској 2014-15. години, ФИН Крагујевац
- [6] Бабак Ф. К., Основе стрељачког оружја (на руском), Полигон, Санкт-Петербург, 2003.
- [7] Танчић Љ., Збирка задатака из унутрашње балистике, Војна академија, Београд, 1997.

Крагујевац, Септембар 2016

Ментор:
Доцент др Александар Кари дипл. инж.

САДРЖАЈ

РЕЗИМЕ	4
1. УВОД	5
2. ПРИНЦИПИ РАДА АУТОМАТСКОГ ОРУЖЈА	6
2.1. Чист гасни потисак	7
2.2. Гасни потисак са предопаљењем	9
3. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ АУТОМАТСКОГ ОРУЖЈА	12
3.1. Борбене карактеристике	12
3.1.1 Моћ оружја	13
3.1.2 Покретљивост оружја	15
3.1.3 Поузданост дејства	16
3.2 Конструкционе карактеристике	16
3.3 Употребне (експлоатационе) карактеристике	16
3.4 Производно-економске карактеристике	17
4. ПРОРАЧУН УНУТРАШЊЕ БАЛИСТИКЕ	17
4.1. Опис полазних података УБ прорачуна	18
5. МАТЕМАТИЧКО-МЕХАНИЧКА ФОРМУЛАЦИЈА ИЗАБРАНИХ СИСТЕМА РАДА, КАЛИБРА 12,7 mm	20
5.1 Чист гасни потисак	20
5.2 Гасни потисак са предопаљењем	21
5.3 Симулација чистог гасног потиска у програму МАТЛАБ	22
5.4 Симулација гасног потиска са предопаљењем у програму МАТЛАБ	26
5.5 Анализа резултата симулације	31
6. ЗАКЉУЧАК	32
ЛИТЕРАТУРА	33
ПРИЛОЗИ	34

Summary

This paper explores the problem of choosing the principles of automatic weapon M87 machine gun, caliber 12.7 mm. Contains the classification principles of automatic weapons, defining the basic characteristics of automatic weapons. In addition the interior ballistic analysis for 12.7 mm was made, then the mathematical and mechanical formulation of selected principles was given. According to the selected criteria comparison was made between the two principles and with the principle that is applied to a given weapon and that is gas operation.

Keywords: automatic weapons, IB analysis, rate of fire, bolt weight, plain blow-back, primer ignition, gas operation

Резиме

У овом раду се истражује проблем избора принципа рада за аутоматско оружје митраљез М87, калибра 12,7 mm. Садржи класификацију принципа рада аутоматских оружја, дефинисање основних карактеристика аутоматских оружја. Поред тога за калибар оружја 12,7 mm извршен је унутрашње балистички прорачун, затим је дата математичко-механичка формулација изабраних принципа рада. Према изабраним критеријумима извршено је упоређивање између ова два принципа рада, као и са принципом рада који се примењује за дато оружје, а то је позајмица барутних гасова.

Кључне речи: аутоматско оружје, УБ прорачун, брзина гађања, маса затварача, чист гасни потисак, предопаљење, позајмица барутних гасова

1. Увод

Митраљеви су аутоматска оружја намењена за неутралисање групних циљева на земљи на даљинама до 1000 m или за противавионску борбу. Имају постоље са којег се гађа.

Митраљеви могу успешно да се користе и за гађање лакооклопљених борбених возила и циљева у ваздуху (падобранаца, хеликоптера и нисколетећих авиона). У зависности од масе митраљеза делимо на тешке и лаке, где су тешки са масама преко 20 kg. У зависности од калибра митраљеви се деле на:

- малокалибарске од 5,56 – 8 mm ;
- великокалибарске, калибра 11 – 20 mm.

Митраљез М87 је лиценцирани производ базиран на совјетском НСВ-у, једном од најбољих тешких митраљеза који су направљени.

Функционише на принципу позајмице барутних гасова, са попречно клинастим затварачем као системом брављења. Конструкција митраљеза обезбеђује поуздано функционисање, без застоја, у свим климатским и теренским условима.

Цев је израђена методом хладног ковања, а унутрашњост цеви је хромирана, што обезбеђује дуготрајност са непромењеним балистичким карактеристикама. Цев се брзо и лако демонтира са митраљеза, тако да је у екстремном режиму коришћења могуће њено брзо хлађење или замена резервом.

Пуњење митраљеза врши се из реденика, смештеног у муницијску кутију, капацитета 60 метака.

Чауре се након опаљења избацују напред, чиме је повећана безбедност стрелаца и људства у његовом окружењу.

Скривач пламена на устима цеви распршује барутне гасове и смањује блесак пламена, чиме се маскира положај оружја.

Зависно од намене, митраљез се, са одговарајућом колевком, може уградити на различите типове борбених средстава [1], [2].



Слика 1: митраљез М87, 12,7x108 mm [2].

Као што смо напоменули да митраљез М87 као принцип рада користи позајмицу барутних гасова, у даљем току рада ћемо извршити упоредну анализу за дати митраљез, изабраним принципима рада а то су чист гасни потисак и предопаљење.

2. Принципи рада аутоматског оружја

За извршење свих операција, које су неопходне за аутоматску паљбу (пуњење, забрављивање затварача, окидање, опаљење, извлачење и избацивање чауре опаљеног метка) оружје има следеће главне делове и механизме:

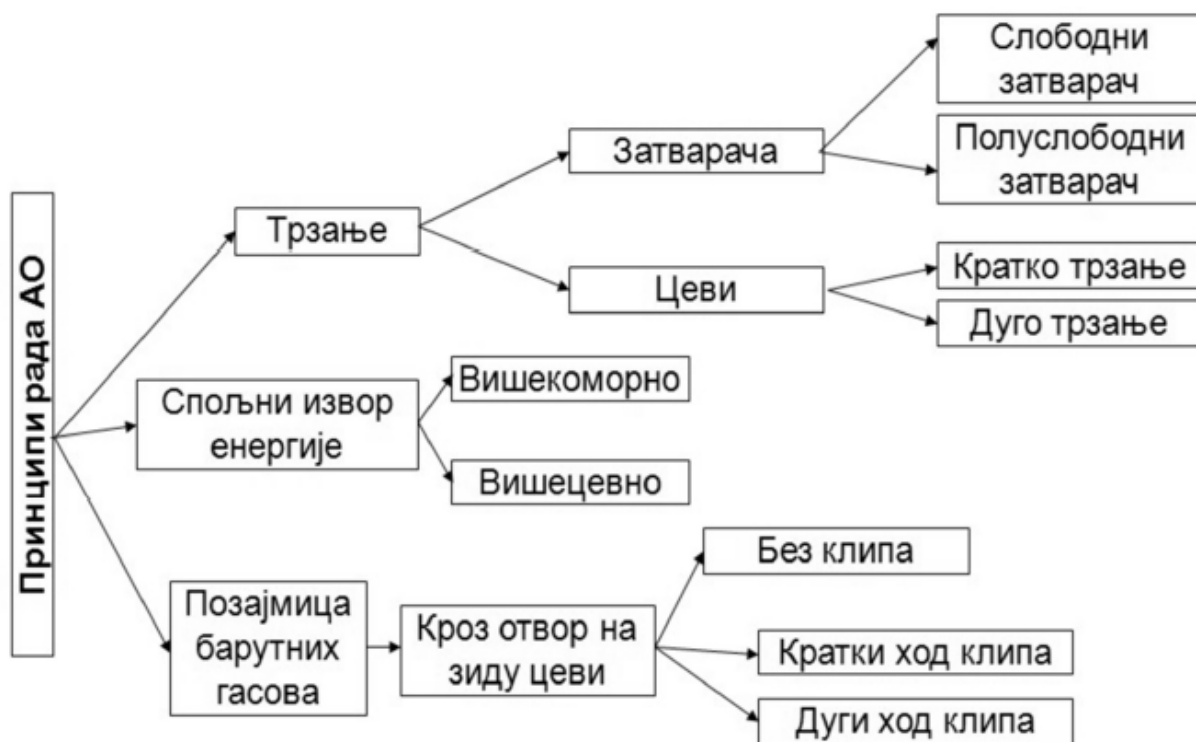
- цев,
- сандук са рукохватом,
- механизам за затварање и отварање цеви:
 - затварач,
 - механизми за забрављивање затварача,
- механизам за убрзање кретања затварача,
- механизам за храњење,
- механизам за уклањање чауре,
- ударни механизам,
- механизам за окидање,
- сигурносни механизми и
- помоћни механизми.

Да би се повећала ватрена моћ оружја одређеног калибра, неопходно је да оружје има механизам аутоматике, који омогућава велику брзину гађања, односно да се испали што већи број метака у јединици времена.

Највећи број радњи - фаза циклуса рада аутоматског оружја обавља механизам аутоматике и то: опаљење метка, одбрављивање затварача, извлачење и избацивање чауре, сабијање повратне опруге, уношење метка, затварање цеви и забрављивање затварача. Да би брзина гађања била већа, све ове радње механизам аутоматике мора извршити у што краћем времену. За покретање механизма аутоматике користи се енергија барутних гасова. Постоји више начина искоришћења притиска барутних гасова за покретање механизма аутоматике. Од начина искоришћења барутних гасова и система рада, зависи конструкциони облик аутоматског оружја.

Према начину коришћења примарне енергије која покреће механизме аутоматских оружја:

- са трзањем цеви и затварача (за рад оружја користи се енергија трзајућих делова или потисак трзајућих маса),
- са трзањем само затварача (за рад оружја користи се притисак барутних гасова створен у цеви експанзијом гасова прогресивно горућег пуњења – или рад потиска гасова),
- оружја револверског типа и
- механизована оружја (за рад оружја се користи спољашњи извор енергије) [1].



Слика 2: Принципи рада аутоматског оружја [1].

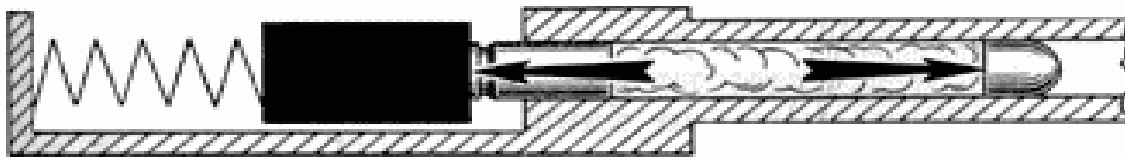
2.1 Чист гасни потисак

Код система на бази гасног потиска цев је непомична у односу на сандук оружја, а у процесу опаљења трза само затварач. Аутоматска оружја са гасним потиском се даље могу поделити на:

- оружја са директним гасним потиском:
 - чист гасни потисак,
 - гасни потисак са предопалењем,
 - гасни потисак са кашњењем,
 - оружја са повратним гасним потиском,
- оружја са одвођењем гасова – позајмица.

Код ове врсте оружја (чист гасни потисак), масивни затварач смештен је у сандуку и ослања се само на повратну опругу. Овај тип оружја дели се на две врсте:

- оружје које за кочење трзања затварача користи силу инерције затварача са релативно великом масом и силу отпора повратне опруге
- оружје са трзањем затварача уз раније опаљење



Слика 3: Чист гасни потисак [1].

Код прве наведене врсте оружја (слика 3), затварач је приљубљен уз задњи пресек цеви, помоћу повратне опруге која се другим крајем ослања о непокретни део оружја – сандук. Након опаљења метка, притисак барутних гасова нагло потискује затварач уназад, који извлачи и избацује чауру и сабија повратну опругу. Потенцијална енергија (сила отпора) сабијене опруге зауставља кретање затварача на одређеном путу и враћа затварач у предњи положај, при чему убацује и нови метак у цев.

Ова врста оружја је једноставне конструкције, али се може користити само за метак са малим барутним пуњењем – пиштољски метак. Зато се овај принцип рада користи само за пиштоље и аутомате – чија кратка цев и релативно мали притисак барутних гасова омогућују коришћење затварача без класичног забрављивања.

Предности овог система рада аутоматике су: једноставна конструкција оружја, нема посебних склопова за забрављивање, нема гасног цилиндра и отвора за позајмицу гасова, фиксна цев је подесна за коришћење оквира, једноставна употреба и одржавање.

Недостаци овог система су: велика маса затварача, мања брзина гађања са већим калибрима, могућност одбрављивања док зрно није излетело из цеви. Осим за пиштоље и за аутомате овај принцип рада имали су и аутоматски топови калибра мањег од 30 mm [1], [3].

На следећим сликама биће приказани неки модели оружја који раде на принципу чистог гасног потиска.



Слика 4: Аутоматски пиштољ М84 [5].



Слика 5: Аутомат М56 [5].



Слика 6: Аутомат МП40 [5].



Слика 7: Аутомат Стен Мк. [5].

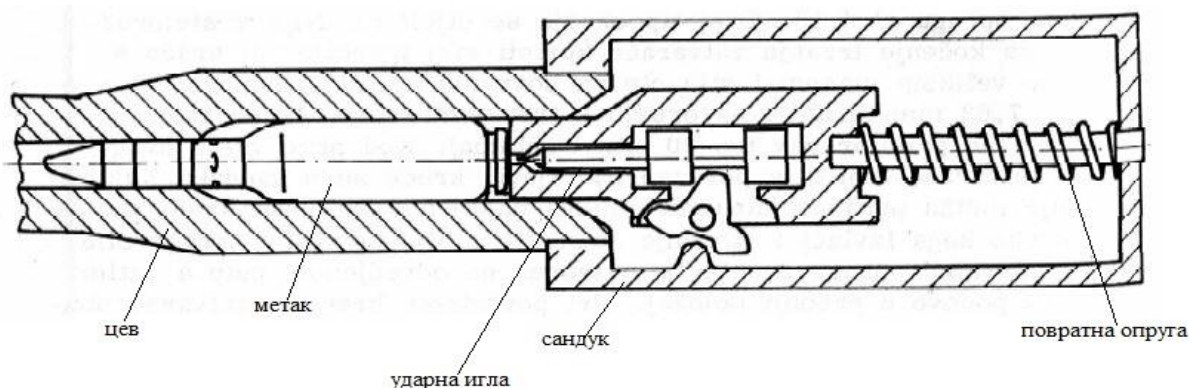
2.2 Гасни потисак са предопаљењем

Временско подешавање активирања каписле метка је тако да се нови метак опали управо пре него што се затварач врати у забрављени положај, омогућава да први део импулса који ствара сила барутних гасова делује као одбојник за затварач који се враћа.

Остатак импулса даје енергију за трзање затварача. Систем који апсорбује један део импулса на овај начин се назива гасни потисак са предопаљењем каписле метка.

Захваљујући својој способности да располаже утицајем силе барутних гасова при трзању, систем гасног потиска са предопаљењем каписле се много боље може прилагодити великим брзинама гађања него систем чистог гасног потиска. Само смањење ефективности импулса за око педест процената смањује масу затварача за фактор два уз знатно повећање брзине гађања.

Ограничавајуће компоненте се могу посматрати као реалне и виртуелне. Реалне компоненте су затварач и повратна опруга, а виртуелна је количина кретања затварача у враћању. На слици 8, дат је шематски приказ система гасног потиска са предопаљењем каписле. Циклус гађања почиње са затварачем у запетом положају, у којем га држи запињача, а повратна опруга је сабијена. Отпуштањем запињаче ослобађа се затварач тако да га опруга тера напред. Затварач у покету захвата метак из механизма за доношење и потискује га у лежиште метка. Непосредно пре него што се метак смести у лежиште, механизам за опаљење активира капислу. Механизам за опаљење је тако постављен и временски подешен да се активира када чаура има адекватан ослонац у тренутку када притисак барутних гасова достигне такве вредности да би могао да изазове оштећења чауре.



Слика 8: Шематски приказ система гасног потиска са предопаљењем [4].

Чим се прекине кретање унапред, континуирана сила барутних гасова потискује затварач уназад у трзању. У току трзања чаура се извлачи, а повратна опруга сабија све док се не апсорбује сва поврата енергија да се зауставе трзајући делови. Ако се запињача држи у одбрављеном положају, циклус се понавља и гађање се аутоматски наставља.

Предности овог принципа рада су могућност употребе затварача мање масе и велика брзина гађања.

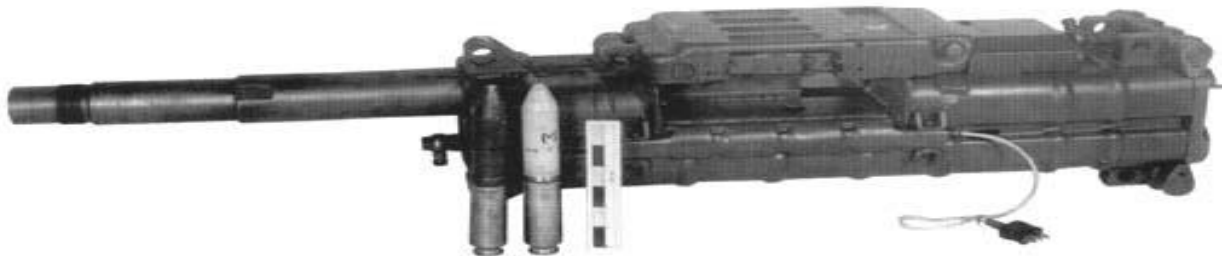
Недостаци су: сложенија конструкција затварача и лежишта метка, немогућност јединачне паљбе и мања прецизност.

Овакав принцип рада је коришћен за конструкцију неких аутомата, митраљеза, па и ПА топова [4], [1].

На следећим сликама биће приказани неки модели оружја који раде на принципу гасног потиска са предопаљењем.



Слика 9: Аутомат Стерлинг Л2А3 [5].



Слика 10: Топ МК 108, 30 mm [5].



Слика 11: Аутоматски топ Оерликон, 20 mm [5].

3. Опште карактеристике аутоматског оружја

У току развоја и експлоатације стрељачког оружја уочене су, независно од врсте и типа оружја, његове опште карактеристике. Познавање система општих карактеристика оружја помаже да се правилно оцене модели оружја и поставе смернице за њихово усавршавање. Познавањем општих карактеристика лакше се решавају проблеми експлоатационих захтева, како при модификацијама постојећег оружја, тако и при пројектовању новог. Осим општих, постоје и тзв. посебне карактеристике, специфичне за конкретан тип или врсту оружја. Тако се нпр. посебне карактеристике револвера разликују од посебних карактеристика аутомата или јуришних пушака.

Може се рећи да су тактичко-технички захтеви, у ствари, жељене карактеристике, а да су карактеристике реализовани захтеви постављени пред ново или модификовано оружје.

Опште карактеристике омогућавају идентификацију и процену модела оружја у смислу конструкције, производње и борбене употребе .

Опште карактеристике стрељачког оружја могу се поделити у четири основне групе:

- борбене,
- конструкционе,
- употребне (експлоатационе) и
- производно-економске [1].

3.1 Борбене карактеристике

Под борбеним карактеристикама оружја сматрају се таква својства оружја која карактеришу могућност ватреног дејства на противника уз нормалан безотказни рад.



Слика 12: Борбене карактеристике аутоматског оружја [1].

3.1.1 Моћ оружја

Моћ оружја мери се укупном количином енергије коју имају испалена зрна при удару у циљ у јединици времена.

$$M = Enp$$

$$E = \frac{mv_c^2}{2} \text{ - кинетичка енергија зрна на циљу,}$$

n - број опаљења у јединици времена (практична брзина гађања),

p - вероватноћа погађања.

На моћ оружја утичу:

Повећање енергије зрна на циљу повећава моћ оружја.

- Како је $m = const$, следи да на енергију утиче само брзина v_c која зависи од v_0 , балистичких својстава зрна и даљине гађања.

Повећање практичне брзине гађања повећава моћ оружја, али негативно утиче на вероватноћу погађања.

Повећањем вероватноће погађања расте и моћ оружја.

- Вероватноћу погађања карактерише прецизност оружја.

У састав моћи оружја улазе балистичка својства оружја:

- дејство зрна на циљу,
- ефикасност гађања,
- ефикасни дOMET оружја и
- брзина гађања.

Дејство зрна на циљу је ефекат који прави зрно испалено из датог типа оружја и погађа задати циљ на одређеној удаљености.

Посматра се кроз:

- убитачно дејство зрна и
- зауставну моћ.

Убитачно дејство зрна је дејство које обезбеђује уништавање живих циљева нарушавањем животних функција организма.

Квантитативна оцена убитачног дејства зрна може се извршити на основу емпиријски добијеног израза за губитак кинетичке енергије зрна при судару са циљем:

$$\Delta E = 3,3 \cdot 10^5 \lambda d^2 (1 + 1,8 \cdot 10^{-5} v_c^2)$$

Ако се усвоји да је за пушчано зрно калибра 7,62 mm, онда се за остала зрна коефицијент облика зрна може израчунати на основу експерименталног израза: $\lambda = 1,91 - 0,35 \frac{h}{d}$

Убитачно дејство зрна зависи од:

- пробојне способности,
- споредног дејства,
- брзине и
- зауставног дејства.

Пробојно дејство се карактерише дубином продора зрна у преграду одређене густине.

На дубину продора зрна кроз препреку утичу:

- кинетичка енергија зрна при судару са препреком,
- калибар и маса зрна,
- угао сусрета зрна са препреком и
- својства материјала препреке.

Споредно (пратеће) дејство зрна је способност зрна да разори делове тела (органе) који се налазе у близини улазне ране.

Зависи од стабилности зрна у лету и деформације зрна. Стабилност зрна зависи од облика зрна и стабилности његовог центра масе.

Зауставна моћ

Према Хачеру (Julian Hatcher, 1935.): $C = 0,178 \cdot m \cdot v_c \cdot S \cdot F$

- где је F коефицијент облика зрна који се креће у границама од 0,9 (за обична) до 1,25 (за експанзивна зрна)

Према Жосерану: $C = E \cdot S$

Према руској литератури постоје две методологије:

1. неопходна минимална кинетичка енергија зрна износи 80 J,
2. минимална потребна специфична енергија зрна износи $1,5 \frac{J}{mm^2}$.

Ефикасност гађања

Оцењује се на основу слике растурања погодака у зависности од врсте оружја, односно преко прецизности (степен груписања погодака у околини средњег поготка) и тачности (степен измештања средњег поготка од жељене тачке циља).

Одлучујући утицај на растурање погодака при рафалној паљби има стабилност оружја, односно способност оружја да сачува свој положај (правац цеви) који му је дат пре првог опаљења.

Ефикасни домет

Представља скуп својстава оружја које карактеришу могућност ефикасног гађања у зависности од даљине.

Зависи од:

- крајњег домета зрна,
- стварног домета,
- брисаног домета и
- нишанске даљине.

Крајњи домет лета зрна одражава крајње могућности употребе одређене врсте оружја. За оцену стрелачког оружја данас се ова карактеристика не узима у обзир.

Стварни домет представља даљину гађања на којој је сачувана задата ефикасност гађања (вероватноћа погађања и дејство на циљу).

Брисани домет је даљина гађања при којој висина трајекторије не прелази висину циља.

Нишанска даљина одговара највећем подеоку на нишану. Нишанска линија условљава стварни домет оружја.

Брзина гађања

Брзина гађања представља број опалених метака у јединици времена. Може се поделити на практичну и теоријску брзину гађања.

Практична брзина гађања подразумева се брзина гађања која се може постићи у борбеним условима при гађању из датог модела оружја уз задату тачност и прецизност, узимајући у обзир и губитак времена за нишањење, пуњење оружја, отклањање моћућих застоја који се појаве у току гађања и пренос ватре с једног циља на други.

$$n = \frac{60}{\frac{t_n}{S} + t_c + \frac{t_p}{e}}$$

t_n - време нишањења у секунди,

t_p - време пуњења оружја у секунди,

t_e - време трајања једног циклуса рада аутоматике у секунди,

e - број метака у оквиру или реденику,

S - број метака у рафалу.

Теоријска брзина гађања (n_t) означава број метака који се може опалити из аутоматског оружја у јединици времена при непрекидној аутоматској палби [1].

3.1.2 Покретљивост оружја

Подразумева његову преносивост (транспортабилност), пренос ватре и могућност примене у различитим условима. Преносивост се обезбеђује ограничењем масе и димензија оружја и борбеног комплета, али и погодношћу за транспортовање.

Оцена конструкције оружја по маси може се извршити на основу коефицијента искоришћења метала. За аутоматска оружја коефицијент искоришћења метала одређује се на основу израза: $\eta = \frac{E_0 n_t}{60m}$

За неаутоматска и полуаутоматска оружја је: $\eta = \frac{E_0}{m}$ [1].

3.1.3 Поузданост дејства

Представља свеукупност карактеристика која показују безотказни рад оружја, његов животни век и неосетљивост на спољне утицаје и оштећења. Безотказни или сигуран рад механизма аутоматике је једно од најважнијих експлоатационих својстава оружја и најчешће се оцењује бројем застоја на 1000 опаљених метака.

Безбедност при руковању оружјем се постиже коришћењем висококвалитетних материјала – челика за израду делова оружја и уградњом сигурносних механизма.

Животни век оружја карактерише дуговечност нормалног рада оружја и његових делова [1].

3.2 Конструкционе карактеристике

У конструкционе карактеристике спадају:

- принципијелна шема рада
- специфичности конструкције склопова и делова (тип аутоматике, врста затварача итд.),
- димензије оружја о борбеном и маршевском положају,
- маса оружја,
- једноставност конструкције.

3.3 Употребне (експлоатационе) карактеристике

Треба да обезбеде једноставан, удобан и незаморан рад са свим механизмима оружја и безбедност гађања, а такође, и рад аутоматике и руковање оружјем у жељеним условима употребе.

На ове карактеристике утичу:

1. чврстоћа делова на које директно делује притисак барутних гасова,
2. немогућност да у току гађања дође до одвајања делова на које директно делује притисак барутних гасова и
3. степен безбедности од повређивања при свакодневном руковању оружјем.

У експлоатационе карактеристике спада и једноставност руковања оружјем која обезбеђује најједноставније одржавање оружја у току свакодневне експлоатације и једноставно и поуздано пуњење у различитим условима.

На лакоћу и удобност руковања (ергономију) утичу:

- величина неопходних сила и енергије које стрелац треба да примени и потроши у току руковања оружјем и
- ниво дејства оружја на самог стрелца: трзањем, звуком, барутним гасовима, ударним таласом и сл. [1].

3.4 Производно–економске карактеристике

То су сва она својства која обезбеђују једноставност и јефтину производњу оружја уз очување свих осталих квалитета. Обично се пореде на основу цене производње, тешкоће производње, дужине технолошког процеса производње и сл.

Сви начини снижења цене производње (од упрошћења конструкције оружја, усавршавања технологије производње до коришћења јефтиних материјала.) су дозвољени све док нису нарушене борбене и балистичке особине оружја [1].

4. Прорачун унутрашње балистике

Унутрашње-балистички прорачун је урађен по методи Дроздова. Овај метод се заснива на аналитичком решавању система једначина унутрашње балистике. Решавањем ових једначина добијају се вредности карактеристика опаљења на основу познатих карактеристика цеви, пројектила и карактеристика употребљеног барута.

У УБ прорачуну коришћен је барут NC-026. Карактеристике цеви су узете са конструктивних цртежа, а за метак је узет метак В-32.

Решавање система једначина по методу Дроздова врши се по периодима. Претходни период даје улазне величине за први период. У претходном периоду нема кретања пројектила већ сагоревање барута у простору сталне запремине. Први период траје од почетка кретања пројектила па до краја сагоревања барута. У другом периоду имамо кретање пројектила под дејством притиска барутних гасова. Други период траје од краја сагоревања барута до момента изласка пројектила из цеви оружја. Трећи период чини накнадно дејство барутних гасова.

Из приложеног УБ прорачуна у прилогу број 1 може се видети максимални притисак барутних гасова у цеви митраљеза М87, $p_m = 335 \text{ MPa}$, а брзина пројектила на устима цеви $V_0 = 877 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

4.1 Опис полазних података УБ прорачун

Програмска решења методе Дроздова за унутрашње-балистички прорачун направљена су у програмским језицима Фортран и Паскал. Дефинисање законитости кретања пројектила у процесу опаљења огледа се у решавању система једначина по периодима. Изузетак је ток времена који се изводи за цео ток процеса опаљења. Све константе које улазе у систем једначина представљају полазне податке и подразумева се да су познате њихове бројчане вредности. Улазни подаци се добијају на основу врсте барута који се користи, на основу карактеристика самог пројектила и карактеристика цеви оружја.

Полазни подаци су груписани као:

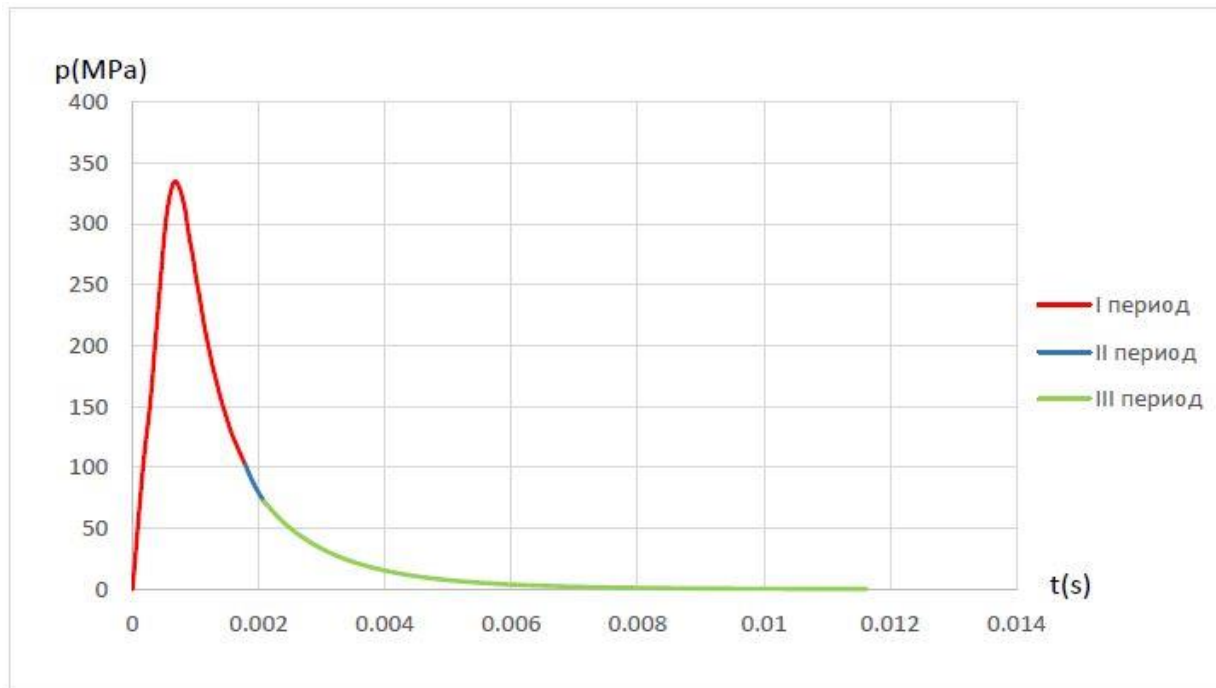
- карактеристике цеви: S_c , W_0 , X_u ;
- карактеристике пројектила: m , p_0 , φ ;
- карактеристике барута: m_b , f_b , α , u_{z0} , ρ_b , θ , $2\tau_0$, k , λ , μ ;

За дато оружје, барут и метак познати су следећи подаци:

S_c - попречни пресек канала цеви ;
 W_0 - запремину барутне коморе ;
 X_u - укупан пут пројектила у цеви ;
 m_b - маса барутног пуњења ;
 m - маса пројектила ;
 θ - однос специфичних топлота умањених за 1 ;
 p_0 - притисак форсирања ;
 ρ_b - запреминска маса барута ;

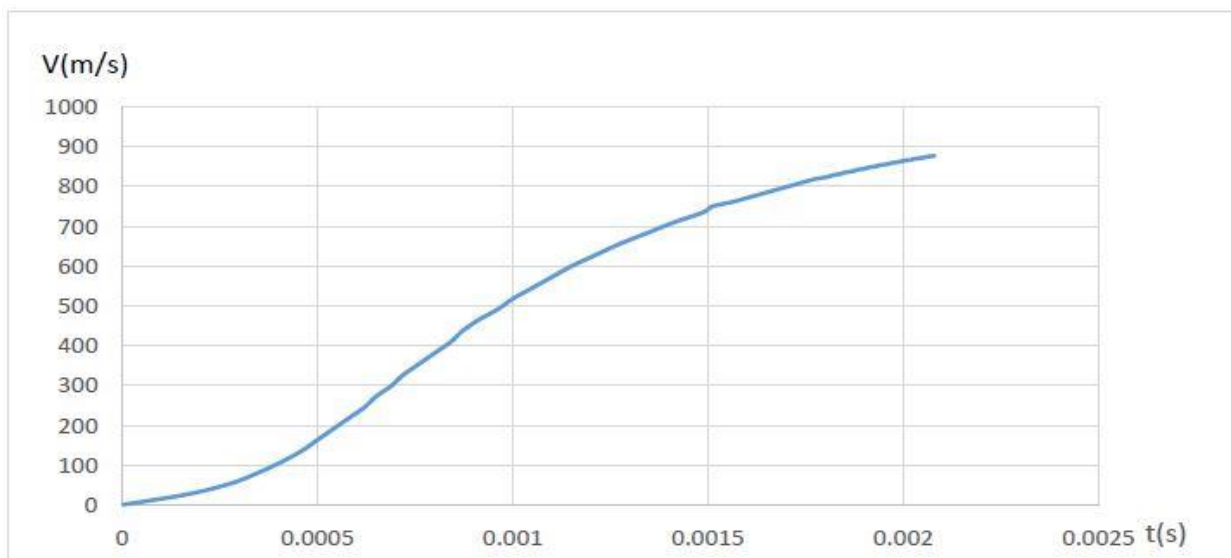
Остали подаци се добијају поступцима и формулама које се налазе у литератури [6], а представљају:

φ - коефицијент фиктивности ;
 α - коволумен барутних гасова ;
 τ_0 - половина дебљине барутног зрна ;
 k_1 , λ_1 - коефицијенти облика ;
 f_b - специфичан рад барутних гасова ;
 u_{z0} - јединична брзина сагоревања барута .



Слика 13: Промена притиска барутних гасова у зависности од времена

Са слике 13 се може видети да у првом периоду имамо нагли скок и достизање максималног притиска ($p_m=335$ МПа), а затим имамо нагли пад до 100 МПа, одакле почиње други период који траје најкраће, где је настављен пад до 75 МПа, трећи период траје најдуже, али вредност притиска пада од 0,002 s до 0,007 s где достиже вредност приближна нули.



Слика 14: Промена брзине по времену

Са слике 14 се може видети да се брзина постепено повећава, и након времена од 0,00208 s достиже максималну брзину од $877 \frac{m}{s}$.

5. Математичко-механичка формулација изабраних система рада, калибра 12,7 mm

Изабрани системи рада су описани у ставкама 2.1 и 2.2 .

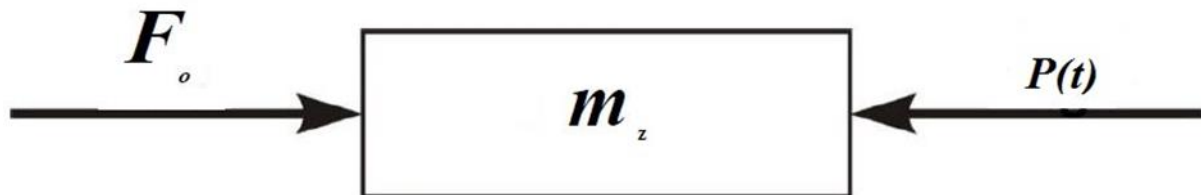
5.1 Чист гасни потисак

Математичко-механички модел кретања се састоји од две одвојене фазе.

I фаза

Прва фаза представља време дејства барутних гасова. У овој фази имамо дејство силе барутних гасова којој се супроставља опруга.

На слици 15 је шематски приказ прве фазе.



Слика 15: Шематски приказ прве фазе

$$m_z \cdot \frac{dv_z}{dt} = P - F_0, \quad (1)$$

$$\frac{dv_z}{dt} = \frac{1}{m_z} \cdot (P - F_0), \quad (2)$$

$$\frac{dx}{dt} = v_z, \quad (3)$$

Почетни услови су: $x = t = v = 0$,

Крајње стање: $x = x_1, t = t_1, v = v_1$.

Где су:

F_0 – Сила повратне опруге,

m_z – Маса затварача,

$P(t)$ – Сила притиска барутних гасова.

t – време,

x – пређени пут,

v – брзина.

II фаза

Друга фаза је фаза слободног кретања затварача унапред, под дејством силе повратне опруге.

На слици 16 је шематски приказ друге фазе.



Слика 16: Шематски приказ друге фазе

$$m_z \cdot \frac{dv_z}{dt} = -F_0, (1)$$

$$\frac{dv_z}{dt} = \frac{1}{m_z} \cdot (-F_0), (2)$$

$$\frac{dx}{dt} = v_z, (3)$$

Почетни услови: $t = t_1, x = x_1, v = v_1$

Крајње стање: $x = 0$ [1], [7].

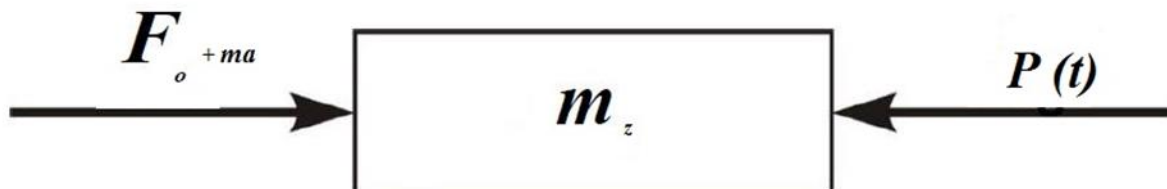
5.2 Гасни потисак са предопаљењем

Математичко-механички модел се састоји из две фазе.

I фаза

Прва фаза почиње од тренутка опаљења метка траје до забрављивања. Затварач већ има силу инерције под дејством силе повратне опруге на кога деје сила барутних гасова.

На слици 17 је шематски приказ прве фазе.



Слика 17: Шематски приказ прве фазе

$$m_z \cdot \frac{dv_z}{dt} = -F_0 - m_z \frac{dv_{z0}}{dt} + P, (1)$$

$$\frac{dv_z}{dt} = -\frac{dv_{z0}}{dt} + \frac{1}{m_z} (P - F_0), (2)$$

$$\frac{dx}{dt} = v_z, (3)$$

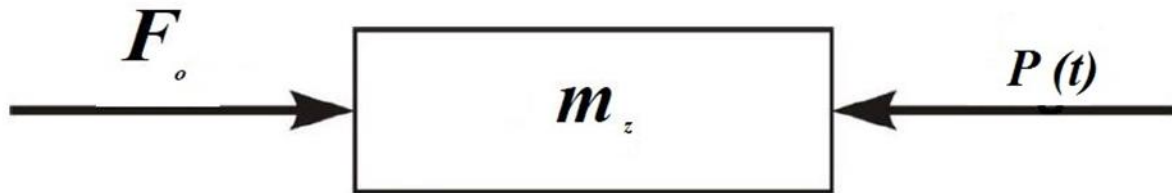
Полазни услови: $x = -x_1, v = -v_1, t = 0$

Крајње стање: $x = 0, t = t_1, v = 0$.

II фаза

Друга фаза траје од почетка кретања затварача у задњи положај, под дејством континуиране силе барутних гасова, којој се супроставља сила повратне опруге и траје до новог процеса опаљења.

На слици 18 је шематски приказ друге фазе.



Слика 18: Шематски приказ друге фазе

$$m_z \cdot \frac{dv_z}{dt} = P - F_0, (4)$$

$$\frac{dv_z}{dt} = \frac{1}{m_z} \cdot (P - F_0), (5)$$

$$\frac{dv_z}{dt} = v_z, (6)$$

Почетни услови: $x = 0, t = t_1, v = 0$,

Крајње стање: $x = -x_1, t_1 = t_2, v = -v_1$ [7]

5.3 Симулација чистог гасног потиска у програму МАТЛАБ

Математичка анализа чистог гасног потиска. Наредни пасуси описују систематску процедуру за обављање израчунавања модела неопходних у основној анализи чистог гасног потиска. Највећим делом, описане методе су конвенционалне и прате линије анализе, које су коришћене за неко време у општим инжењерским студијама оружја, нарочито артиљеријских оруђа. Главни напор у овој анализи био је да се реорганизују постојећи методи и да се измени и допуни по потреби како би се прилагодила практичној примени на специфичне проблеме који се јављају у конструкцији чистог гасног потиска. Мора се нагласити на почетку да је главни проблем ове анализе утврђивање начина који може да се користи за одређивање масе затварача и да на основу масе добијемо прелиминарне

прорачуне за одређивање податка крутости опруге, брзине паљбе, карактеристике кретања затварача, и друге корисне информације.

Исто тако, не постоје детаљни прорачуни који су направљени да покрију утицај као што је фактор трења или силе при забрављивању које се јављају услед механизма као што су реденици, механизми за окидање, или избацачи. Ови ефекти су потпуно занемарљиви при одређивању масе затварача, али ће имати неки утицај на укупно кретање затварача и брзину паљбе. У сваком случају, они могу да се узму у обзир само у мање или више поодмаклим фазама конструкције када настане прилично добро утврђен облик механизма оружја. У овом тренутку, прелиминарне одређене вредности могу бити лако модификоване према потреби. Анализа која следи се заснива на претпоставци да се користи одређени пројектил са познатим карактеристикама и да је предодређена жељена почетна брзина пројектила и дужина цеви. Такође се претпоставља да су познати сви потребни подаци унутрашње балистике и да су доступни графици који приказују временску варијацију пројектила брзине и притисак у комори [7].

Прорачун у програмском пакету МАТЛАБ

Програм „ЧистГасниПотисак“ написан је у програмском пакету МАТЛАБ и намењен је за израчунавање основних карактеристика елемената аутоматског оружја на бази чистог гасног потиска. Програм је линијски и нема посебних улазних нити излазних датотека. Као улазне величине директно у програм се уносе величина калибра, захтевана брзина гађања, маса затварача, импулс силе притиска, ефикасност система и крутост опруге. Након прорачуна основних параметара система као што су брзина и енергија слободног трзања, пут затварача, минимална и максимална сила опруге, израчунава се прорачунска брзина гађања. Тако добијена брзина гађања пореди се са задатом брзином гађања уз одговарајућу грешку. Ако решење не задовољава постављени услов врше се одговарајућа приближења, поново се проверава услов брзине гађања и тек кад је решење задовољавајуће рачунају се карактеристике повратне опруге: дебљина жице опруге, број завојака и статички и динамички торзиони напон који се могу поредити са дозвољеним.

Улазни подаци:

cal - калибар оружја, [mm];
 p_0 – претпостављена брзина гађања, [met/min];
 m_z – маса затварача, [kg];
 $\int P dt$ – површина испод криве притиска, [Ns];
E – ефикасност система;
k – крутост опруге, [N/m].

Прорачун чистог гасног потиска (прилог 2)

Прорачун основних параметара

Брзина слободног трзања:

$$v_f = \frac{\int P dt}{m_z}, \text{ [m/s]}$$

Енергија трзања:

$$E_r = m_z \cdot v_f \cdot \frac{v_f}{2}, [\text{J}]$$

Време гађања за n_0 :

$$t_c = \frac{60}{n_0}, [\text{s}]$$

Апроксимативни пут затварача:

$$L = t_c \cdot v_f \cdot \frac{\frac{E}{E+1}}{2}, [\text{m}]$$

Просечна сила опруге:

$$F_a = E \cdot \frac{E_r}{L}, [\text{N}]$$

Минимална сила опруге:

$$F_0 = F_a - k \cdot \frac{L}{2}, [\text{N}]$$

Максимална сила опруге:

$$F_m = F_0 + k \cdot L, [\text{N}]$$

Прорачунато време циклуса:

$$t_{c1} = \left(\sqrt{\frac{E \cdot m_z}{k}} + \sqrt{\frac{m_z}{E \cdot k}} \right) \cdot \cos^{-1} \left(\frac{F_0}{F_m} \right), [\text{s}]$$

Брзина гађања:

$$n_1 = \frac{60}{t_{c1}}, [\text{met/min}]$$

Параметри опруге

Време сабијања опруге:

$$t_r = 0,0428, [\text{s}]$$

Модул увијања:

$$G = 8,1E + 10, [\text{N/m}^2]$$

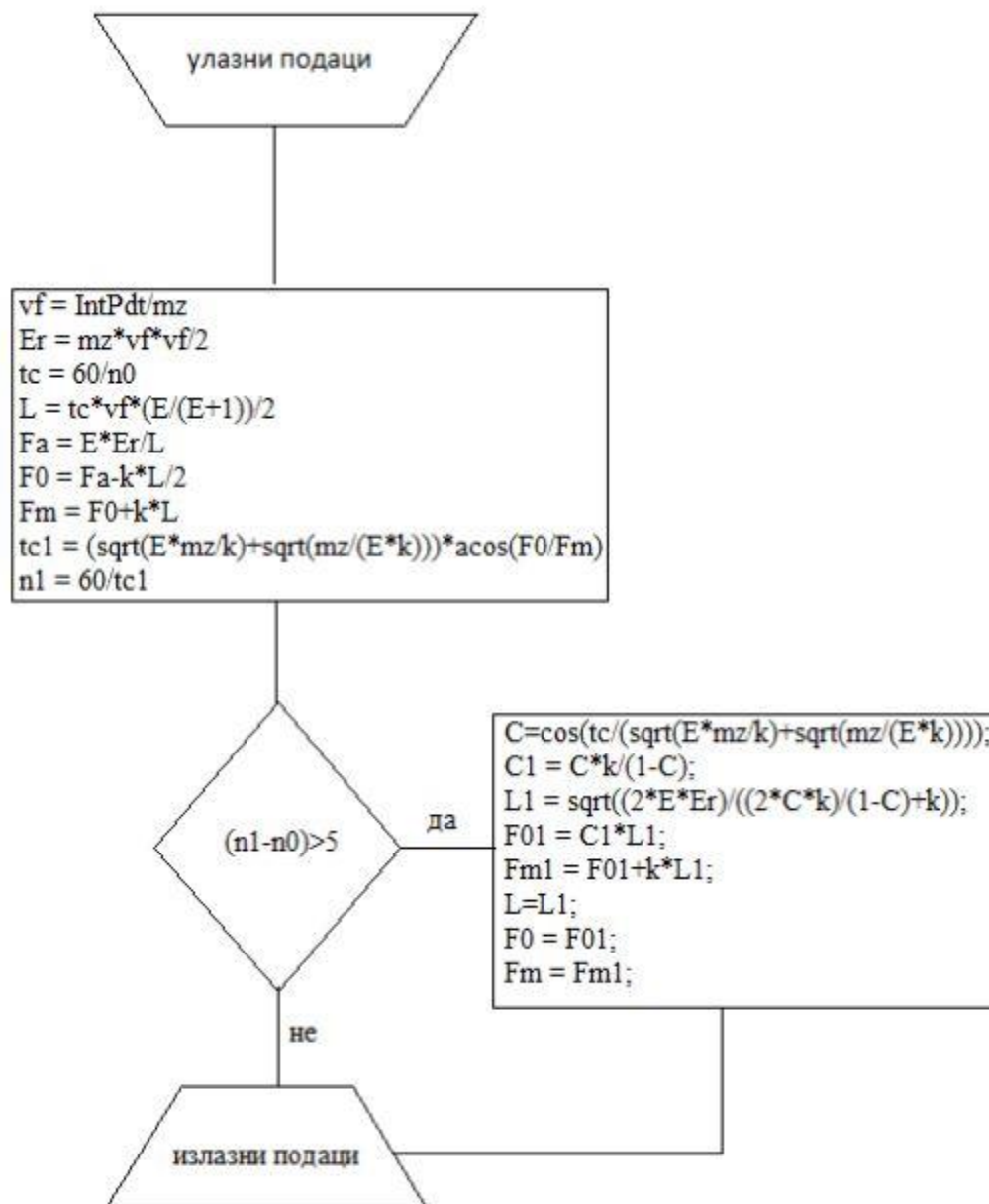
Средњи пречник завојака:

$$D = 0,0127, [\text{m}]$$

Убрзање Земљине теже:

$$g = 9,81, [\text{m/s}^2]$$

Специфична тежина:
 $\gamma = 7640$, [N/m³]



Слика 19: Алгоритам програмског решења чист гасни потисак

5.4 Симулација гасног потиска са предопаљењем у програму МАТЛАБ

Математичка анализа предопаљења се базира на истим генералним принципима који се користе у анализи чистог гасног потиска. У овој анализи, претпоставља се да су исти балистички подаци као и код чистог гасног потиска. Будући да су методе и формуле које се користе у анализи овог система исте као и оне које се користе код система чистог гасног потиска, извођење формула и објашњење процедуре нису потребни [7].

Прорачун у програмском пакету МАТЛАБ

Програм „Предопаљење“ написан је у програмском пакету МАТЛАБ и има две намене. Основна намена је израчунавање основних карактеристика елемената аутоматике оружја на бази гасног потиска са предопаљењем. Друга намена је поређење карактеристика система на бази чистог гасног потиска и система на бази гасног потиска са предопаљењем. Програм је линијски и нема посебних улазних нити излазних датотека. Као улазне величине директно у програм се уносе величина калибра, захтевана брзина гађања, маса затварача, импулс силе притиска, ефикасност система и крутост опруге. Као излаз добијају се брзина гађања, елементи кретања и конструктивне карактеристике опруге.

Улазни подаци:

cal - калибар оружја, [mm];

p_0 – захтевана брзина гађања, [met/min];

m_{z1} – маса затварача, [kg];

$\int P dt$ – површина испод криве притиска, [Ns];

E – ефикасност система;

k_1 – крутост опруге, [N/m].

Прорачун гасног потиска са предопаљењем

Прорачун можемо извршити на два начина.

Први начин прорачуна (прилог 3)

Површина испод криве притиска:

$$\int P dt = \frac{\int P dt}{2}, [\text{Ns}]$$

Маса затварача:

$$m_z = \frac{m_{z1}}{2}, [\text{kg}]$$

Крутост опруге:

$$k = \frac{k_1}{2}, [\text{N/m}]$$

Брзина слободног трзања:

$$v_f = \frac{\int P dt}{m_z}, [\text{m/s}]$$

Енергија трзања:

$$E_r = m_z \cdot v_f \cdot \frac{v_f}{2}, [\text{J}]$$

Време гађања за n_0 :

$$t_c = \frac{60}{n_0}, [\text{s}]$$

Апроксимативни пут затварача:

$$L = t_c \cdot v_f \cdot \frac{\frac{E}{E+1}}{2}, [\text{m}]$$

Просечна сила опруге:

$$F_a = E \cdot \frac{E_r}{L}, [\text{N}]$$

Минимална сила опруге:

$$F_0 = F_a - k \cdot \frac{L}{2}, [\text{N}]$$

Максимална сила опруге:

$$F_m = F_0 + k \cdot L, [\text{N}]$$

Прорачунато време циклуса:

$$t_{c1} = \left(\sqrt{\frac{E \cdot m_z}{k}} + \sqrt{\frac{m_z}{E \cdot k}} \right) \cdot \cos^{-1} \left(\frac{F_0}{F_m} \right), [\text{s}]$$

Брзина гађања:

$$n_1 = \frac{60}{t_{c1}}, [\text{met/min}] [3]$$

Параметри опруге

Време сабијања опруге:

$$t_r = 0,0428, [\text{s}]$$

Модул увијања:

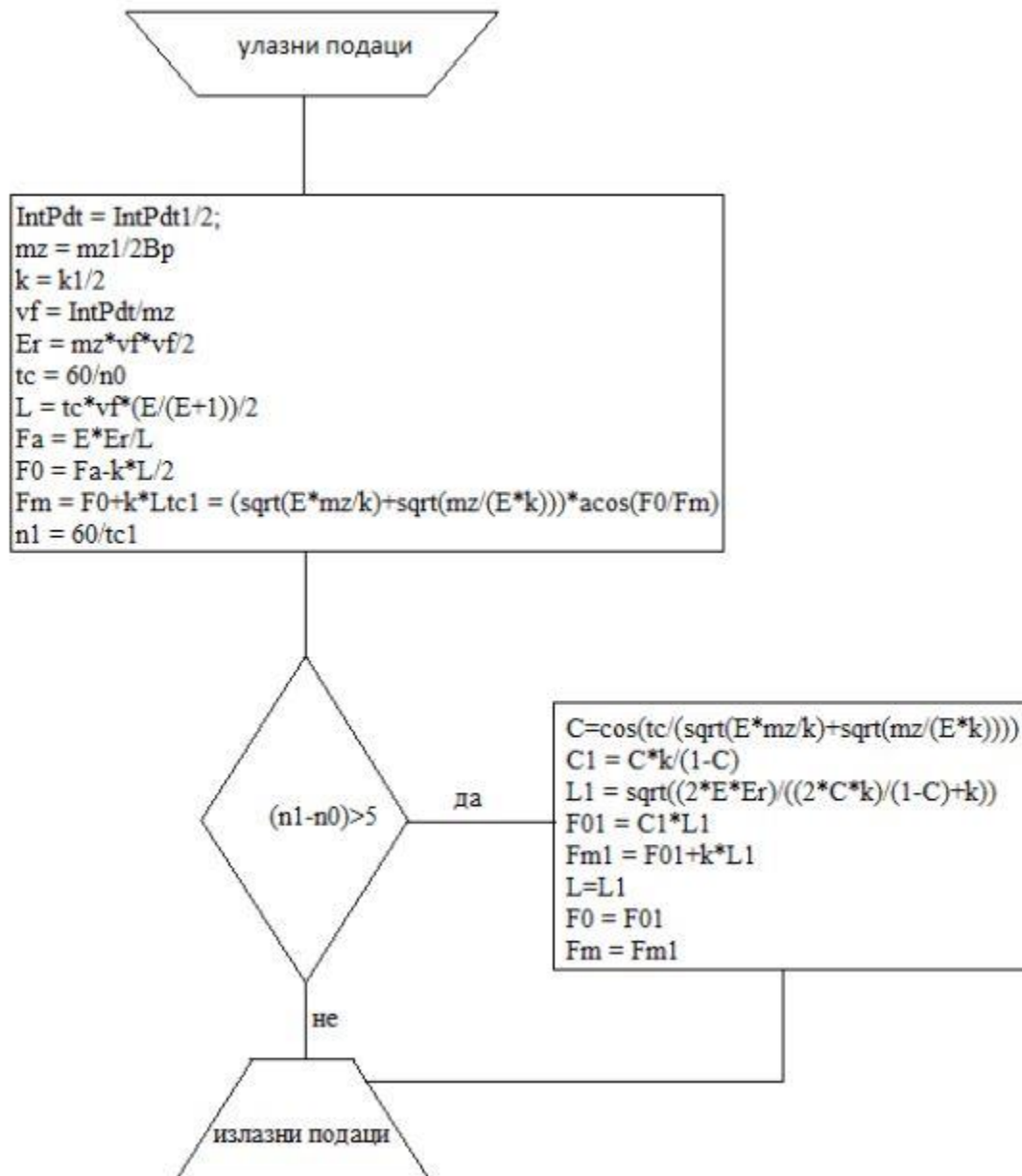
$$G = 8,1\text{E}+10, [\text{N/m}^2]$$

Средњи пречник завојака:

$$D = 0,0127, [\text{m}]$$

Убрзање Земљине теже:
 $g = 9,81$, [m/s²]

Специфична тежина:
 $\gamma = 7640$, [N/m³]



Слика 20: Алгоритам програмског решења предпоаљења (први начин)

Други начин прорачуна (прилог 4)

Код другог начина прорачуна гасног потиска са предполажењем узима се у обзир да је сила трзања једнака сили код чистог гасног потиска.

Претпоставка за идеалан ход затварача:

$$L_2 = 0,0381 \text{ , [m]}$$

Минимално оптерећење опруге за чист гасни потисак:

$$F_{02} = 30,7862 \text{ , [N]}$$

Максимално оптерећење опруге за чист гасни потисак:

$$F_{m2} = 42,828 \text{ , [N]}$$

Прорачунска крутост опруге:

$$k = \frac{F_{m2} - F_{02}}{L_2} \text{ , [N/m]}$$

Рад потребан за сабијање опруге:

$$W_s = \frac{(F_{m2} + F_{02}) \cdot L_2}{2} \text{ , [J]}$$

Брзина слободног трзања:

$$v_f = \frac{\int P dt}{m_{z2}} \text{ , [m/s]}$$

Енергија трзања:

$$E_{r2} = m_{z2} \cdot v_{f2} \cdot \frac{v_{f2}}{2} \text{ , [J]}$$

Прорачунато време циклуса:

$$t_{c2} = \left(\sqrt{\frac{E \cdot m_{z2}}{k_2}} + \sqrt{\frac{m_{z2}}{E \cdot k_2}} \right) \cdot \cos^{-1} \left(\frac{F_0}{F_m} \right) \text{ , [s]}$$

Брзина гађања:

$$n_2 = \frac{60}{t_{c2}} \text{ , [met/min] [3]}$$

Параметри опруге

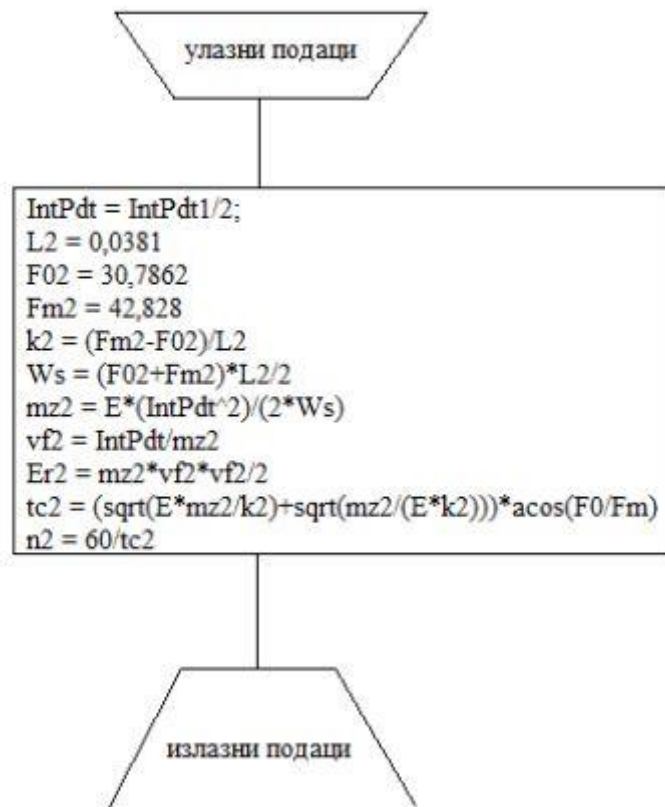
Време сабијања опруге:
 $t_r = 0,0428$, [s]

Модул увијања:
 $G = 8,1E+10$, [N/m²]

Средњи пречник завојака:
 $D = 0,0127$, [m]

Убрзање Земљине теже:
 $g = 9,81$, [m/s²]

Специфична тежина:
 $\gamma = 7640$, [N/m³]



Слика 21: Алгоритам програмског решења предпоаљења (други начин)

5.5Аналза резултата симулације

Анализа резултата симулације приказана је у табели 1, у којој су дефинисане величине: брзина слободног трзања, енергија трзања, време циклуса, брзина гађања и маса затварача. Дате су вредности за прорачун чистог гасног потиска и оба начина прорачуна гасног потиска са предопаљењем.

Табела 1: резултати симулације

принцип рада	v_f , [m/s]	E_r , [J]	t_{c1} , [s]	n_1 , [met/min]	m_z , [kg]
чист гасни потисак	1,2165	2,0164	0,085	705,58	2,725
предопаљење 1. начин	1,2165	1,0082	0,085	705,58	1,3625
предопаљење 2. начин	4,23	3,505	0,024	2479,34	0,3918

Из добијених резултата се може закључити да се за двоструко мању масу затварача (1,3625 kg) код предопаљења (1. начин) у односу на чист гасни потисак, оставарује иста брзина гађања 705,58 [met/min], исто време циклуса 0,085 [s], иста брзина слободног трзања 1,2165 [m/s], али и двоструко мања енергија трзања 1,0082 [J].

Што се тиче предопаљења (2. начин прорачуна), као што смо нагласили узима се у обзир да је иста сила трзања као и код чистог гасног потиска. Може се видети да је маса затварача (0,3918 kg) скоро седам пута мања у односу на масу затварача чистог гасног потиска, остварује се далеко већа брзина гађања 2479,34 [met/min], време трајања циклуса је краће (0,024 s), енергија трзања износи 3,505 [J], а брзина слободног трзања 4,23 [m/s].

У табели 2, дефинисане су кључне карактеристике овог рада, маса затварача и брзина гађања, изабраних принципа рада у односу на принцип рада који користи митраљез М87, а то је позајмица барутних гасова.

Табела 2: упоређивање изабраних принципа са стварним принципом рада

принцип рада	n_1 , [met/min]	m_z , [kg]
позајмица барутних гасова	700	2,725
чист гасни потисак	705,58	2,725
предопаљење (1. начин)	705,58	1,3625
предопаљење (2. начин)	2479,34	0,3918

С обзиром да је маса затварача код чистог гасног потиска и позајмице иста, добија се нешто већа брзина гађања за чист гасни потисак (705,58 met/min), маса затварача код предопаљења (1. начин) је двоструко мања у односу на позајмицу, оставарена је већа брзина гађања која је идентична као и код чистог гасног потиска. За масу затварача 0,3918 [kg] код предопаљења (2. начин) која је вишеструко мања од масе затварача код позајмице, остварена је далеко већа брзина гађања (2479,34 met/min) у односу на позајмицу (700met/min).

6. Закључак

У овом раду разматран је проблем избора принципа рада за аутоматско оружје митраљез М87, 12,7 mm који ради на принципу позајмице барутних гасова. Као избор су узети приципи чистог гасног потиска и гасног потисака са предопаљењем.

Упоређивање се вршило на основу масе затварача и брзине гађања. Оно што се може видети јесте да се код чистог гасног потиска за већу масу остварује већа брзина гађања, у раду је узета вредност масе затварача, иста као и стварна маса затварача овог оружја (као код позајмице), међутим да би се постигла још већа брзина гађања потребно је повећати масу затварача. У овом случају повећањем масе затварача повећава се и трзање (због велике масе целог система), самим тим остварујемо већу брзину гађања, али и нестабилност оружја, па је потребно да се дато оружје стави на постоље. Предности овог система су једноставна конструкција и нема посебних склопова за забрављивање, проблем овог система је зато што нема класично забрављивање, па постоји могућност одбрављивања док зрно није напустило уста цеви.

Прорачуном, најбољи резултат је остварен за други начин гасног потиска са предопаљењем, где се за веома малу масу затварача остварује велика брзина гађања, може се видети, да се иста брзина гађања остварује као и код чистог гасног потиска, али за дупло мању масу затварача. Предност овог система је свакако мала маса затварача и велика брзина гађања, али мана је управо сложена конструкција затварача и лежишта метка, као и немогућност јединачне паљбе.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кари А., Предавања и презентације из предмета Конструкција аутоматског оружја и школској 2014/15. години, ФИН Крагујевац.
- [2] <http://www.zastava-arms.rs/sr/militaryproduct/mitraljez-m87-127x108-mm-50-browning>, интернет публикације, септембар 2016. године.
- [3] М. Васиљевић: Аутоматска оружја I и II, скрипта, ТШЦ КоВ, Загреб, 1970
- [4] Петровић М., Механика аутоматског оружја, Медија центар „Одбрана“, Београд, 2007.
- [5] <http://world.guns.ru/index-e.html>, интернет публикације, септембар 2016. године.
- [6] Танчић Љ., Збирка задатака из унутрашње балистике, Војна академија, Београд, 1997.
- [7] Chinn G. M., The machine gun, Bureau of ordnance – Department of Navy, Washington, 1951.

Прилози

Прилог 1 – УБ прорачун

UB-PRORACUN METODOM DROZDOVA

ORUDJE: 12.7 mm

BARUT: NC26

JEDINICE PO SI SISTEMU MERA

POLAZNI PODACI

W0=.000020 S=.000132 XU=0.990 FI=1.2100 M= 0.048

OM= 0.016 F=1000943. DELM=1600. ALFA=.00089 TETA=.269

E0=.00043 AKAPA=1.16650 LAM=-.14273 U1=.116E-08 P0=.450E+08

GUSTINA PUNJENJA DELTA=784.

PRETHODNI PERIOD

Y0=0.02484 PSI0=0.02887 SIG0=0.99291

PRVI PERIOD

I	Y	PSI	V	X	P	T
01	0.057346	0.066347	27.26	0.002	101768160	0.00017
02	0.089852	0.103468	54.52	0.006	152241408	0.00028
03	0.122357	0.140237	81.78	0.011	195935440	0.00035
04	0.154862	0.176654	109.04	0.016	232909104	0.00041
05	0.187367	0.212719	136.3	0.022	263430384	0.00046
06	0.219873	0.248432	163.56	0.028	287873280	0.00051
07	0.252378	0.283794	190.82	0.036	306671264	0.00054
08	0.284883	0.318804	218.08	0.044	320290528	0.00058
09	0.317389	0.353462	245.34	0.052	329211712	0.00062
10	0.349894	0.387768	272.6	0.061	333918272	0.00065
PM	0.374112	0.413099	292.91	0.069	334968768	0.00068
11	0.382399	0.421722	299.86	0.072	334886144	0.00069
12	0.414905	0.455325	327.12	0.083	332576960	0.00072
13	0.44741	0.488575	354.38	0.095	327432672	0.00076
14	0.479915	0.521474	381.64	0.109	319871936	0.00081
15	0.51242	0.554021	408.9	0.124	310286592	0.00084
16	0.544926	0.586216	436.16	0.14	299041024	0.00087
17	0.577431	0.61806	463.42	0.158	286469696	0.00091

18	0.609936	0.649551	490.68	0.179	272878240	0.00096
19	0.642442	0.680691	517.94	0.201	258542000	0.001
20	0.674947	0.711478	545.2	0.226	243709008	0.00105
21	0.707452	0.741914	572.46	0.254	228598448	0.0011
22	0.739958	0.771998	599.72	0.285	213403792	0.00115
23	0.772463	0.801731	626.98	0.32	198292720	0.00121
24	0.804968	0.831111	654.24	0.359	183409840	0.00127
25	0.837473	0.86014	681.5	0.404	168877584	0.00134
26	0.869979	0.888817	708.76	0.454	154798096	0.00141
27	0.902484	0.917141	736.02	0.511	141254912	0.00149
28	0.934989	0.945115	763.28	0.575	128314288	0.00157
29	0.967495	0.972736	790.54	0.65	116027336	0.00167
30	1	1.000005	817.8	0.735	104430912	0.00177

DRUGI PERIOD

I	X	V	P	T
31	0.747	821.45	10230215	0.00179
32	0.760	825.11	10024976	0.00181
33	0.773	828.48	98269816	0.00182
34	0.786	831.86	96358720	0.00184
35	0.798	835.17	94513072	0.00185
36	0.811	838.41	92729680	0.00187
37	0.824	841.57	91005576	0.00188
38	0.837	844.66	89337952	0.00190
39	0.851	847.68	87724184	0.00191
40	0.862	850.64	86161816	0.00193
41	0.875	853.54	84648480	0.00194
42	0.888	856.38	83182040	0.00196
43	0.901	859.16	81760400	0.00197
44	0.913	861.88	80381616	0.00199
45	0.926	864.55	79043864	0.00200

46	0.939	867.17	77745392	0.00202
47	0.952	869.73	76484568	0.00203
48	0.964	872.25	75259848	0.00205
49	0.977	874.72	74069752	0.00206
50	0.990	877.15	72912880	0.00208

TRECI PERIOD

NASTUPILA JE KOLEBLJIVA FAZA
VREME TRAJANJA JE ZANEMARLJIVO T= 0.0000000
PRITISAK NA KRAJU FAZE P=72443040.

STABILNA FAZA

I	P	T
51	72443040	0.0020758
52	55004336	0.0023943
53	42091268	0.0027128
54	32448458	0.0030313
55	25190202	0.0033499
56	19685460	0.0036684
57	15480649	0.0039869
58	12246903	0.0043055
59	9743880.0	0.0046240
60	7794510.0	0.0049425
61	6267410.0	0.0052610
62	5064406.0	0.0055796
63	4111642.0	0.0058981
64	3353203.0	0.0062166
65	2746498.0	0.0065352
66	2258893.0	0.0068537
67	1865248.0	0.0071722
68	1546083.0	0.0074908
69	1286235.0	0.0078093
70	1073835.0	0.0081278
71	899554.00	0.0084463

72	756023.00	0.0087649
73	637397.00	0.0090834
74	539017.00	0.0094019
75	457159.00	0.0097205
76	388831.00	0.0100390
77	331620.00	0.0103575
78	283576.00	0.0106761
79	243112.00	0.0109946
80	208939.00	0.0113131
81	180000.00	0.0116316

Прилог 2 – Програмско rešenje „Čist GP“

```
close all; clear all; clc;
%%%%%ULAZNI PODACI%%%%%%%%%
cal = 12.7; %Kalibar, mm
n0 = 700; %Brzina gadjanja, met/min
mz = 2.725; %Masa zatvaraca, kg
IntPdt = 3.315; %Povrsina ispod krive pritiska, Ns
E = 0.4; %Efikasnost sistema
k = 175; %Krutost opruge, N/m
```

```
%%%%PRORA?UN OSNOVNIH PARAMETARA%%%
vf = IntPdt/mz %Brzina slobodnog trzanja, m/s
Er = mz*vf*vf/2 %Energija trzanja, J
tc = 60/n0; %Vreme gadjanja za n0, s
L = tc*vf*(E/(E+1))/2;%Aproksimativni put zatvaraca, m
Fa = E*Er/L; %Prosecna sila opruge, N
F0 = Fa-k*L/2; %Minimalna sila opruge, N
Fm = F0+k*L; %Maksimalna sila opruge, N
tc1 = (sqrt(E*mz/k)+sqrt(mz/(E*k)))*acos(F0/Fm) %Proracunato vreme ciklusa, s
n1 = 60/tc1
if (n1-n0)>5
    C=cos(tc/(sqrt(E*mz/k)+sqrt(mz/(E*k))));
    C1 = C*k/(1-C);
    L1 = sqrt((2*E*Er)/((2*C*k)/(1-C)+k));
    F01 = C1*L1;
    Fm1 = F01+k*L1;
    L=L1;
    F0 = F01;
    Fm = Fm1;
end
```

Прилог 3 – Програмско решење „Predorpaljenje I način“

```
close all; clear all; clc;
%%%%%%%%%ULAZNI PODACI%%%%%%%%%
cal = 12.7; %Kalibar, mm
n0 = 700; %Brzina gadjanja, met/min
mz1 = 2.725; %Masa zatvaraca, kg
IntPdt1 = 3.315; %Povrsina ispod krive pritiska, Ns
E = 0.4; %Efikasnost sistema
k1 = 175; %Krutost opruge, N/m

%%%PRVI NACIN RESAVANJA%%%
IntPdt = IntPdt1/2;
mz = mz1/2;
k = k1/2;

vf = IntPdt/mz; %Brzina slobodnog trzanja, m/s
Er = mz*vf*vf/2; %Energija trzanja, J
tc = 60/n0; %Vreme gadjanja za n0, s
L = tc*vf*(E/(E+1))/2; %Aproksimativni put zatvaraca, m
Fa = E*Er/L; % Prosecna sila opruge, N
F0 = Fa-k*L/2; %Minimalna sila opruge, N
Fm = F0+k*L; %Maksimalna sila opruge, N
tc1 = (sqrt(E*mz/k)+sqrt(mz/(E*k)))*acos(F0/Fm); %Proracunato vreme ciklusa, s
n1 = 60/tc1;
if (n1-n0)>5
    C=cos(tc/(sqrt(E*mz/k)+sqrt(mz/(E*k))));
    C1 = C*k/(1-C);
    L1 = sqrt((2*E*Er)/((2*C*k)/(1-C)+k));
    F01 = C1*L1;
    Fm1 = F01+k*L1;
    L=L1;
    F0 = F01;
    Fm = Fm1;
end
tcPROR = (sqrt(E*mz/k)+sqrt(mz/(E*k)))*acos(F0/Fm);
tc = tcPROR;
n = 60/tc;
```

Прилог 4 – Програмско решење „Predorpaljenje II način“

```
close all; clear all; clc;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
cal = 12.7; %Kalibar, mm
n0 = 700; %Brzina gadjanja, met/min
mz1 = 2.725; %Masa zatvaraca, kg
IntPdt1 = 3.315; %Povrsina ispod krive pritiska, Ns
E = 0.4; %Efikasnost sistema
k1 = 175; %Krutost opruge, N/m

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
DRUGI NACIN RESAVANJA(SILA TRZANJA JEDNAKA SILI KOD CISTOG
GASNOG POTISKA)
IntPdt = IntPdt1/2;
L2 = 0.0381; %Pretpostavka za idealan hod zatvaraca
F02 = 30.7862; %Minimalno opterecenje opruge za cist gasni potisak
Fm2 = 42.828; %Maksimalno opterecenje opruge za cist gasni potisak

k2 = (Fm2-F02)/L2; %Proracunska krutost opruge, N/m
Ws = (F02+Fm2)*L2/2; %Rad potreban za sabijanje opruge, J
mz2 = E*(IntPdt^2)/(2*Ws);
vf2 = IntPdt/mz2; %Brzina slobodnog trzanja, m/s
Er2 = mz2*vf2*vf2/2; %Energija trzanja, J
tc2 = (sqrt(E*mz2/k2)+sqrt(mz2/(E*k2)))*acos(F0/Fm); %Proracunato vreme ciklusa, s
n2 = 60/tc2;
```