

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: 506/2010

Душан Р. Јовановић

**Кинематска анализа механизма за храњење
редеником
дипломски рад**

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. проф. др Богдан Недић – председник комисије**
- 2. доц. др Александар Кари – члан**
- 3. проф. др Зоран Ристић – ментор**

**Датум
одбране: _____**

Оцена: _____

Крагујевац, септембар, 2014.

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

1. Објасни карактеристике механизма за пуњење метком на митраљезима са аспекта могућих конструктивних шема и начин рада у фази пуњења при опаљењу.
2. За усвојени модел механизма на оружју 7,62 mm M84, изврши кинематску анализу комплетног механизма од доношења метка из реденика до коначног увођења у цев оружја.
3. Дефинише потребне конструктивне и геометријске величине механизма за прорачун релевантних параметара кретања и величина у току циклуса рада оружја.
4. Изврши симулацију прорачуна за усвојени тип и модел оружја према распложивим подацима и оценити утицај релевантних величина на рад механизма.
5. Да коментар добијених резултата и графички и табеларни приказ потребних величина (евентуално упоредну анализу на сличним решењима механизма).

Препоручена литература:

Миломир Исаиловић: Митраљеи на борбеним возилима – лекција

Правило – Пушкомитраљез 7,62 mm M84

Маринко Петровић: Механика аутоматског оружја, Београд, 2007. године

Живојин Цера: Пројектни задатак, Војнотехничка академија КоВ ЈНА

Ф. К. Бабак: Пулеметы, Санкт-Петербург, 2005. године

Зоран Ристић: Конструкција аутоматског наоружања, скрипта Бг. – Кг. 2014. године

Chris Bishop: Guns in Combat, Лондон, 1998. године

Harold A. Murtz: Exploded gun drawings, Њујорк, 2005. године

Крагујевац, септембар 2014.

ментор:
дипл. инж. др Зоран Ристић

РЕЗИМЕ РАДА

У раду је приказан математички модел механизма за храњење редеником митраљеза 7,62 mm M84. Посматрано је кретање главних делова митраљеза који учествују у храњењу митраљеза, а то су носач затварача и доносач. Кретање је подељено у две фазе: кретање носача затварача до задњег положаја, и његово кретање од задњег ка предњем положају. За обе фазе постављене су по две диференцијалне једначине – транслација носача затварача и ротација доносача. Одређивање активних сила које делују на претходно поменуте делове митраљеза, потребно за решавање диференцијалних једначина, вршено је на основу литературе и експерименталним методама, док је дејство сила чији утицај није релевантан за функционисање система занемарено или апроксимирано. Програмским решавањем диференцијалних једначина добијене су промене пређеног пута и брзине носача затварача и угла заокретања и угаоне брзине доносача у функцији времена. Резултати прорачуна дати су графички и упоређени са вредностима добијеним мерењем на основу каденце митраљеза.

Кључне речи: **механизам за храњење, диференцијалне једначине, силе, носач затварача, доносач**

ABSTRACT

Mathematical model of machine gun 7,62 mm M84 feeding mechanism with cartridge belt is shown in this work. Main parts of the feeding mechanism, the bolt carrier and retriever, are observed and their movement was separated in two phases: movement of bolt carrier to its final rear position and returning to the initial position. There are two separated differential equations for both phases – translation of bolt carrier and rotation of retriever. Determination of all active forces which are acting on previously mentioned parts of machine gun, that is needed for solving of differential equations, is done by using literature and experimentally. Forces whose influence is irrelevant for the operation of feeding mechanism were neglected or approximated. The changes of bolt carrier velocity and traveled distance and retriever angular velocity and angle of rotation are obtained by using software solution. The results of this calculation are presented graphically and they are compared with measured values based on the machine gun cadence.

Key words: **feeding mechanism, differential equations, forces, bolt carrier, retriever**

Садржај

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА	5
1.1 Уопште о митраљезима	5
1.2 Митраљез М84 7,62mm	5
а) Тактичко-техничке карактеристике	7
б) муниција	8
в) Саставни делови митраљеза	9
2. МЕХАНИЗАМ ЗА ХРАЊЕЊЕ АУТОМАТСКОГ ОРУЖЈА.....	14
2.1 Подела механизма за храњење митраљеза према начину смештаја и довођења метка	14
2.2 Подела механизма за храњење митраљеза према начину кретања чланова који врше покретање реденика	20
2.3 Подела механизма за храњење митраљеза према смеру кретања водећег члана	23
2.4 Подела механизма за храњење митраљеза према смеру померања реденика	23
2.5 Циклограм рада митраљеза М84 7,62 mm	24
3. КИНЕМАТСКА АНАЛИЗА КОМПЛЕТНОГ МЕХАНИЗМА ЗА ХРАЊЕЊЕ МИТРАЉЕЗА М84	26
4. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ МЕХАНИЗМА ЗА ХРАЊЕЊЕ МИТРАЉЕЗА М84	30
4.1 Положај носача затварача	30
4.2 Маса делова који учествују у кретању	32
4.3 Сила притиска барутних гасова која делује на клип у цилиндру и чело затварача	33
4.4 Сила повратне опруге	38
4.5 Сила извлачења метка из реденика	39
4.6 Аксијална компонента силе отпора кретању ваљчића доносача	41
4.7 Аксијална компонента силе отпора кретању испуста на полузи доносача ...	43
4.8 Одређивање коефициента судара (реституције)	45
4.9 Моменти обртања и конструкциони параметри склопа доносача	47
5. ДИФЕРЕНЦИЈАЛНЕ ЈЕДНАЧИНЕ КРЕТАЊА	51
5.1 Постављање диференцијалних једначина	51
5.2 Решавање диференцијалних једначина	52
ЗАКЉУЧАК	57
Литература	58
Прилози	59

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

1.1 Уопште о митраљезима

Митраљези су тешко, али и моћно аутоматско стрељачко оружје. Намењени су за гађање групних циљева на даљинама до 1000 m. Користе се за уништавање материјалних средстава и живе силе. Уграђују се на борбена возила, тенкове и авионе. Могу успешно да се користе и за гађање лакооклопљених борбених возила, као и за циљеве у ваздуху (падобранце, хеликоптере и нисколетеће авионе). Митраљези се, од осталог аутоматског оружја истог калибра, битно разликују по томе што имају постоља, која им дају стабилност и омогућавају лакше управљање ватром, имају масивнију и заменљиву цев и најчешће се хране редеником.

Име митраљез потиче од француског назива „Mitrailleuse“, једног од првих модела који су Французи без неког великог успеха применили у француско-пруском рату. Каснији модели, поготово Максим, су се показали далеко ефикаснијим у Првом светском рату па се управо њима често приписује велики број људских жртава.

Успех митраљеза Максим инспирисао је и друге проналазаче. Најпознатији митраљези из периода пре Другог светског рата су немачки Maschinengewehr базиран на Максимовом проналаску, амерички Colt-Browning "Potato Digger" и британски Vickers.

За време Другог светског рата немачка Армија развила је митраљез MG42 који је био врло разоран у борби. Црвена Армија је користила митраљез Максим почетком рата, али је касније увела Дегтјарев Модел 1940 са позамицом барутних гасова и храњењем из добоша. Америка је користила митраљез Browning M2.

Последњих година нема значајнијег развоја митраљеза. Конструкције су углавном у калибрима пушчаних метака 7,62 mm, а у новије време и савременог метка калибра 5,56 mm. Данас је скоро свака пешадијска јединица опремљена барем једним митраљезом. Руске трупе користе најчешће RPK-74 MG а америчке M249 SAW.

1.2 Митраљез M84 7,62mm

Развијен је у фабрици „Застава Оружје“ из Крагујевца, слика 1.1. Основа за пројекат је био руски митраљез ПКМ развијен у тадашњем Совјетском Савезу (рус. Пулемёт Калашникова Модернизированный). У односу на ПКМ поседује незнатне измене као што је другачији облик кундака. Успешно дејство митраљеза на појединачне циљеве је до 600 m, на групне циљеве до 800 m. Паљба из митраљеза је рафална и непрекидна. Рафали могу бити кратки 3-5, средњи 5-10 и дуги 10-20 метака. Послужују га нишанција и помоћник. Транспортује се на моторном возилу, а у борби га преноси послуга.



Слика 1.1. Митраљез М84 7,62 mm на постољу (трипод)

Састав борбеног комплета:

- Реденик за 250 метака,
- Кутија за реденик 250 метака,
- Реденик за 100 метака,
- Кутија за реденик 100 метака,
- Ремник,
- Појачник трзаја,
- Алат,
- Прибор,
- Упутство за руковање и одржавање,
- Сандук за паковање.

Опционо, у састав комплета могу бити укључени:

- Резервна цев,
- Пуњач реденика (препорука произвођача је да се на три митраљеза испоручује један пуњач),
- Оптички нишан са постољем.

Митраљез је развијен у две основне варијанте: пушкомитраљез (са ножицама) и митраљез (са постољем које је трокрако), слика 1.2. Такође је развијена и верзија на истој основи која се користи као спрегнути митраљез код тенкова М84 са ознаком М86. Уз митраљез постоје и три верзије нишана:

- Пасивни ПН 5Х80 нишан (сличан ПКМ митраљезу и целој породици Калашњиков)
- Оптички ОН М80 (за нишањење на већим даљинама са увећањем до три пута)
- Ноћни (за дејство у ноћним условима или условима смањене видљивости)

Митраљез М84 и све његове развијене варијанте су током ратова у бившој Југославији, користиле све сукобљене стране.



Слика 1.2. Митраљез М84 7,62 mm са ножицама (испред) и на постољу (иза) – део презентације Југоимпорта

а) Тактичко-техничке карактеристике

Троножно постоље обезбеђује лако прилагођавање различитим теренским условима и прецизност на великим даљинама. Аутоматика митраљеза функционише на принципу позајмице барутних гасова, са ротирајућим затварачем као системом брављења. Цев је израђена техником хладног ковања, а унутрашњост цеви је хромирана, што гарантује њену дуготрајност и постојане балистичке карактеристике.

У екстремним режимима коришћења, ради хлађења, цев се брзо и лако демонтира и замењује резервном. Задњи нишан са преклапачем и реглетом обезбеђује брзо заузимање даљине гађања и претицање, чиме се постиже прецизно нишањење на статичке и покретне циљеве. Регулатор барутних гасова осигурава поуздано функционисање у свим климатским и теренским условима.

Скривач пламена на устима цеви распршује барутне гасове и смањује бљесак пламена чиме се маскира положај оружја. Пуњење митраљеза се обавља из реденика смештеног у муницијску кутију, капацитета 100 и 250 метака. Основне тактичко-техничке карактеристике дате су у табели 1.1.

Табела 1.1. *Тактичко-техничке карактеристике митраљеза М84 7,62 mm (ПКТ)*

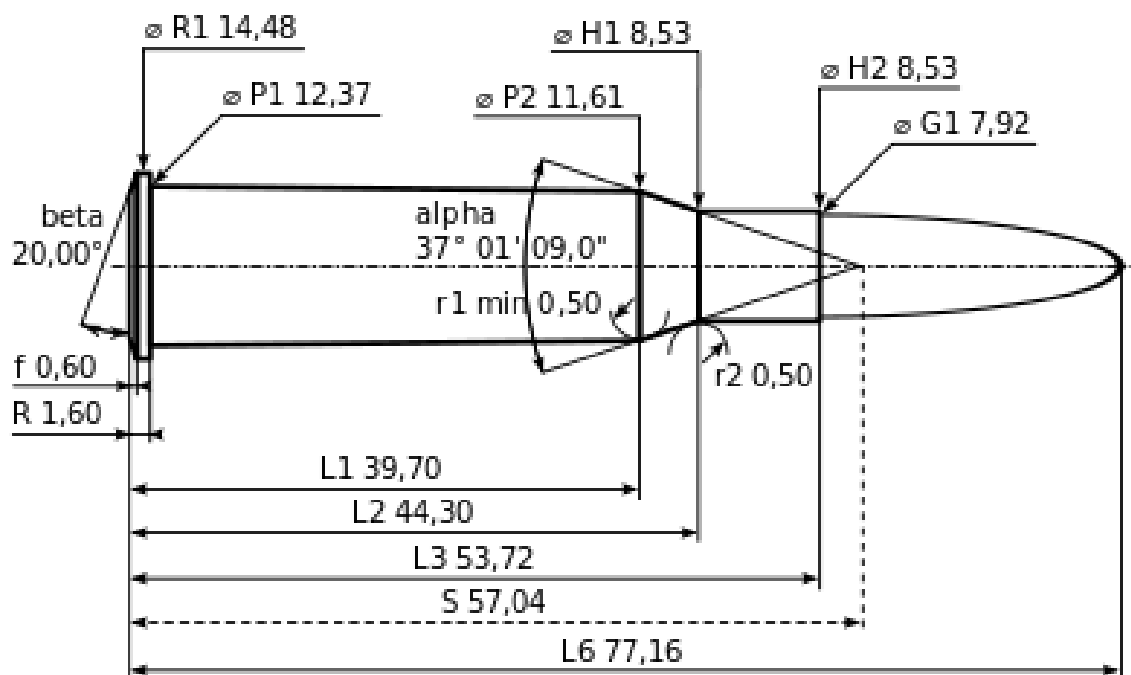
Калибар	7,62 mm
Метак	7,62x54R
Укупна дужина	1173 mm
Дужина цеви	603 mm
Дужина цеви са скривачем пламена	658 mm
Маса митраљеза	9 kg
Маса митраљеза са постољем	16,5 kg
Маса цеви	3,23 kg
Маса кутије са редеником од 100 метака	3,9 kg
Маса кутије са редеником од 200 метака	8 kg
Маса кутије са редеником од 250 метака	9,4 kg
Број жљебова	4
Корак увијања	240 mm
Теоријска брзина гађања	700-800 метака у минути
Практична брзина гађања	250 метака у минути
Брзина зрна на устима цеви	800 m/s
Максимални ефективни домет	1000 m
Век цеви	20000 пројектила

б) муниција

За гађање из митраљеза користи се метак калибра 7,62 mm x 54R, приказан на слици 1.3, (са ободом) са лаким зрном, са тешким зрном, обележавајућим зрном и панцирно-запаљивим зрном. Врсте муниције, заједно са почетним брзинама које се постижу са датом муницијом дате се у табели 1.2. Поред тога митраљез још може да користи метак са специјално-панцирно-запаљивим и коректурно-запаљивим зрном [1].

Табела 1.2. *Врсте муниције коју користи митраљез М84 7,62 mm*

Назив метка	V_0 (m/s)	Намена
Метак са лаким зрном	840	Против живе силе
Метак са тешким зрном	785	Против живе силе
Метак са панцирно-запаљивим зрном	810	Против техничких средстава и за изазивање пожара
Метак са обележавајућим зрном	840	За коректуру и показивање циљева



Слика 1.3. Метак 7,62 mm x 54R [11]

Метак са лаким зрном и тешким зрном употребљава се за бојева гађања противникове живе силе. Тешко зрно направљено је као и лако, али се разликује обликом (део који улази у чауру је дужи) и тежином. Оваква зрна се не обележавају.

в) Саставни делови митраљеза

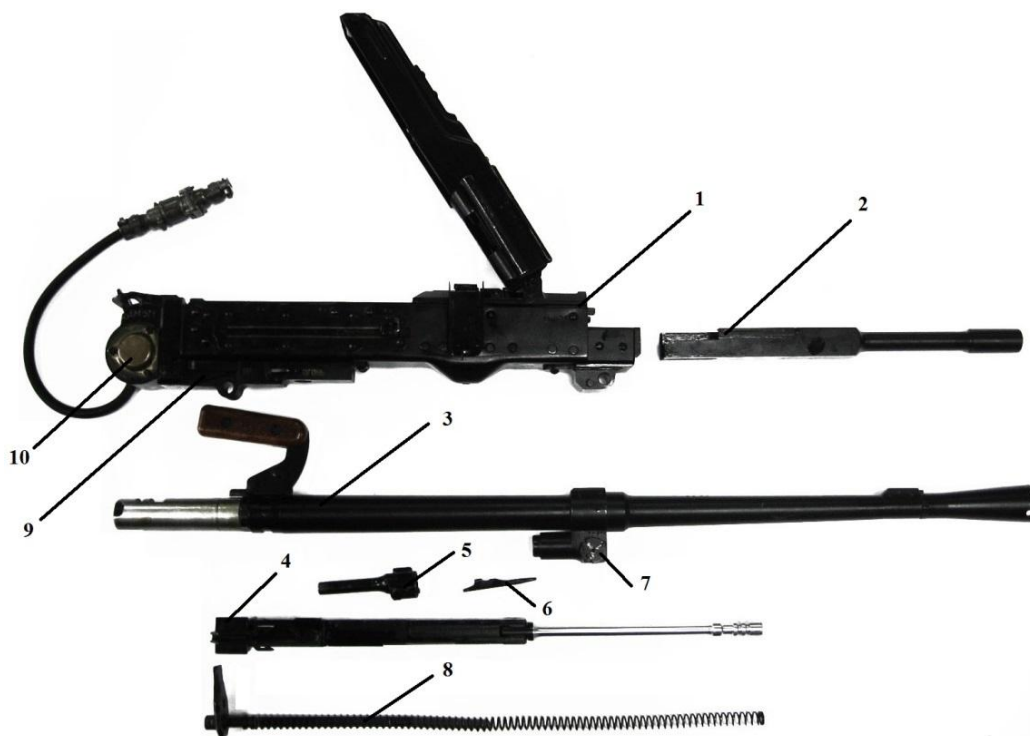
Главни делови митраљеза М84 7,62 mm, приказани на слици 1.4, су [6]:

- Цев са ручицом,
- Саднук са рукохватом,
- Поклопац сандука са уводником,
- Нишани,
- Гасна комора са регулатором гасова,
- Гасни цилиндар,
- Повратни механизам,
- Носач затварача са клипом,
- Затварач,
- Механизам за окидање,
- Кундак,
- Ножице.

Цев је намењена да се у њој изврши опаљење и да зрну зада правац и обртни момент. Ручица цеви служи за једноставније и брже одвајање цеви од сандука и преношње оружја.

Садук са рукохватом обједињује све делове митраљеза, обезбеђује запињање механизма за окидање, усмерева кретање носача затварача са затварачем и обезбеђује затварање цеви и забрављивање затварача.

Састоји се од тела сандука, носача цеви и носача кундака. Поклопац сандука са уводником служи за затварање сандука са горње стране и обезбеђење смештаја и функције делова уводника. Гасна комора са регулатором гасова усмерава барутне гасове позајмљене из водишта зрна и регулише количину барутних гасова који делују на клип носача затварача. Гасни цилиндар усмерава кретање носача затварача са клипом.



Слика 1.4. Делови митраљеза М84 7,62 mm (1. сандук са уводником; 2. чаура гасног клипа; 3. цев; 4. носач затварача са гасним клипом; 5. затварач; 6. ударна игла (ударач са ударном иглом) 7. регулатор гасова; 8. повратни механизам; 9. делови за окидање и кочење; 10. вратаоца)

Повратни механизам намењен је за враћање носача затварача са клипом у предњи положај. Носач затварача са клипом служи за смештај затварача, извлачење метка из реденика, забрављивање затварача, прихватање притиска барутних гасова, одбрављивање и враћање затварача у задњи положај и за запињање механизма за окидање.

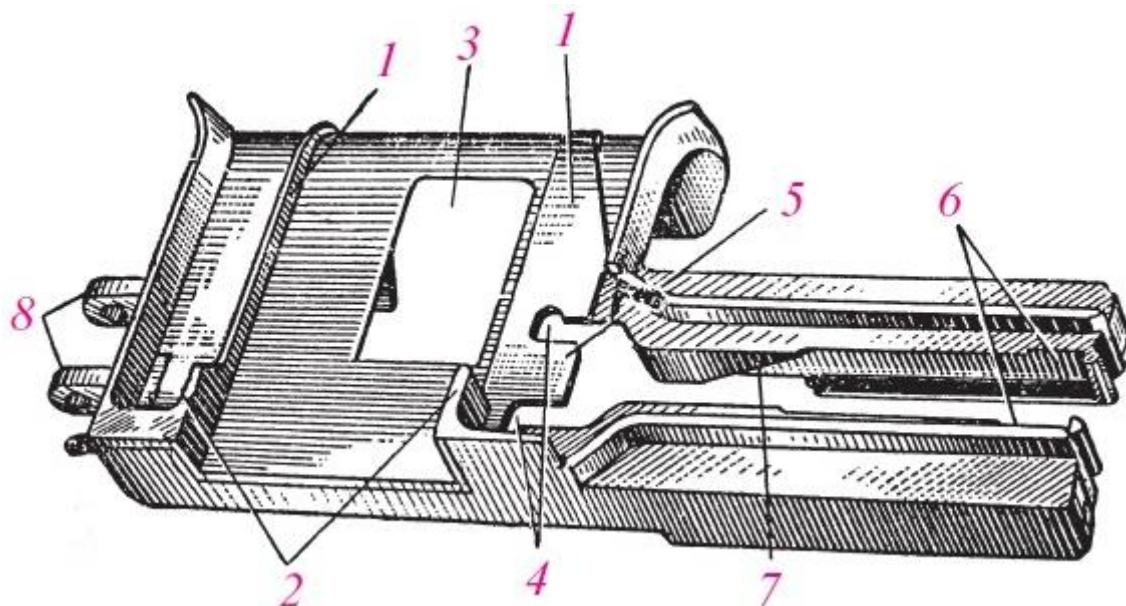
Затварач потискује метак у лежиште метка, затвара цев, извршава опаљење дејством ударне игле на иницијалну капислу и извлачи чауру након опаљења. Механизам за окидање намењен је за запињање носача затварача у задњем положају, окидање и обезбеђење рафалне паљбе и кочења митраљеза. Улога кундака је да обезбеди удобније нишањење митраљезом. Уз помоћ ножице се митраљез ослања на подлогу.

Од посебног значаја за тему дипломског рада има уводник, као део који учествује у храњењу митраљеза М84. Уводник обезбеђује доношење метка на правац кретања затварача. Састоји се од:

- Основе уводника,
- Доносача метка са заштитником,
- Поклопца сандука.

Основа уводника усмерава кретање реденика са муницијом и усмерава метак при доношењу у лежиште метка, слика 1.5. У предњем делу основа има две ушице кроз које пролази осовина поклопца сандука и спаја је са носачем цеви. Са предње леве стране налази се кружни отвор за смештај утврђивача основе. Утврђивач се састоји од тела и опруге, а намењен је да задржи основу уводника у отвореном положају.

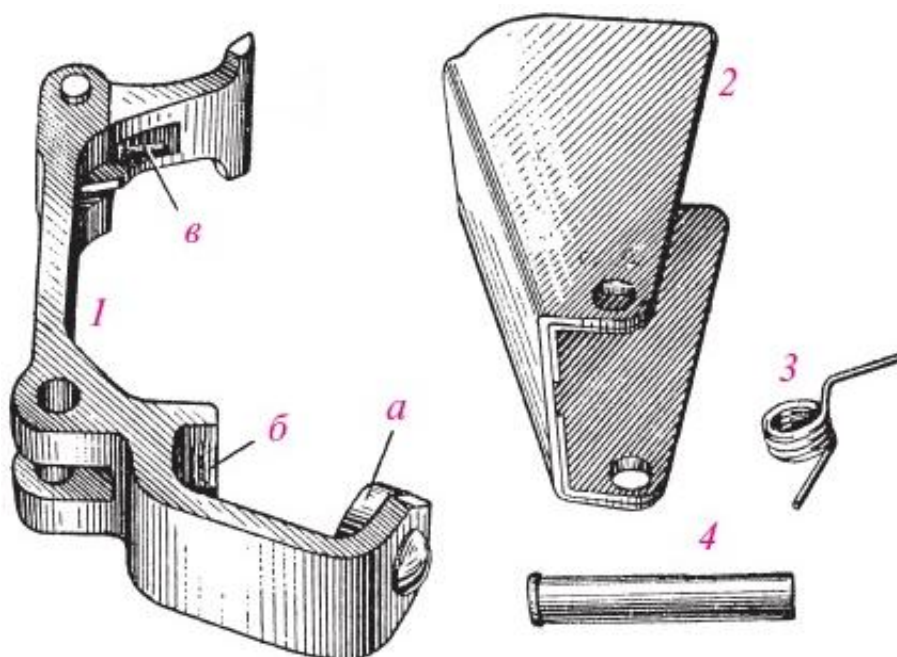
Са горње стране основе су по два испуста (водећи и гранични) који усмеравају наредни метак према крацима извлакача метка на носачу затварача. Између испуста је попречни отвор за пролажење прста доносача метка.



Слика 1.5. Основа уводника (1. испуст за вођење метка; 2. испуст за ограничење првог метка у реденику; 3. отвор за доносач; 4. изрези за пролажење задржача реденика; 5. ослонац венца чауре; 6. изрез за венац чауре; 7. коси испуст за усмеравање метка; 8. ушице за утврђивање са сандуком и поклопцем)

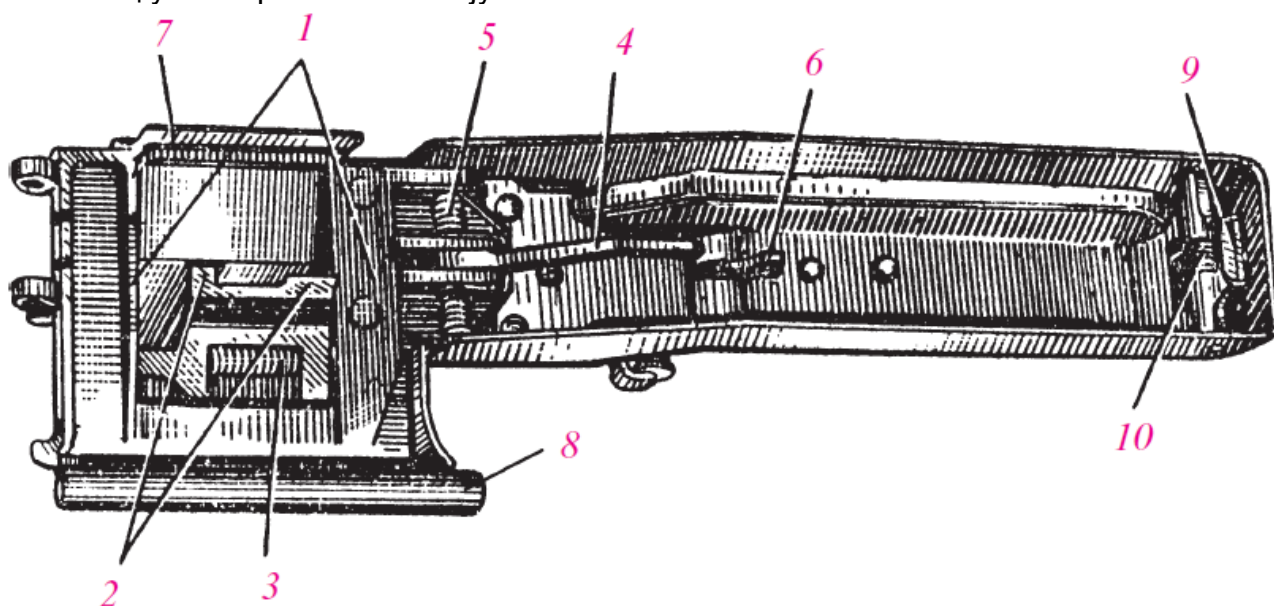
У задњем водећем испусту су профилисани изрези (у које залазе краци задржача реденика) и ослонац венца чауре. Са задње горње стране основе уводника су два ребра између којих је уздужни жлеб за кретање извлакача метка. Жлеб је уздужно прорезан и у предњем делу, са страна, има коси испуст за усмеравање метка ка лежишту метка. Са задње стране, у жлебу и са стране, су вертикални изрези за пролажење венца чауре. Са доње стране, основа уводника има спољна ребра која налажу у жлебове на носачу цеви и два унутрашња ребра испод којих се креће носач затварача.

Доносач је намењен да донесе реденик са мецима у основу уводника, слика 1.6. Састоји се од: тела, ваљчића са осовином, прста са опругом и осовином, заштитника, полуге доносача, осовине и опруге. Тело доносача има испуст, који клизи по засеченом жлебу носача затварача са десне стране. Ваљчић са осовином налаже у засечени жлеб са леве стране носача затварача. Прст доносача има са доње стране три жлеба. Заштитник штити тело доносача од механичког оштећења и прљавштине и затвара изрез на основи уводника са десне стране. Задржач реденика задржава реденик и спречава набијање метка ка граничним испустима основе уводника. Састоји се од тела, осовине и опруге.



Слика 1.6. Доносач (1. тело доносача – а) ваљчић са осовином, б) испуст, в) прст са опругом и осовином; 2. заштитник полуге доносача; 3. опруга; 4. осовина)

Поклопац сандука намењен је за затварање сандука са горње стране и обезбеђење смештаја и функције делова уводника, слика 1.7. Он има са предње стране два испуста са засецима и попречним отворима кроз које пролази осовина и поклопац спаја са носачем цеви. На осовину је навучена опруга коју поклопац, када је отворен, држи у исправљеном положају. Засеци на испустима ограничавају исправљање поклопца навише. На поклопцу се налази уздужни отвор за смештај осовине задржача реденика. Са горње стране за поклопац су заковани постоље задњег нишана и браник нишанске реглете. На предњем делу поклопац има две ушице у које се смештају осовине и опруге вратаоца. Опруге вратаоца држе поклопац у затвореном положају.



Слика 1.7. Поклопац сандука (1. вођице; 2. задржач реденика; 3. опруга; 4. притискивач метка; 5. опруга полуге; 6. граничник метка; 7. лева вратаоца; 8. десна вратаоца; 9. утврђивач поклопца; 10. опруга утврђивача поклопца)

Са задње стране на поклопцу налази се четвртасти отвор за пролажење тела утврђивача поклопца. Тело утврђивача је нарецкано ради лакшег потискивања напред, а са доње стране је извучено у зуб.

Тело утврђивача утврђено је осовином. Опруга утврђивача стално потискује зуб тела унапред. Са унутрашње стране, на средини поклопца је уздужни четвртасти прорез у који се смешта граничник метка. Испред граничника метка поклопац је профилисано изрезан са две ушице. У изрез ушице смештена је полуга поклопца и утврђена својом осовином. Опруга стално полугу поклопца потискује наниже. У предњем делу, са унутрашње стране поклопца су водећи испусти. У жлебу између водећих испуста смештен је задржач реденика са својом опругом [2].

2. МЕХАНИЗАМ ЗА ХРАЊЕЊЕ АУТОМАТСКОГ ОРУЖЈА

Преко механизма за храњење врши се поуздано и благовремено пуњење оружја метком. Процес пуњења метком подразумева аутоматско пребацивање метка из магацина у лежиште метка у току једног циклуса рада аутоматике. Овај механизам је један од најодговорнијих склопова за функционисање аутоматског оружја и због своје конструкционе и кинематске сложености представља најчешћи узрок застоја аутоматског оружја.

Процес храњења се одиграва у две фазе:

1. кретање метка до пријемника из магацина или реденика (доношење метка),
2. кретање метка од пријемника до лежишта метка (уношење метка).

На основу овога може се рећи да се механизам за храњење састоји из два независна механизма:

- механизам за доношење метка из магацина или реденика,
- механизам за уношење метка у лежиште.

Пријемник је простор у који се смешта наредни метак пре пуњења. Пријемник омогућава почетно вођење док лежиште метка омогућава завршно вођење.

2.1 Подела механизма за храњење митраљеза према начину смештаја и довођења метка

Храњење метком може бити помоћу:

- реденика,
- магацина:
 - добош,
 - оквир,
- трака (касета).

Пошто је један од основних захтева за митраљез велика практична брзина гађања, највећа вредност ове величине постиже се ако се оружје храни редеником и зато се данас готово сви модели митраљеза хране редеником, слика 2.1.



Слика 2.1. Реденици са муницијом различитих калибра (Југоимпорт)

Храњење помоћу реденика у поређењу са храњењем из магацина омогућава знатно смањење основне масе (мању масу празног реденика од масе празног магацина за исти број метака). Међутим доношење метка помоћу реденика има и своје недостатке, а они су:

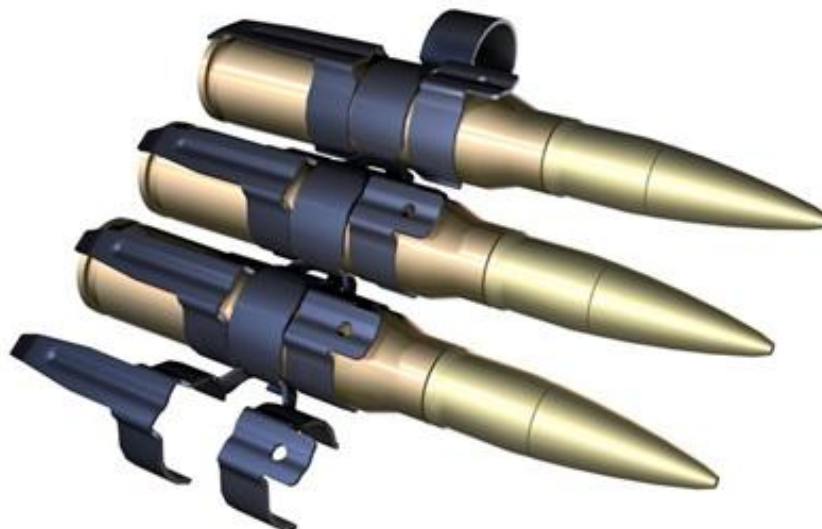
- конструкција оружја је сложенија,
- крајеви реденика отежавају руковање оружјем.

Упркос наведеним манама, овај начин храњења је потиснуо храњење помоћу магацина код савремених митраљеза. Реденик повезује више метака у једну целину који се помоћу механизма за померање реденика помера за један корак (растојање између оса два суседна метка) у току дела циклуса рада аутоматике. Што је овај корак краћи, биће потребна мања енергија за померање реденика. Реденици се састоје од више чланака спојених у низу неким механичким осигурачем као што је чивија. Код многих реденика се сами меци користе као чивије. Раније су били израђивани од тканине што се показало као неповољно а данас се израђују од метала. Главни захтеви које реденик мора да испуни су:

- да има што мањи корак,
- довољна отпорност на кидање,
- да буде обезбеђено доношење метка до пријемника при различитим положајима кутије и самог оружја,
- да издржи разне климатске услове,
- способност да се реденик брзо продужи једноставним састављањем последњег чланка са првим чланком другог реденика.

Постоје три типа чланака реденика:

- на извлачење (метак се захвата у жљеб на дну чауре и извлачи уназад),
- на потискивање (потискивач или затварач гура метак директно ка лежишту),
- са бочним скидањем (метак се истискује применом силе обично преко ексцентричног управног на осу метка).



Слика 2.2. 3D модел реденика у програму *cinema4D 9.5*.

Чланци реденика могу бити отвореног и затвореног типа, слика 2.2. Њихова конфигурација и врста зависи од употребе оружја. Отворени чланци су добри за истискивање метка, али су лоши у погледу јачине реденика и задржавању метака, док затворени имају потребну јачину али је теже тј. комплексније извлачење метка.

Ако се реденици одбацују после гађања, користе се као раздвојиви реденици, где чланак пада из реденика чим се метак скине из њега или га из реденика истискује избачена чаура. Ако реденици треба да се задрже онда је потребно да се сачува празан реденик као целина. На слици 2.3 илустровани су примери неких решења митраљеца који се хране помоћу реденика.



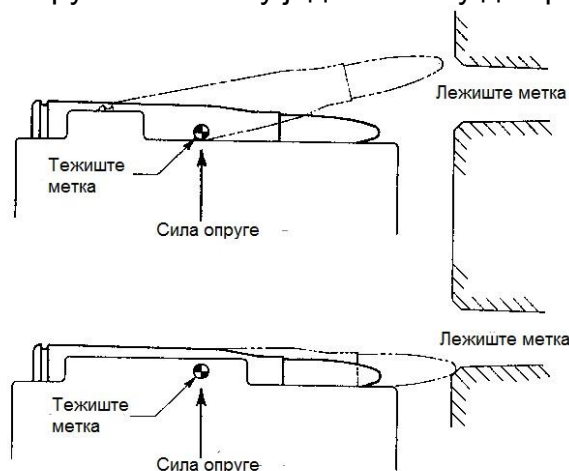
Слика 2.3. Митрљези који се хране помоћу реденика: а) немачки MG 3, б) руски NSV, в) амерички M2HB-QCB, г) британски Vickers Mk.I, д) чешки UK Vz.59

Храњење помоћу магацина је највише заступљено код пиштоља, пушака и аутомата. Међутим, постоје конструкциона решења митраљеца, нарочито лаких (испод 20 килограма) и пушкомитраљеца који се такође хране помоћу магацина. Магацин се, у односу на оружје, може налазити са леве, десне, горње или доње стране. Сваки од ових положаја има своје предности и мане. Магацини могу бити заменљиви и незаменљиви, и различитог конструкционог облика.



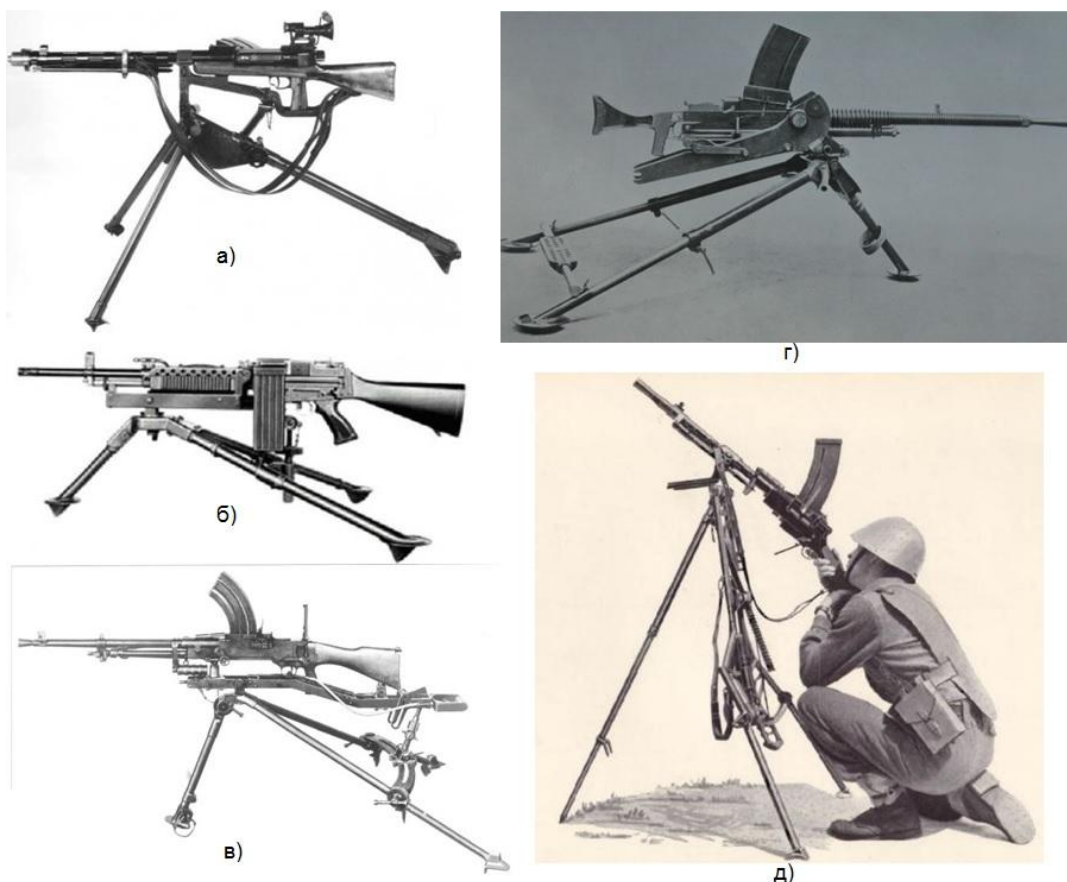
Слика 2.4. Прав оквир (лево) и лучни (десно)

а) Оквири су магацини правоугаоног облика и приказани су на слици 2.4. Они су ограниченог капацитета, највише до 50. У зависности од облика метка, они могу бити прави (за пиштољску муницију) и лучни (за муницију пушака и митраљеза). Муниција у оквиру може бити у једном или у два реда.



Слика 2.5. Усне оквира

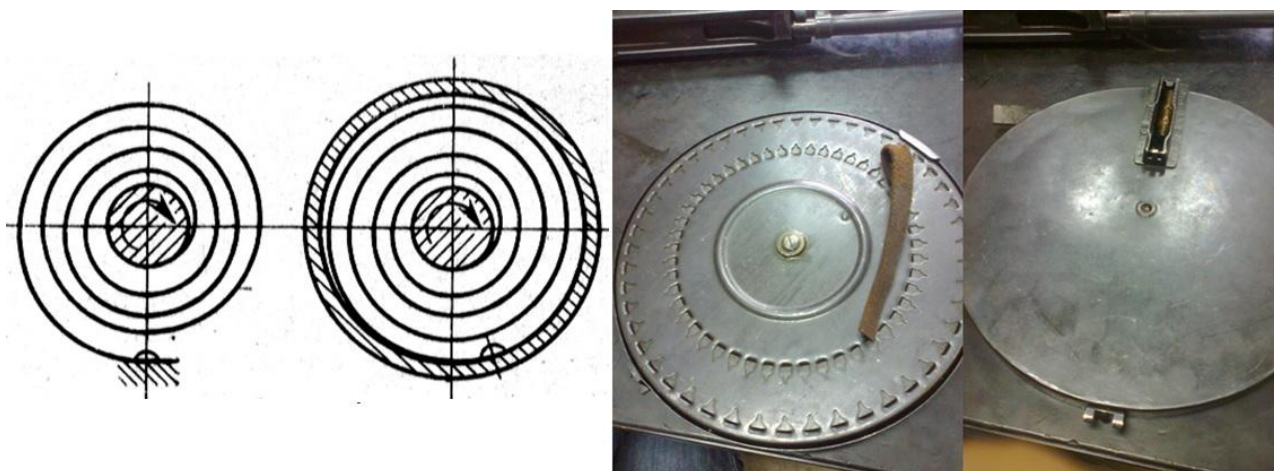
Оквир не само што држи метке, већ ограничава њихово излажење на уснама и води сваки метак док га затварач скида са оквира. Ограничавајући и водећи елементи, који се називају усне оквира представљају саставни део са странкама оквира. Примери решења митраљеза који се хране помоћу оквира дати су на слици 2.6.



Слика 2.6. Митраљези који се хране помоћу оквира – а) швајцерски Furrer Lmg-2, б) амерички Stoner 63, в) енглески Vickers-Berthier Mk.3, г) француски Hotchkiss model 1930, д) дански Madsen model 1950

Главни делови овог система су оквир, доносач и опруга. Доносач раздваја колону метака од опруге, преноси силу опруге на метке и обезбеђује клизну површину за последњи метак. Опруга може да буде од округле жице обликована у правоугаоне навоје или може да буде пљосната челична трака пресавијена у одређеним интервалима.

б) Добоши (бубњеви) су магацини ваљчастог облика, и представљени су на слици 2.7. У добоше се може сместити и до 150 метака. Принцип функционисања је исти као код оквира, с тим што је другачији положај метака у магацину и другачија је конструкција опруге. У улози покретача доношења метака, најчешће се користе спиралне опруге. Унутрашњи крај опруге је причвршћен на вретено, а спољашњи се причвршћују на тело уређаја или на добош у чијој се унутрашњости смешта читав спирална опруга. Примери решења митраљеца који се хране помоћу добоша дати су на сликама 2.8 и 2.9.



Слика 2.7. Спирална завојна опруга (лево), и физички изглед добоша (десно)



Слика 2.8. Француски митраљез MAC M 1931



Слика 2.9. Британски митраљез Lewis

Храњење се може обављати и преко касета или трака, приказаних на слици 2.10. Међутим, ови типови су били заступљени на ранијим моделима и данас се врло ретко примењују. Изглед решења оружја са оваквим начином храњења дат је на слици 2.11.



Слика 2.10. Касета уз помоћ које се храни митраљез: а) италијански Breda M1937, б) јапански Type 92



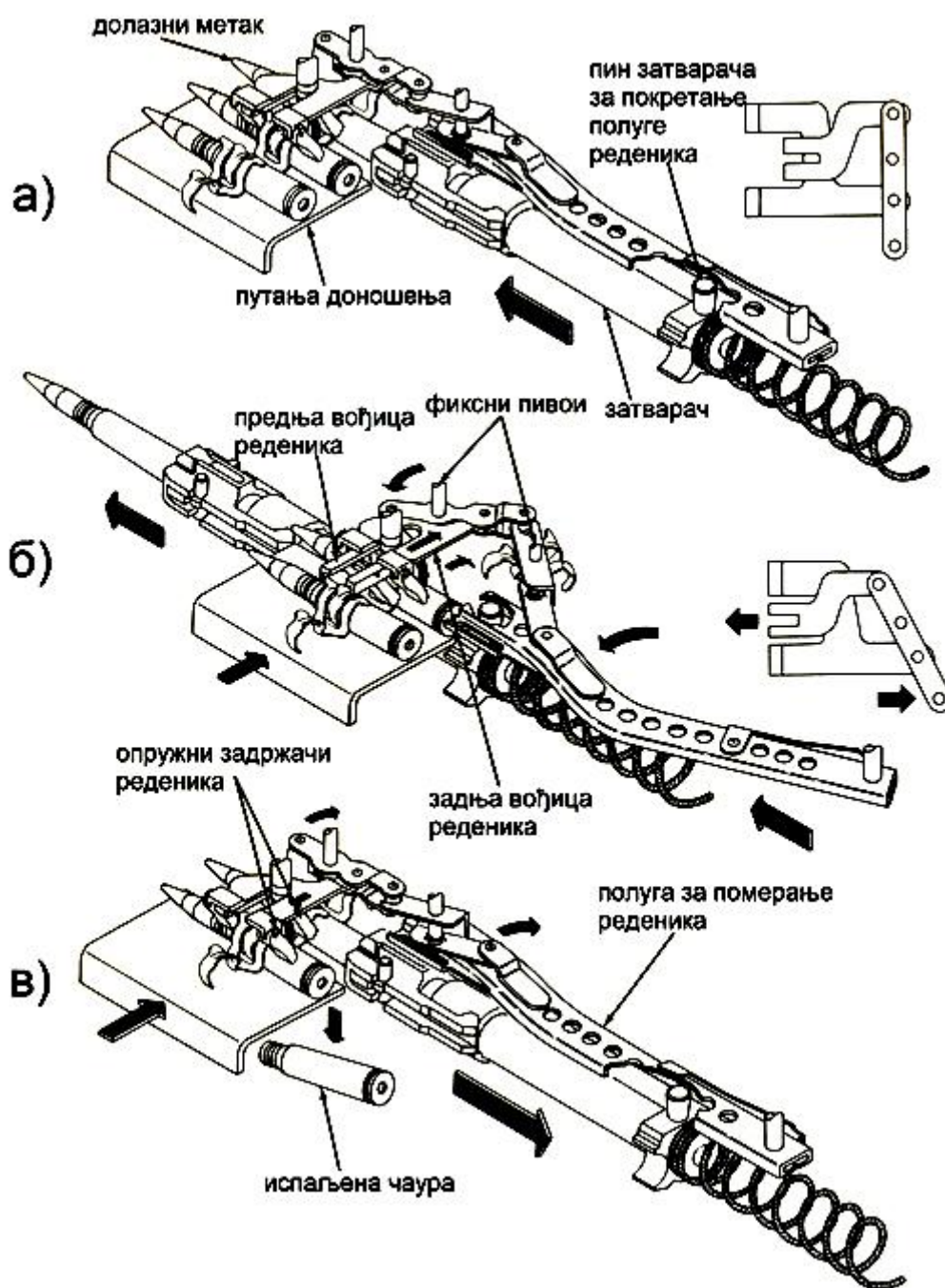
Слика 2.11. Митраљези који се хране помоћу трака и касета: а) јапански Type 92, б) италијански Breda M1937, в) амерички Benet-Mercie M1909, г) Etienne Model 1907, д) Hotchkiss Portable machine gun Mark I

2.2 Подела механизма за храњење митраљеза према начину кретања чланова који врше померање реденика

Механизам за померање реденика је део механизма за храњење који служи да помери реденик и унесе следећи метак у пријемник у току циклуса рада аутоматике. Зато што се ове операције изводе у току једног циклуса, померање реденика треба да буде синхронизовано са радом других механизма митраљеза.

Механизми за храњење митраљеза могу се поделити према начину кретања чланова који непосредно врше померање реденика на:

- механизми са клизачима, слика 2.12,
- механизми са зупчастим вретенима, слика 2.13.



Слика 2.12. Померање реденика клизачем

Механизми за померање реденика помоћу клизача примењени су код већег броја модела оружја. Ова врста кретања реденика зове се још и померање реденика у две фазе зато што се клизач који помера реденик креће праволинијски у смеру кретања реденика (прва фаза), а затим се враћа у супротном смеру да захвати следећи метак у реденику (друга фаза). Примери оваквог принципа су старији модели Darne mle 1922, Browning 1919, Browning M2HB, Maxim и Vickers, али и новији модели, углавном из породице руских митраљеза ПК (Пулемџт Калашникова) – ПКМ, ПКМС, ПКМСН, ПКТ, ПКП Печенег 6П41.

На слици 3.12 приказана су три карактеристична положаја механизма за померање:

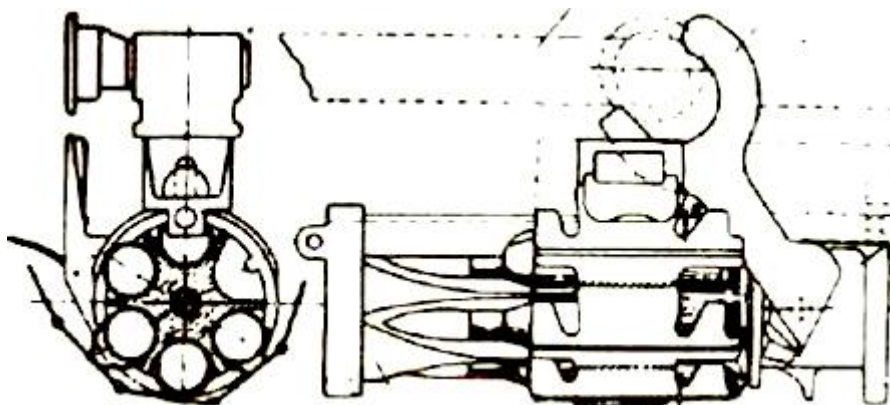
- а) – положај механизма непосредно пре него што затварач започне уношење метка,
- б) – положај механизма када је метак у лежишту метка,
- в) – положај механизма у тренутку избацавања чауре.

Кретање затварача узрокује кретање клизача који се креће дуж жљеба и полуга помоћу којих се покрећу делови за уношење метка и померање реденика. За покретање механизма користи се кинетичка енергија која се дејством барутних гасова предаје на покретне делове аутоматике (затварач и носач затварача) и акумулира у виду потенцијалне енергије повратне опруге.

Утрошак кинетичке енергије за рад механизма за померање реденика треба да буде што мањи, како се не би јавила велика убрзања тј. велике инерцијалне силе које знатно оптерећују поменути механизам. Код овог принципа је немогуће извући метак из реденика према напред у односу на реденик.

Механизми за померање реденика помоћу зупчастог вретена су једноставнији (имају мање покретних делова), али су већих димензија и масе. Шема механизма приказана је на слици 2.13. У току једног циклуса рада вретено се окрене око своје осе за угао који је довољан за доношење новог метка у пријемник. Они обезбеђују поуздан захват реденика и добро фиксирање метка за време померања реденика. За покретање механизма за померање реденика може да се користи:

- Цев – промена количине кретања цеви је знатно мања у односу на систем рада који користи кретање затварача из разлога што цев има знатно већу масу и кинетичку енергију. Користи се код принципа рада са трзањем цеви. Време кретања цеви обично је мање него време кретања затварача, па механизам за померање реденика везан за цев ради у краћем времену него механизам везан за затварач, што је добра особина јер се увек тежи што мањем времену ради повећања брзине гађања. Мана је што се због тога а и због малог хода цеви јављају већа убрзања и инерционалне силе и напрезања делова механизма.
- Затварач – убрзања а самим тим и инерционалне силе које делују на реденик су знатно мање. Ова особина је повољна са становишта напрезања делова, али је неповољна у смислу што затварач нема довољно кинетичке енергије за поуздан рад механизма. Зато се овај принцип користи код митраљеза са затварачима који имају велику резерву кинетичке енергије.
- Носач затварача – обезбеђује поуздан рад механизма, јер је утрошак кинетичке енергије носача затварача и затварача после одбрављивања на погон механизма у односу на њихову укупну кинетичку енергију незнатан.

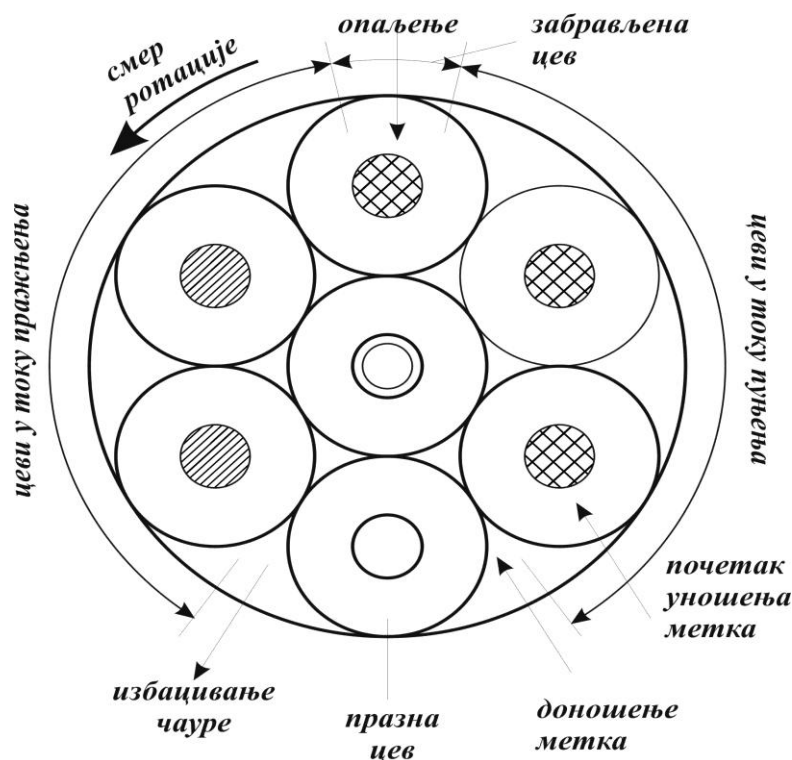


Слика 2.13. Померање реденика зупчастим вретеном

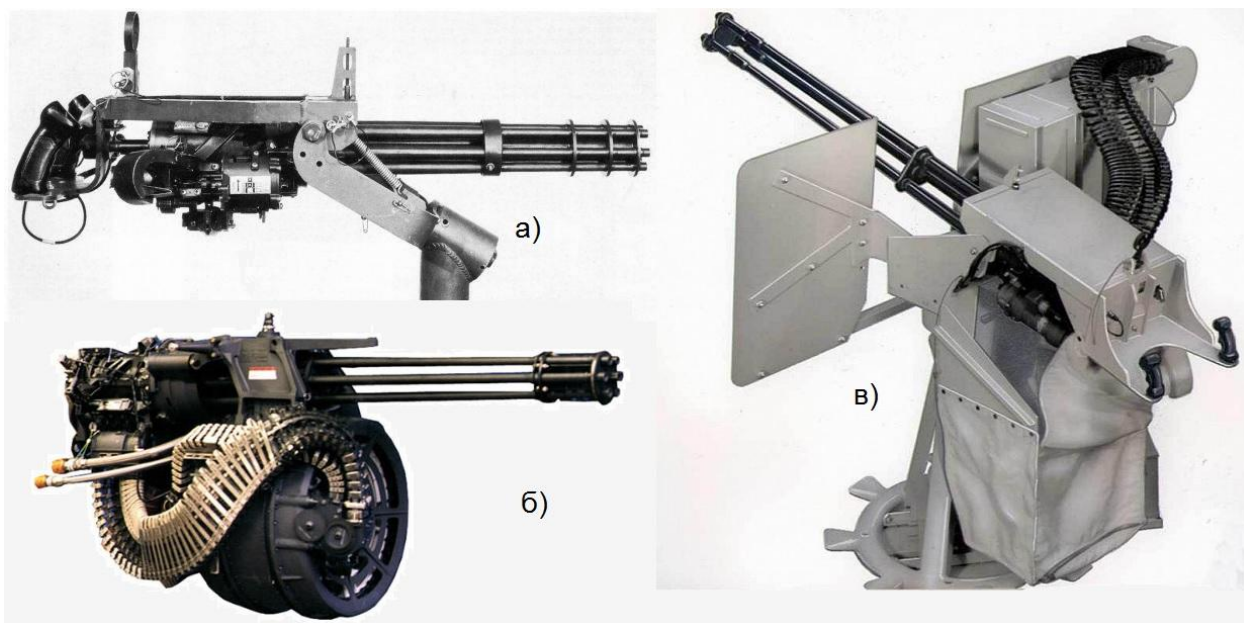
Због ротације зупчастог вретена у току циклуса рада и релативно велике масе вретена, јавља се обртни момент који неповољно утиче на стабилност митраљеза током паљбе [3].

За све претходно наведене типове покретања механизма за храњење, користи се енергија сагоревања барутних гасова. Међутим, постоји и четврта група механизма за храњење која своју функцију обавља користећи енергију спољашњег извора, најчешће електромотора, одређене снаге. Шема рада оваког система дата је на слици 2.14.

Овај принцип користе вишецевни митраљези, углавном већег калибра, као што су M134 Minigun, M61 Vulcan, и GAU-19 Avenger приказани на слици 2.15. Повећавањем броја цеви повећава се брзина гађања без повећања трошења цеви. Они се углавном уграђују на борбена возила, бродове, авионе и хеликоптере или се користе као противваздухопловно средство.



Слика 2.14. Шематски приказ рада вишецевног митраљеза



Слика 2.15. Вишецевни митраљеви: а) M134 Minigun, б) M61 Vulcan, в) GAU-19 Avenger

2.3 Подела механизма за храњење митраљеца према смеру кретања водећег члана

Водећи члан се током кретања реденика може померати само у једном (уздужном) или у два смера. На основу тога механизме за храњење можемо поделити на:

- механизме код којих се водећи члан креће напред,
- механизме код којих се водећи члан креће напред и назад.

Избор смера кретања водећег члана зависи од интензитета сила које делују на делове механизма, напрезања реденика али и потребног (оптималног) времена да се обезбеди благовремено доношење метка у пријемник. Код механизма код којих се водећи члан креће напред и назад знатно су смањене инерцијалне силе и оптерећења делова механизма за померање реденика и постиже се равномернији рад аутоматике (зато што се енергија за покретање механизма добија од затварача при дужем времену – при кретању затварача напред и назад).

2.4 Подела механизма за храњење митраљеца према смеру померања реденика

Механизам за померање реденика као део механизма за храњење може вршити померање реденика у односу на оружје:

- с леве стране,
- с десне стране,
- комбиновано.

Смер кретања реденика бира се на основу намене митраљеца, погодности руковања и места уградње оружја у борбеним возилима.

2.5 Циклограм рада митраљеза М84 7,62 mm

Циклограм рада митраљеза М84 је добијен анализом принципа рада механизма овог митраљеза. Он омогућава састављање програма потребног за решавање диференцијалних једначина (при динамичкој анализи и анализи сила у систему). За основни члан бира се онај део који највише учествује у кретању. За овај митраљез то је носач затварача јер се његово уздужно кретање користи за највећи број операција у раду аутоматике [4].

Пре свега, везано за тему дипломског рада, користи се за покретање механизма за храњење (извлачење метка из реденика, довођење метка у пријемник и његово увођење у лежиште метка). Дијаграм је подељен на два периода:

- период трзања,
- период враћања.

Табела 2.1. *Циклограм рада митраљеза М84 7,62 mm за трзање*

Редни број	Специфична појава у раду аутоматике	Померај носача затварача x [mm]
1.	Почетак извлачења метка из реденика	0
2.	Почетак рада доносача метка	9
3.	Почетак одбрављивања затварача	9
4.	Крај одбрављивања затварача	19
5.	Крај ротације затварача после одбрављивања	22
6.	Клип излази из цилиндра	38
7.	Почетак отварања поклопца за избацивања чауре	48
8.	Крај спуштања метка пред чело затварача	77
9.	Крај отварања поклопца за избацивање чауре	98
10.	Избацивање чауре	103
11.	Почетак затварања поклопца за избацивање чауре	110
12.	Крај рада доносача метка	127
13.	Крај затварања поклопца за избацивање чауре	127
14.	Запињање носача затварача	134
15.	Крај трзања носача затварача	136

Почетак и крај сваке фазе је одређен специфичном појавом у раду аутоматике. Фазе које се односе на рад делова механизма за храњење у циклограму рада означене су подебљаним словима.

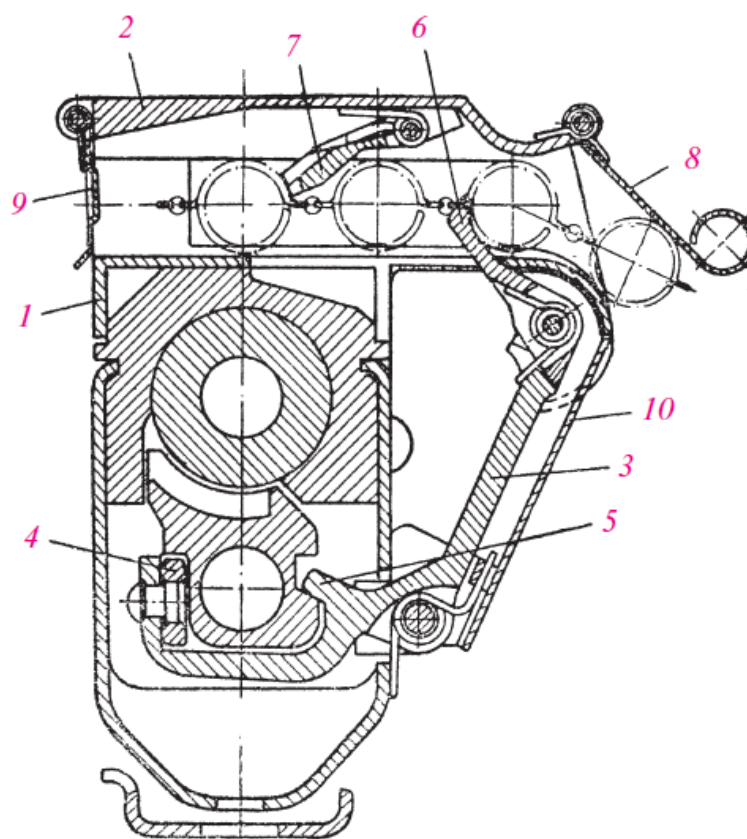
Табела 2.2. Циклограм рада митраљеза М84 7,62 mm за враћање

Редни број	Специфична појава у раду аутоматике	Померај носача затварача x [mm]
16.	Почетак уношења метка	127
17.	Почетак отварања поклопца за избацивање чауре	127
18.	Почетак рада доносача метка	127
19.	Крај отварања поклопца за избацивање чауре	110
20.	Почетак затварања поклопца за избацивање чауре	98
21.	Крај затварања поклопца за избацивање чауре	48
22.	Крај враћања тела затварача	22
23.	Почетак забрављивања затварача	19
24.	Крај забрављивања затварача	9
25.	Крај рада доносача метка	9

Из дијаграма циклуса рада може се видети да делови механизма за храњење започињу свој рад на самом почетку циклуса (за $x = 0$ mm). Последња позиција у дијаграму при враћању, такође се односи на рад делова механизма за храњење. На основу овога, као и на основу броја позиција које механизам за храњење заузима у целом циклограму, може се рећи да анализом и променом параметара појединих делова овог механизма, може се битно утицати на циклус рада митраљеза М84.

3. КИНЕМАТСКА АНАЛИЗА КОМПЛЕТНОГ МЕХАНИЗМА ЗА ХРАЊЕЊЕ МИТРАЉЕЗА М84

Као што је претходно поменуто, храњење митраљеза састоји се из фазе довођења метка из реденика до пријемника и фазе кретања метка од пријемника до лежишта метка. Све операције у овим фазама врше се коришћењем енергије сагоревања барутног пуњења која се предаје затварачу и носачу затварача у виду кинетичке енергије. Механизам за храњење користи само један део (минимални довољан) њихове укупне кинетичке енергије. Изузетак је први метак који се доводи у лежиште метка ручно – повлачењем ручице за запињање. На слици 3.1 приказан је попречни пресек на коме се види положај доносача у односу на сандук и реденик.

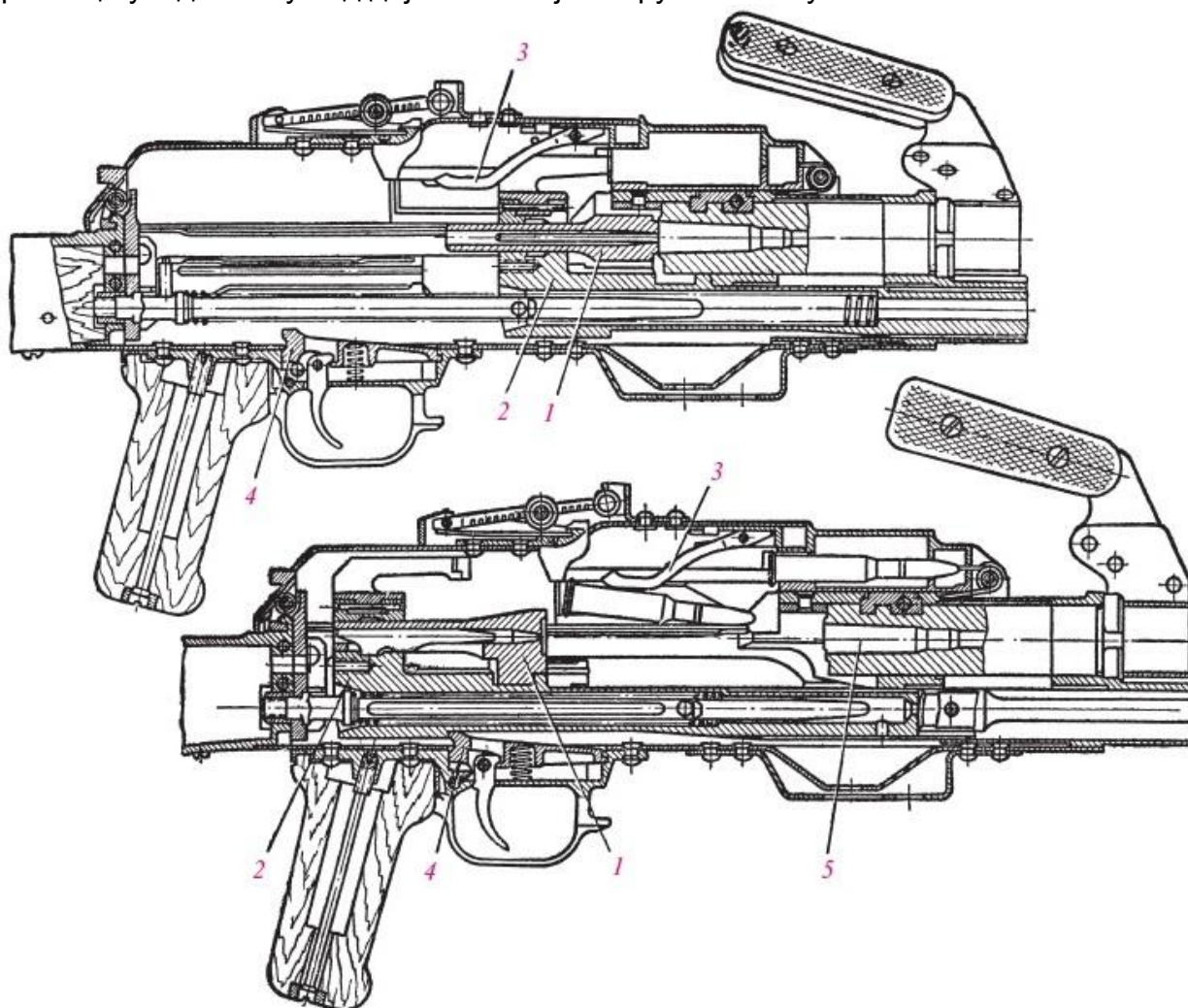


Слика 3.1. Шема система храњења митраљеза 7,62 mm М84 – попречни пресек (1. сандук, 2. поклопац уводника, 3. полуга доносача, 4. ваљчић, 5. испуст на полузи доносача, 6. доносач, 7. задржач реденика, 8. и 9. леви и десни поклопац, 10. заштитник полуге доносача)

Полуга доносача ротира око своје осе деловањем носача затварача тако да доносач помера реденик за један корак при кретању носача затварача ка задњем положају, док заскаче нови метак док се носач затварача креће ка предњем положају.

Положај делова митраљеза М84 пре пуњења и приликом пуњења приказани су на слици 3.2. Тело носача затварача са клипом и затварачем, под дејством силе повратне опруге, је у крајњем предњем положају. Гасни клип је у гасној комори, повратна опруга је опружена а тело затварача окренуто око уздужне осе удесно, тако да се његова проширења ослањају на испусте у сандуку, а цев је забрављена.

Доносач метка улази својим испустом у засечени жлеб на десној страни носача затварача, заузима крајњи десни положај. Прст доносача је помоћу његове опруге подигнут нагоре. Задржач реденика и полука поклопца у поклопцу сандука су под дејством своје опруге потиснути на доле. Поклопац сандука је затворен, а вратаоца уводника су под дејством својих опруга потиснута навише.



Слика 3.2. Положај делова митраљеца М84 пре и приликом пуњења (1. затварач, 2. носач затварача, 3. притискивач метка, 4. запињача, 5. лежиште метка) [5]

Клизач је померен удесно и потискивач реденика под дејством опруге је уздигнут. Задржач реденика и притискивач метака су под дејством опруга спуштени, а поклопчићи отвора уводника и отвора за избацивање чаура затворени.

Повлачењем ручице за запињање уназад њен зуб захвата правоугаони засек са десне горње стране носача затварача и повлачи носач затварача уназад. Крећући се уназад, носач затварача истовремено повлачи клип и сабија опругу повратног механизма.

Кретањем носача затварача уназад по засеченим жлебовима са страна тела носача затварача, крећу се ваљчић и испуст тела доносача и тело потискује наниже, према испупчењу са доње стране сандука, чиме се истовремено потискује прст доносача улево. Прст доносача захвата чланак реденика са метком и потискује реденик улево док метак не налегне на граничне испусте основе уводника.

С обзиром на то да је први метак био смештен између кракова извлакача метка, повлачењем носача затварача уназад, извлакач својим правоугаоним засецима на краковима закачење за венац чауре, извлачи га из чланка реденика и носи га уназад до вертикалних изреза на водећим жлебовима основе уводника. у том моменту граничник метка и полуга поклопца потискују метак кроз вертикалне прорезе и он испада из кракова извлакача. Када се носач затварача са затварачем доведе у крајњи предњи положај, он под притиском опруге повратног механизма креће напред, својим засеченим испустом наилази на зуб запињаче и остаје запет. Тиме је митраљез М84 спреман за отварање паљбе. Исте ове операције храњења догађају се периодично након опаљења сваког метка из лежишта метка, с тим што се, у овом случају, за покретање носача затварача користи енергија сагоревања барутног пуњења. Аутоматска паљба траје док се обараца не ослободи притиска или не испале сви меци из реденика.

Ход затварача зависи од конструкције самог метка и завршне фазе храњења тј. уношења метка. Он мора бити већи од дужине целог метка како би било могуће извршити пуњење. Минимална захтевана дужина хода затварача на основу литературе [6] треба да буде:

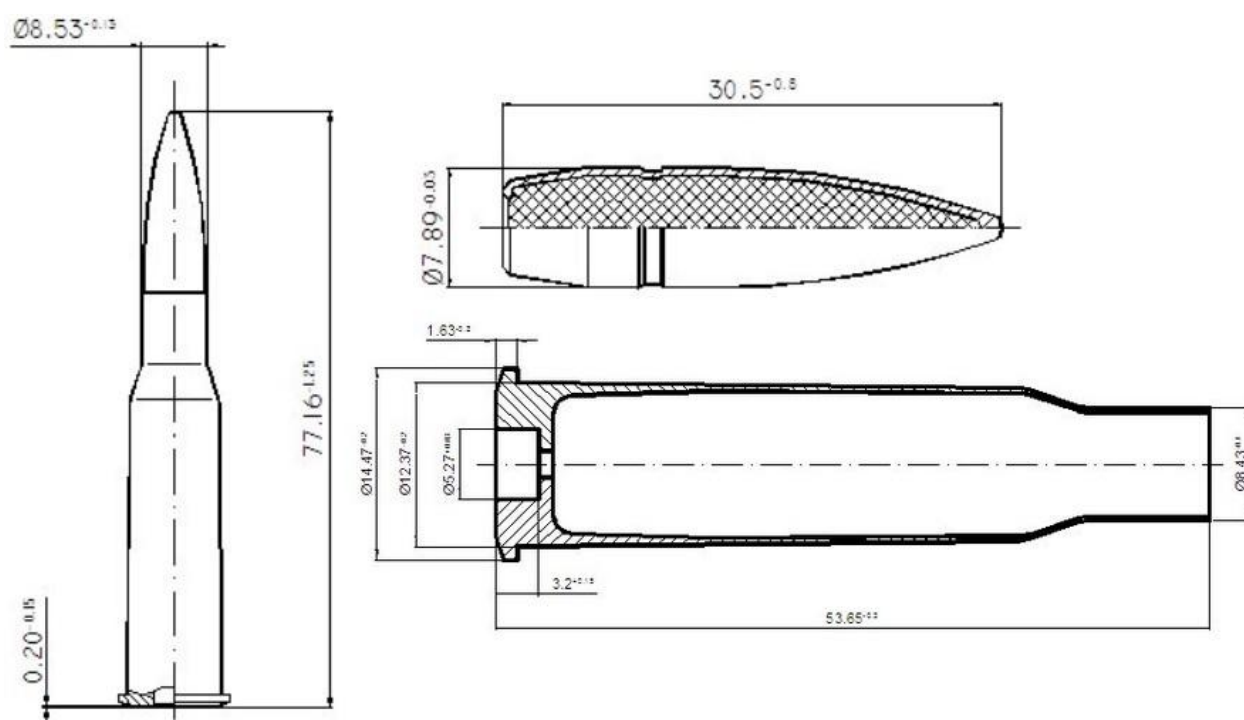
$$l = l_p + l_1 \quad (1)$$

где су,

l_p – дужина метка,

l_1 – растојање од врха метка до задњег пресека цеви.

Дужина l_p је позната из конструкције метка, слика 3.3.

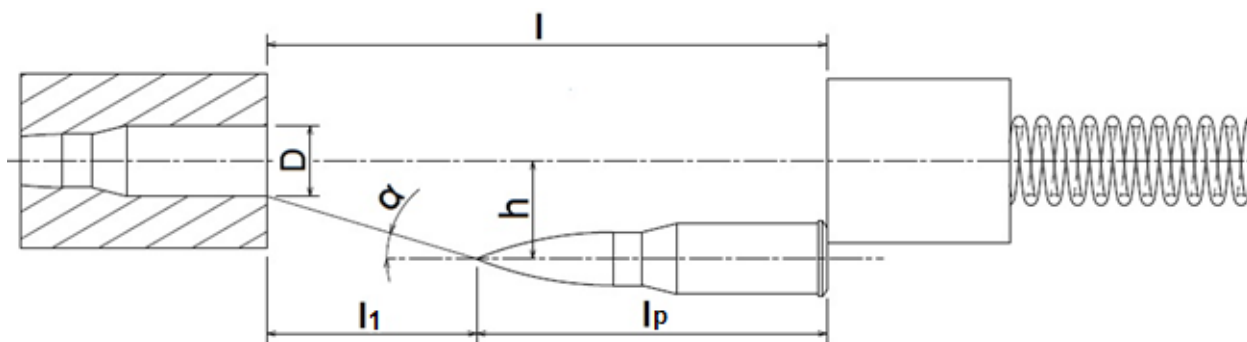


Слика 3.3. Габаритне димензије и пресеци зрна и чауре 7,62 mm x 54R

Растојање l_1 може се израчунати преко израза:

$$l_1 = \left(h - \frac{D}{2}\right) \cdot \operatorname{ctg} \alpha \quad (2)$$

где су дате величине представљене на слици 3.4.



Слика 3.4. Потребан ход затварача

Поред просторног ограничења, постоји и временско ограничење тј. потребно је да време за које механизам за храњење донесе нови метак на пут затварача (Δt_p) буде мање од времена за које се затварач креће назад до свог задњег положаја и напред до дна чауре метка у пријемнику (Δt_3):

$$\Delta t_p < \Delta t_3 \quad (3)$$

4. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ МЕХАНИЗМА ЗА ХРАЊЕЊЕ МИТРАЉЕЗА М84

Храњење митраљеза М84 врши се тако што се користи енергија барутних гасова за покретање носача затварача и у односу на његово кретање се постављају диференцијалне једначине. Посматраће се кретање носача затварача у две фазе:

- фаза кретања од тренутка започињања кретања носача затварача тј. преласка зрна преко отвора за позајмицу до тренутка када се он налази у задњем положају,
- фаза кретања од тренутка када се носач затварача налази у задњем положају до тренутка доласка носача затварача у крајњи предњи положај.

Да би се решиле диференцијалне у свим фазама кретања носача затварача потребно је познавати следеће вредности:

- положај носача затварача (x),
- масе делова који учествују у кретању (m_{tz} , m_{nz} , m_{op} , m_p , m_c , m_b , m_m),
- промену силе притиска барутних гасова у цеви која делује на чело затварача и која делује на клип и цилиндру (F_{b1} , F_{b2}),
- промену силе повратне опруге при трзању и враћању носача затварача (F_{op}),
- интензитет силе извлачења односно чупања метка из реденика (F_{iz}),
- аксијалну компоненту силе отпора кретању ваљчића доносача по жлебу на носачу затварача (F_1),
- аксијалну компоненту силе отпора кретању препуста на полузи доносача која клизи по жлебу на супротној страни носача затварача (F_3),
- коефицијент реституције за удар носача затварача у одбојник од текстолита (k),
- моменте обртања и конструкционе параметре склопа доносача (M_{d1} , M_{d2} , m_d , Θ_m , J_x).

4.1 Положај носача затварача

На основу циклограма рада митраљеза М84 можемо дефинисати граничне услове за диференцијалне једначине по фазама:

1. фаза: $x_0 = 0$ mm, $x_1 = 136$ mm;
2. фаза: $x_2 = 136$ mm, $x_3 = 0$ mm;

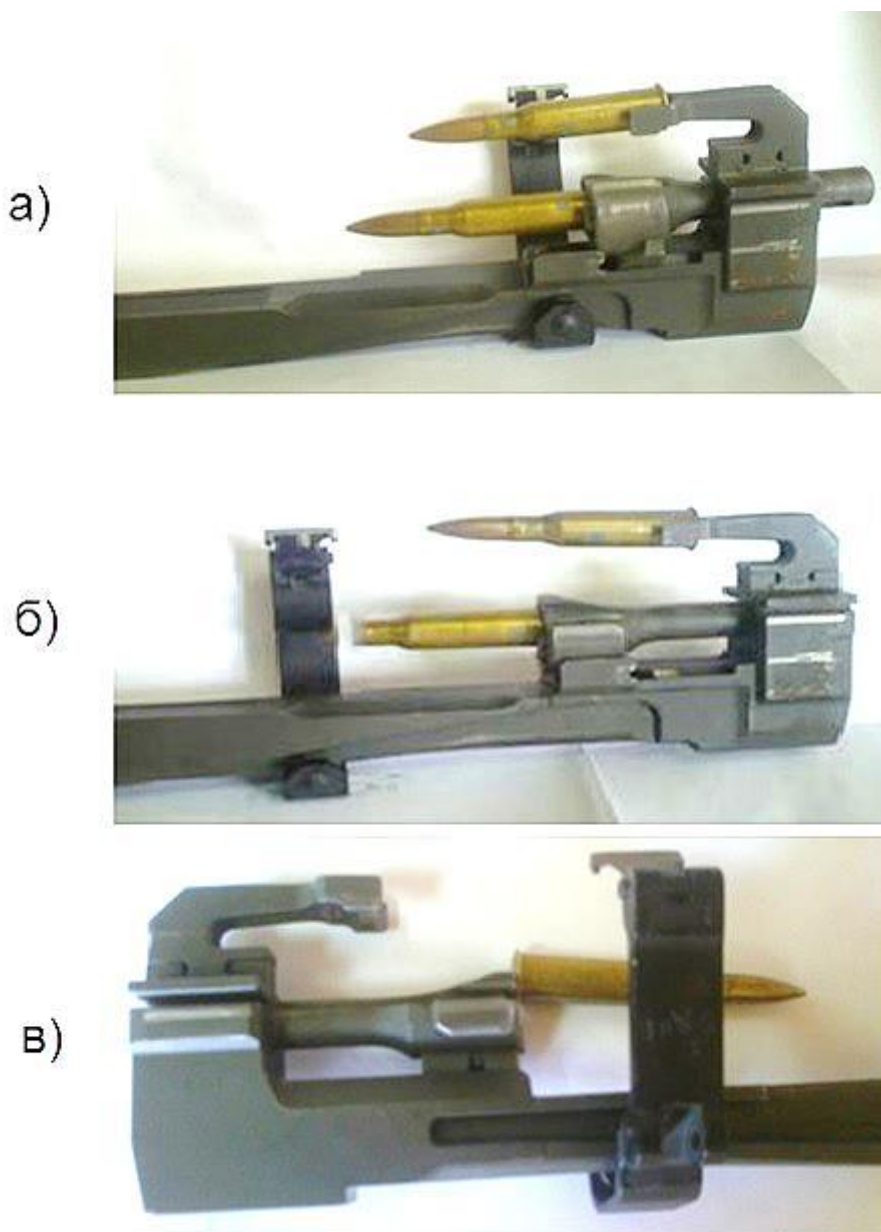


Слика 4.1. Положај покретних делова митраљеза у тренутку опаљења

Прва фаза започиње покретањем носача затварача. У тренутку опаљења, затварач је забрављен и нема померања ни једног дела који учествује у храњењу митраљеза. Положај покретних делова митраљеза у тренутку опаљења приказан је на слици 4.1 а).

Када дно пројектила прође отвор за позајмицу, повећава се притисак у цилиндру и носач затварача започиње кретање уназад ка задњем положају. Тада се креће носач затварача док је тело затварача у забрављеном положају. Затварач започиње одбрављивање након пута носача затварача од 9 mm. У току овог померања долази до чупања метка из реденика.

Након тога, тело затварача се окреће око своје осе деловањем жлебова на носачу затварача и након 19 mm хода носача затварача, затварач је одбрављен.



Слика 4.2. Положај доносача и затварача у различитим фазама у циклусу рада:
а) тренутак опаљења, б) кретање након опаљења, в) протискивање новог метка и убацивање у цев (поглед са супротне стране носача затварача)

Даљим кретањем носача затварача према задњем положају, ваљчић доносача креће се по жлебу на носачу и на тај начин се доносач помера у попречној равни улево притом померајући реденик за један корак h , слика 4.2. б). На путу од 77 mm метак се спушта дејством задржача метка и полуге на поклопцу сандука у канал тела уводника. Када носач затварача дође у задњи положај на путу од 136 mm, прва фаза кретања је завршена и отпочиње друга фаза.

У другој фази се затварач креће напред ка предњем положају деловањем силе повратне опруге. На том путу, кретањем препуста на полузи доносача која се налази на супротној страни од ваљчића по жлебу на носачу затварача, долази до померања прста доносача удесно и захватања новог чланка реденика. На путу носача затварача од 127 mm у односу на дно цеви, чело затварача наилази на метак који је претходно спуштен у канал уводника, слика 4.2. в). Кад носач затварача дође у предњи положај, и тело затварача забрави, друга фаза и један циклус рада је завршен.

4.2 Маса делова који учествују у кретању

Основна маса која се супроставља сили притиска барутних гасова својом инерцијом је маса носача затварача заједно са клипом и затварачем. Поред њих учествују маса повратне опруге и маса празне чауре до тренутка дејства избацача. Међутим, ове масе су веома мале у односу на масу носача затварача и неће се узимати у обзир приликом прорачуна. Такође, за унутрашње балистички прорачун потребно је познавати масу пројектила.

маса тела затварача

$$m_{tz} = 0,12 \text{ kg},$$

маса носача затварача са клипом

$$m_{nz} = 0,89 \text{ kg},$$

маса повратне опруге

$$m_o = 0,0345 \text{ kg}.$$

За усвојени тип метка: 7,62x54R M30 (J) са тешким зрном и месинганом чауром потребне масе су:

маса зрна

$$m_p = 0,0118 \text{ kg},$$

маса барутног пуњења

$$m_b = 0,0031 \text{ kg},$$

маса чауре са капислом,

$$m_c = 0,0101 \text{ kg},$$

маса метка

$$m_m = 0,025 \text{ kg}.$$

Носач затварача са телом затварача и клипом се својом инерцијом супроставља кретању:

$$F_z^i = (m_{tz} + m_{nz}) \cdot x \quad (4)$$

$$F_z^i = (0,12 + 0,89) \cdot x$$

$$F_z^i = 1,01 \text{ kg} \cdot x$$

где је

x – убрзање носача затварача

За инерционалну силу повратне опруге повратне опруге важи:

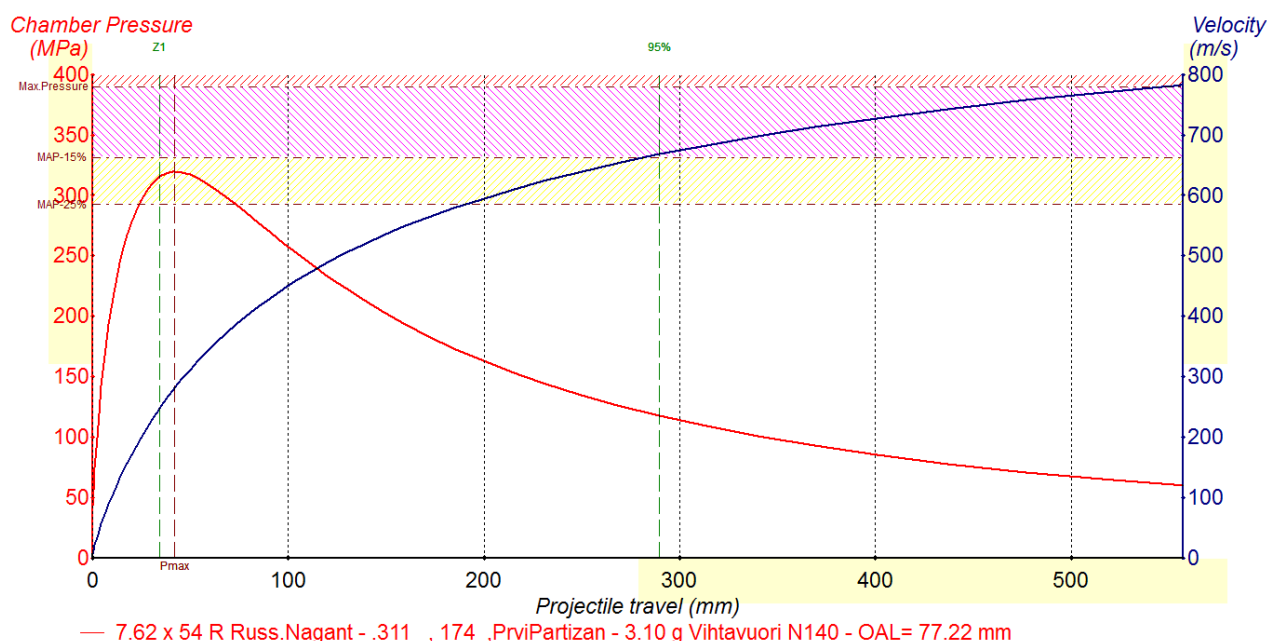
$$F_o^i = \frac{1}{3} m_o \cdot x \quad (5)$$

$$F_o^i = \frac{1}{3} \cdot 0,0345 \cdot x$$

$$F_o^i = 0,0115 \text{ kg} \cdot x$$

4.3. Сила притиска барутних гасова која делује на клип у цилиндру и чело затварача

На основу претходно дефинисаних величина (маса пројектила и барутног пуњења, дужина цеви, конструкција метка), за тип барута NCD-02/R, добијени су унутрашње балистичким прорачуном криве промене притиска барутних гасова у цеви и брзине пројектила за митраљез М84, прилог 1. На слици 4.3. представљена је њихова промена у односу на пут пројектила дуж цеви, док је на слици 4.4 она представљена у односу на време кретања пројектила.



Слика 4.3. Промена притиска барутних гасова у цеви и брзине пројектила митраљеза М84 у односу на пут пројектила у цеви

Притисак у цилиндру за позајмицу се, на основу литературе [3], рачуна по моделу Е. Л. Бравина:

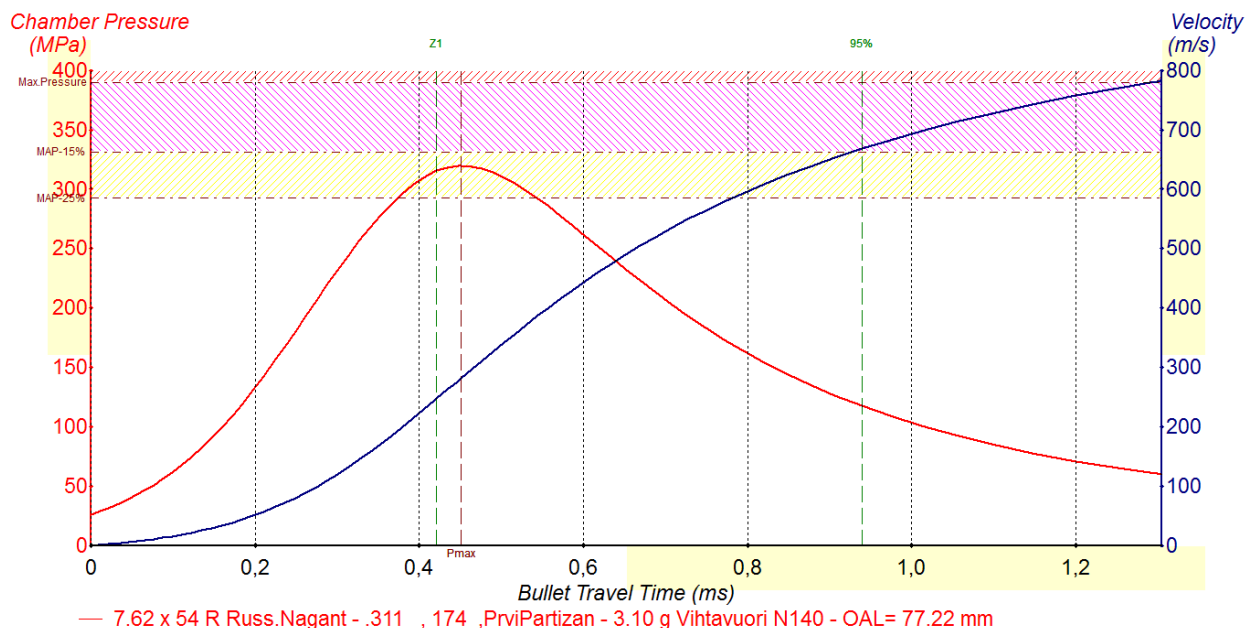
$$p_k = p_\phi \cdot e^{-\frac{t}{b}} \cdot (1 - e^{-\alpha \frac{t}{b}}) \quad (6)$$

где су

p_ϕ – притисак барутних гасова у каналу цеви испод отвора за одвођење барутних гасова у тренутку кад пројектил прође отвор,

t – време деловања гаса на клип у комори гасова,

α – коефицијент позајмице барутних гасова,
 b – однос јединичног импулса и притиска.



Слика 4.4. Промена притиска барутних гасова у цеви и брзине пројектила митраљеза М84 у односу на време кретања пројектила

Коефицијент коефицијент позајмице барутних гасова рачуна се као:

$$\alpha = n_1 \frac{S_\phi \cdot M_0}{S_k^2} \quad (7)$$

где су

n_1 – опитни коефицијент,

S_ϕ – површина отвора за позајмицу,

S_k – површина клипа коморе за позајмицу,

M_0 – почетна маса покретних радних делова.

Вредност опитног коефицијента n_1 је:

$$n_1 = 1$$

За пречник отвора за позајмицу $d_\phi = 3,5$ mm, површина овог отвора износи:

$$S_\phi = \frac{d_\phi^2 \pi}{4} \quad (8)$$

$$S_\phi = \frac{0,0035^2 \pi}{4}$$

$$S_\phi = 0,000009621 \text{ m}^2$$

За пречник клипа коморе за позајмицу $d_k = 14$ mm, његова површина је:

$$S_k = \frac{d_k^2 \pi}{4} \quad (9)$$

$$S_k = \frac{0,014^2 \pi}{4}$$

$$S_k = 0,000154 \text{ m}^2$$

Почетну масу покретних радних делова чине маса носача затварача са телом затварача и клипом:

$$M_0 = 1,01 \text{ kg}$$

Вредност коефицијента позајмице барутних гасова је:

$$\alpha = \frac{0,000009621 \cdot 1,01}{0,000154^2}$$

$$\alpha = 410,0679$$

Однос јединичног импулса и притиска се рачуна по следећој формули:

$$b = \frac{i_0}{p_\Phi} \quad (10)$$

$$i_0 = \frac{p_\Phi + p_u}{2} \cdot t_{ku} + \frac{p_u}{A} \quad (11)$$

где су

i_0 – јединични импулс у каналу цеви,

p_u – притисак барутних гасова у каналу цеви у тренутку када се пројектил налази на устима цеви,

t_{ku} – време када се пројектил налази на устима цеви мерено од тренутка када пројектил пређе место за позајмицу,

Коефицијент A дат је изразом:

$$A = 0,365 \frac{\beta^2}{\beta - 1} \frac{V_0}{L'} \quad (12)$$

где су

β – коефицијент деловања барутних гасова у периоду накнадног дејства,

V_0 – брзина пројектила на устима цеви,

L' – фиктивна дужина канала цеви.

Коефицијент β одређује се помоћу емпиријског обрасца:

$$\beta = \frac{v_g}{V_0} \quad (13)$$

где је v_g средња брзина истицања барутних гасова ($v_g = 1275 \frac{\text{m}}{\text{s}}$).

Вредности V_0 , t_{ku} , p_Φ и p_u се очитавају са дијаграма на сликама 4.3 и 4.4:

$$V_0 = 782,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t_{ku} = 0,0002578 \text{ s}$$

$$p_\Phi = 94000000 \text{ Pa}$$

$$p_u = 60200000 \text{ Pa}$$

Вредност коефицијента β износи:

$$\beta = \frac{1275}{782,6}$$

$$\beta = 1,6292$$

Ако је дужина цеви 603 mm, растојање од дна пројектила до уста цеви тј. фиктивна дужина цеви L' је:

$$L' = 557,287 \text{ mm}$$

Ова дужина се користи зато што је унутрашње балистички прорачун извршен тако да се пут пројектила мери од почетног положаја његовог дна.

Заменом добијених вредности у једначину (12) добија се:

$$A = 0,365 \frac{1,6292^2}{1,6292 - 0,5} \frac{782,6}{0,557287}$$

$$A = 1204,847 \frac{1}{s}$$

Када се очитане и прорачунате вредности замене у једначину (11), добија се:

$$i_0 = \frac{94000000 + 60200000}{2} \cdot 0,0002578 + \frac{94000000}{1204,847}$$

$$i_0 = 97894,58 \text{ Pa} \cdot s$$

Заменом у једначину (10):

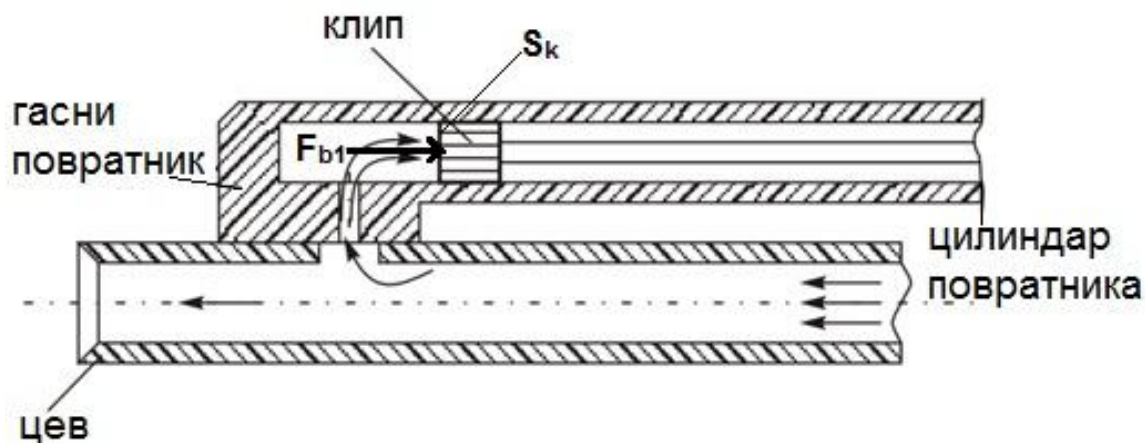
$$b = \frac{97894,58}{94000000}$$

$$b = 0,001041 \frac{1}{s}$$

Са израчунатим свим вредностима које фигуришу у једначини (6), може се одредити једначина промене притиска у цилиндру за позајмицу:

$$p_k = 94000000 \cdot e^{-\frac{t}{0,001041}} \cdot (1 - e^{-410,0679 \frac{t}{0,001041}})$$

Након што пројектил прође место за позајмицу, барутни гасови пролазе кроз отвор за позајмицу, пуне комору и делују на клип силом F_{b1} , слика 4.5.



Слика 4.5. Деловање силе притиска барутних гасова на клип у цилиндру

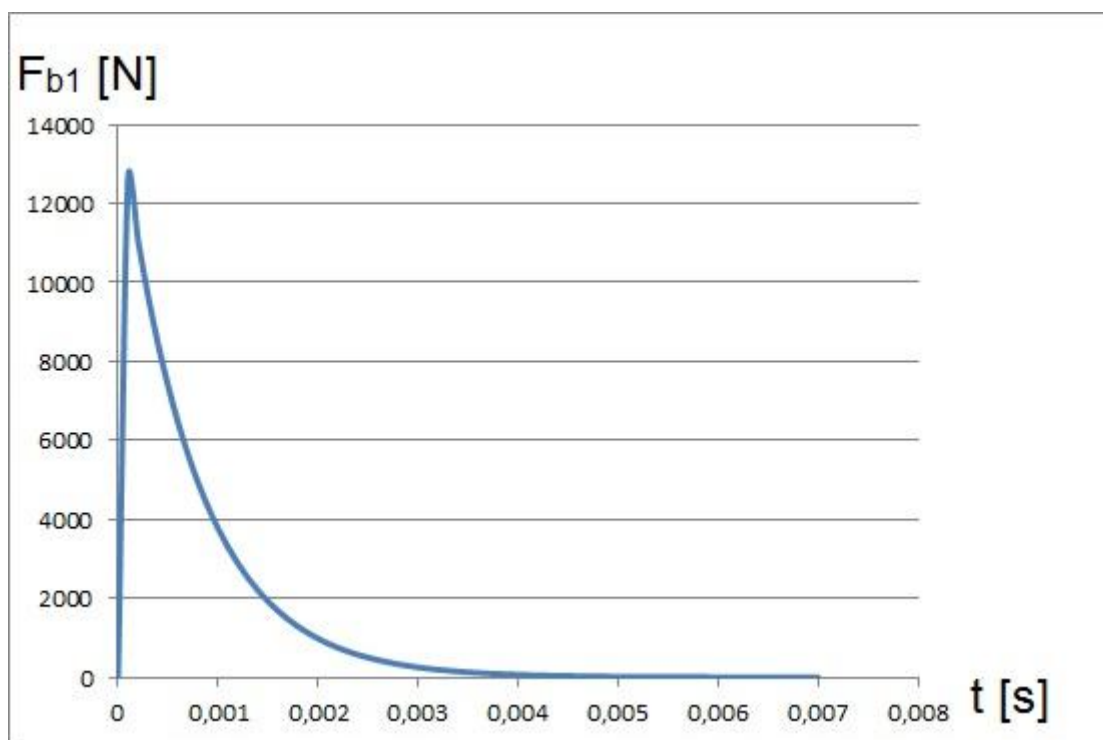
Множењем вредности притиска барутних гасова у цилиндру са активном површином клипа одређује се интензитет силе притиска барутних гасова која делује на клип у цилиндру:

$$F_{b1} = S_k \cdot p_k \quad (14)$$

$$F_{b1} = 0,000154 \cdot 94000000 \cdot e^{-\frac{t}{0,001041}} \cdot (1 - e^{-410,0679 \frac{t}{0,001041}})$$

$$F_{b1} = 14476 \cdot e^{-\frac{t}{0,001041}} \cdot (1 - e^{-410,0679 \frac{t}{0,001041}})$$

На основу претходне једначине добија се промена силе F_{b1} у току времена која је дата на слици 4.6.

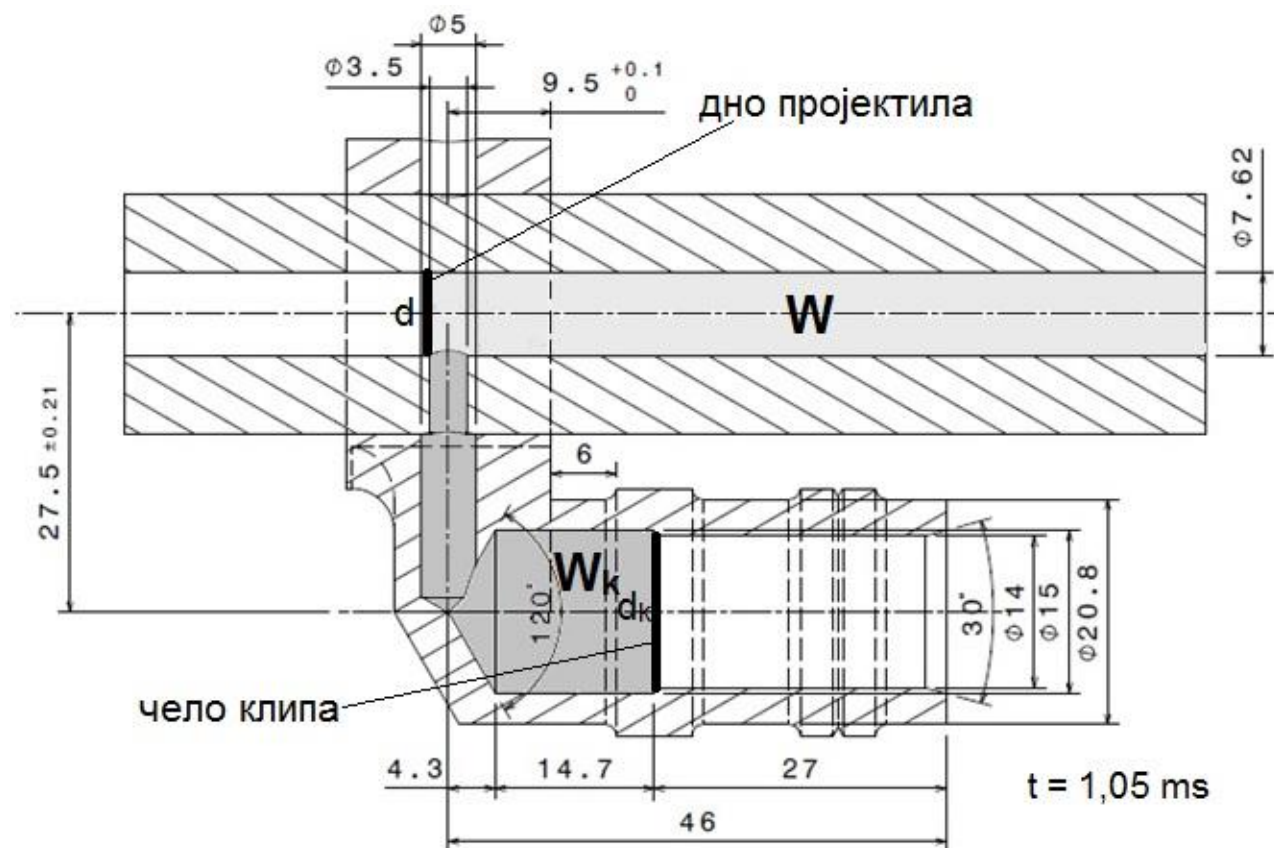


Слика 4.6. Промена силе притиска барутних гасова на чело клипа у цилиндру у току времена

Утицај силе барутних гасова на чело затварача након одбрављивања F_{b2} се не узима у обзир зато што је интензитет ове силе веома мали у односу на интензитет силе F_{b1} .

Пад ове силе објашњава се великим падом притиска у цеви након одбрављивања. Када владају високи притисци у цеви, затварач је забрављен и носач затварача се не креће. Док се пројектил креће дуж цеви запремина W са слике 4.7 се повећава и притисак пада. Кад пројектил дође до места за позајмицу долази до наглог пада притиска у цеви услед проширења запремине $W+W_k$. Запремина у цилиндру W_k се пуни барутним гасовима и носач затварача започиње своје кретање ка задњем положају. За време кретања носача затварача, запремина W се и даље повећава.

Одбрављивање затварача започиње на путу носача затварача од 9 mm а завршава се на путу од 19 mm. Тек тада се утицај силе барутних гасова на чело затварача и кретање носача затварача узима у обзир. Међутим, тада су притисци у цеви већ пали на безначајно мале вредности и из овог разлога се сила F_{b2} неће разматрати у даљем прорачуну.



Слика 4.7. Ширење запремине W

4.4. Сила повратне опруге

Ова сила делује на носач затварача тако што се супроставља његовом кретању уназад. Након његовог заустављања у задњем положају, опруга помоћу акумулиране енергије враћа носач затварача у предњи положај.

Основне геометријске величине и интензитети силе у карактеристичним тачкама дати су на слици 4.8.

$$L_0 = 450 \text{ mm}$$

$$L_1 = 280 \text{ mm}$$

$$L_2 = 136 \text{ mm}$$

$$L_3 = 120 \text{ mm}$$

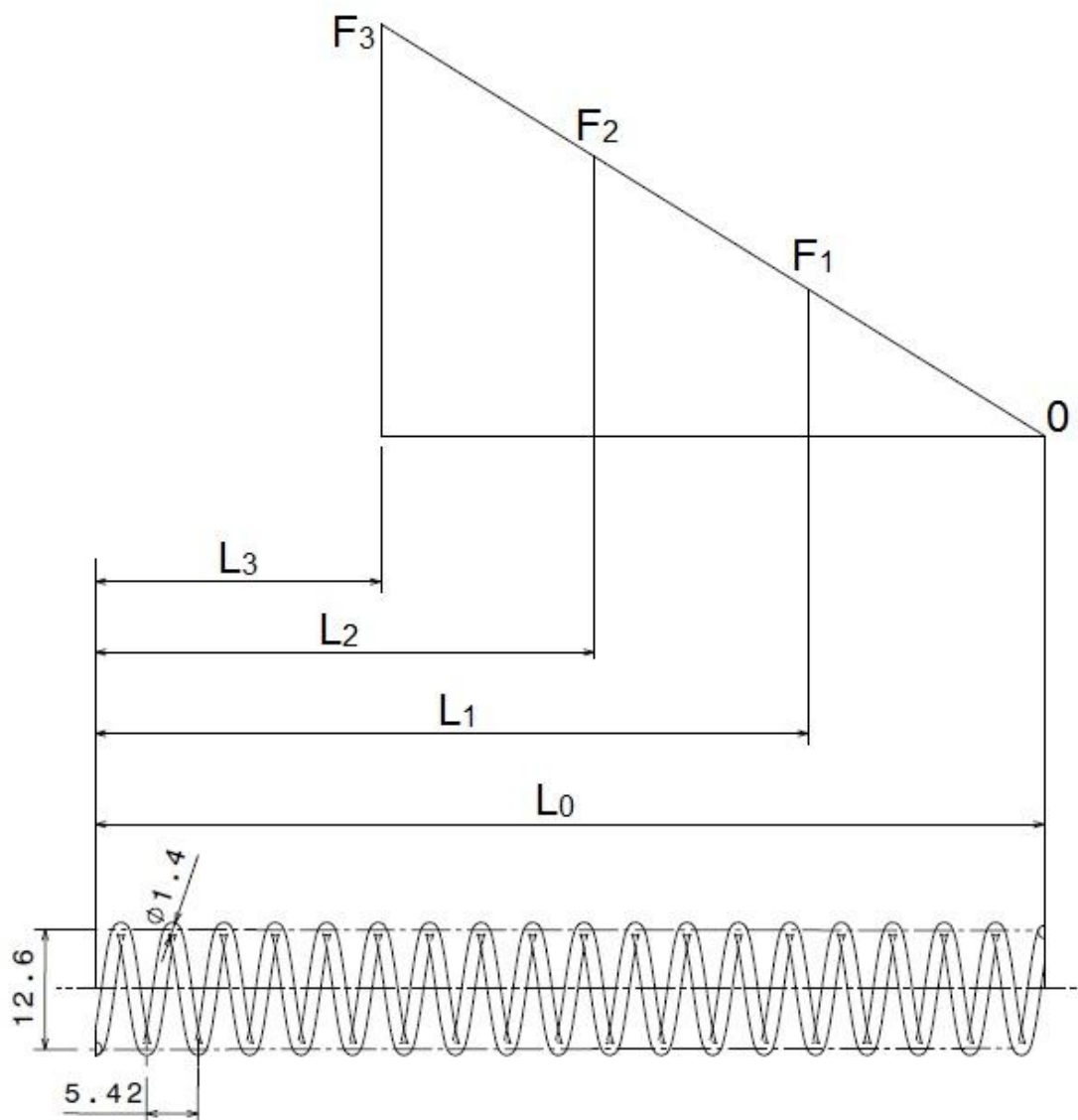
$$F_1 = F_0 = F_{min} = 49,2 \text{ N}$$

$$F_2 = 93,6 \div 124,3 \text{ N}$$

$$F_3 = F_{max} = 130 \text{ N}$$

Крутост опруге израчунава се на следећи начин:

$$c = \frac{F_{max} - F_0}{x_{max}} \quad (15)$$



Слика 4.8. Карактеристичне величине повратне опруге митраљеза М84: L_0 – слободна дужина опруге, L_1 – дужина опруге када делује преднапон F_1 , L_3 – дужина максимално сабијене опруге (када делује максимална сила F_3)

За пут носача затварача од $x = 136$ mm, крутост има вредност:

$$c = \frac{130 \text{ N} - 49,2 \text{ N}}{0,136 \text{ m}}$$

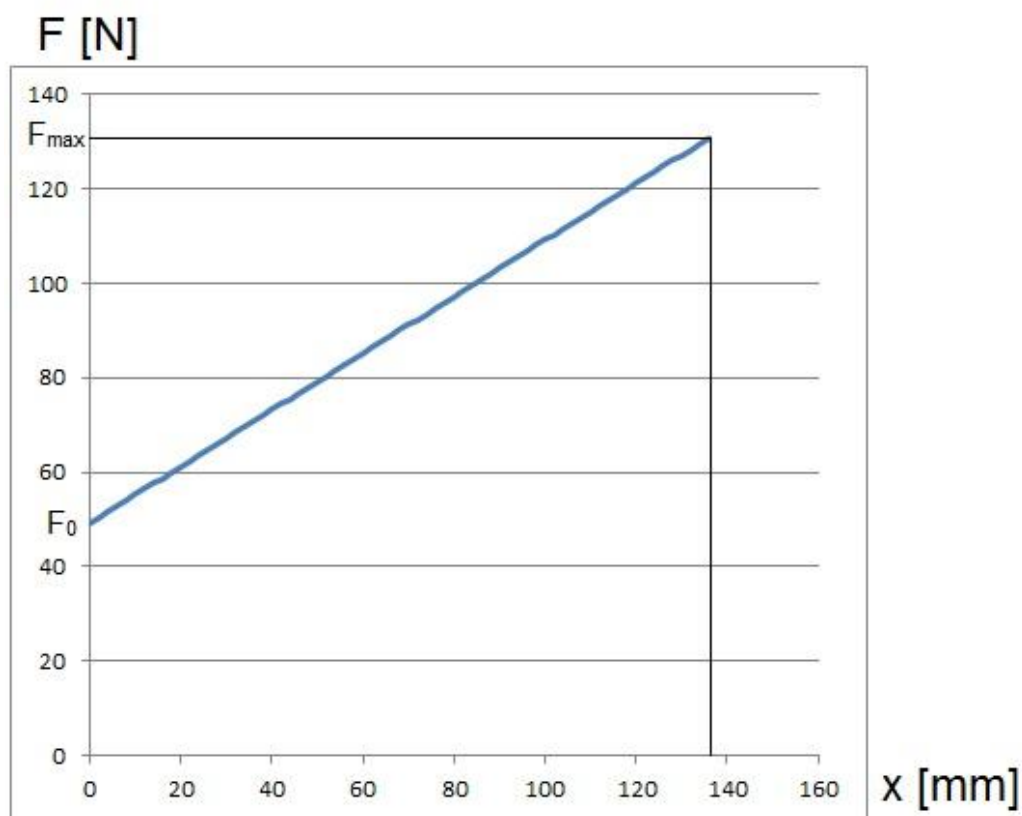
$$c = 594,12 \text{ N/m}$$

Једначина промене силе повратне опруге F у зависности од пута носача затварача x једнака:

$$F_{op} = F_0 + cx \quad (16)$$

$$F_{op} = 49,2 \text{ N} + 594,12 \text{ N/m} \cdot x$$

Промена силе повратне опруге затварача у функцији пређеног пута носача затварача дата је на слици 4.9.



Слика 4.9. Дијаграм промене силе $F_{op}(x) = F_0 + cx$

4.5. Сила извлачења метка из реденика

Вредност ове силе може се одредити експерименталним путем. На венац чауре метка 7,62x54R који се налази у реденику закачи се динамометар. Када започне извлачење метка из реденика, очита се вредност силе на мерном инструменту.

Мерење је извршено за више метака ради прецизнијег одређивања.

прво мерење: $F_{iz} = 50 \text{ N}$

друго мерење: $F_{iz} = 45 \text{ N}$

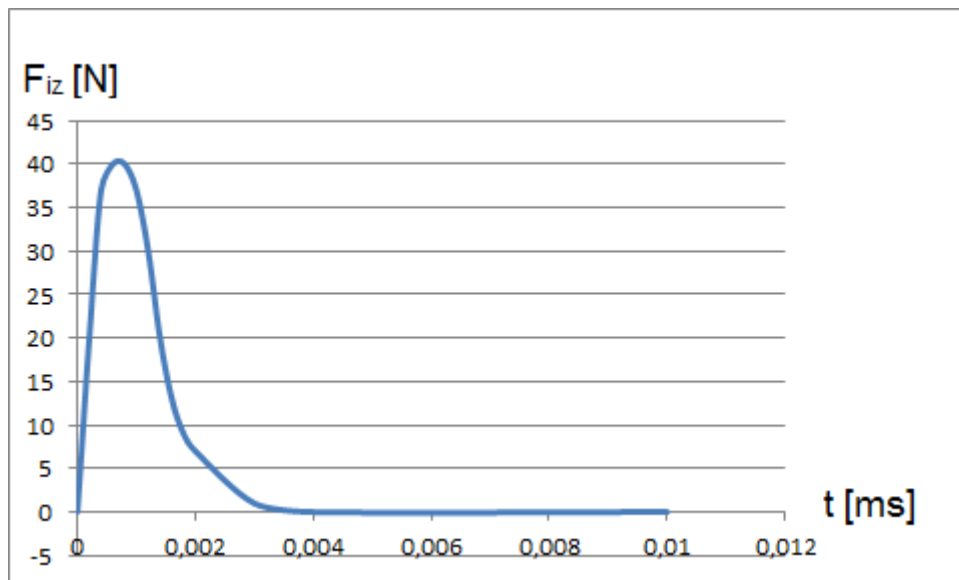
треће мерење: $F_{iz} = 30 \text{ N}$

четврто мерење: $F_{iz} = 45 \text{ N}$

Усваја се средња вредност силе извлачења метка из реденика:

$$F_{iz} = 40 \text{ N}$$

Ова сила делује у веома малом временском интервалу од тренутка покретања носача затварача ($\Delta t \approx 0$), слика 4.10, и зато нема великог утицаја на његово кретање.



Слика 4.10. Дејство силе извлачења метка из реденика

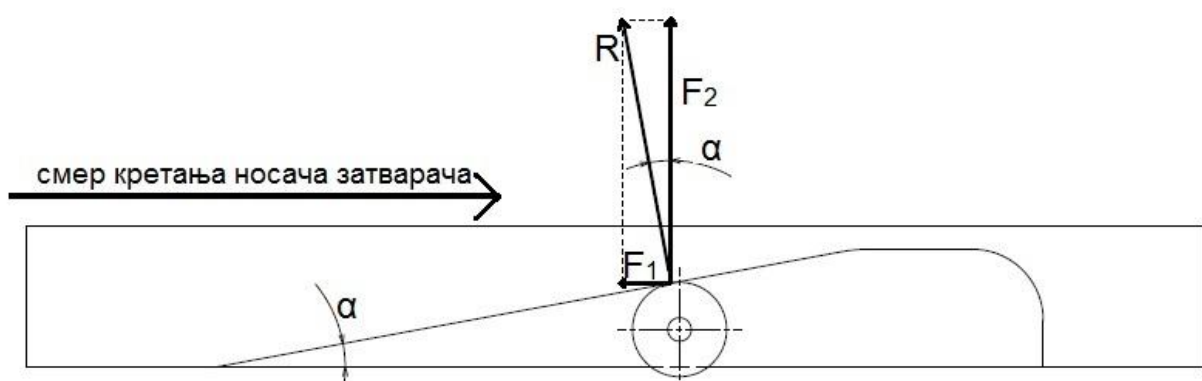
4.6. Аксијална компонента силе отпора кретању ваљчића доносача

Ова сила представља компоненту резултујуће силе R која делује са правцем нормалним на жљеб по којем се креће ваљчић доносача. Друга компонента силе R налази се у вертикалној равни нормалној у односу на осу цеви и означена је са F_2 . Она гради са силом R угао α , који представља угао жљеба на носачу затварача. Поменуте силе и угао α илустровани су на слици 4.11.

На основу слике 4.12, може се тригонометријским путем изразити аксијална компонента силе отпора кретању ваљчића доносача.

$$\frac{F_1}{F_2} = \operatorname{tg} \alpha \quad (17)$$

$$F_1 = F_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha$$



Слика 4.11. Сила отпора кретању ваљчића доносача

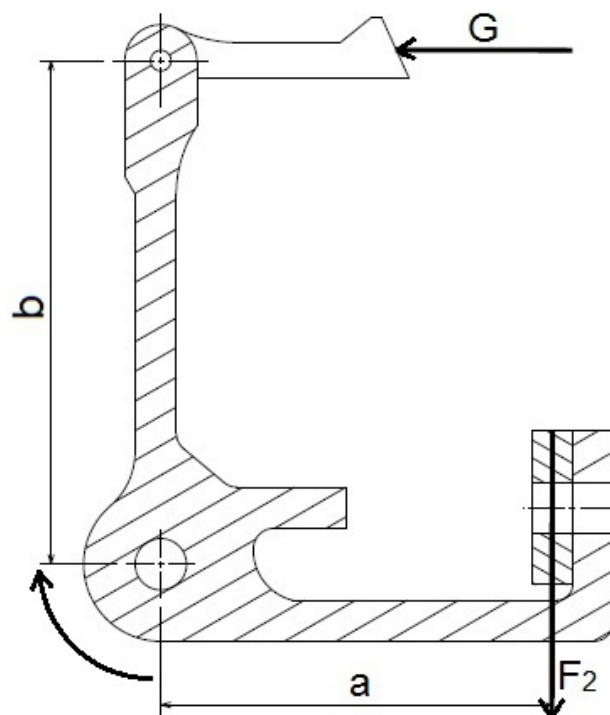
Сила F_2 се одређује изједначавањем момената силе тежине реденика са муницијом G и силе F_2 . На слици 4.12 су илустроване ове силе са њиховим крацима a и b . Они представљају нормална растојања сила F_2 и G од осе обртања доносача.

$$F_2 \cdot a = G \cdot b \quad (18)$$

$$F_2 = \frac{G \cdot b}{a}$$

Тежина реденика са муницијом израчунава се као

$$G = m_r \cdot g \quad (19)$$



Слика 4.12. Силе које делују на доносач при кретању ка задњем положају – попречни пресек

Како митраљез мора при раду да повуче напуњен реденик од 1,5 m, за масу реденика усваја се маса таквог реденика који стоји вертикално наниже, слика 4.13, лево.



Слика 4.13. Сила тежине реденика G и корак h

Ако је растојање између оса два суседна метка у реденику $h = 20,5 \text{ mm}$, приказано на слици 4.13, десно, можемо одредити број метака и чланака реденика:

$$n = 1,5 \text{ m} / 0,0205 \text{ m}$$

$$n = 73$$

За масу метка од $m_m = 25 \text{ g}$ и масу једног чланка реденика од $m_{cl} = 6,5 \text{ g}$, тежина реденика дужине $1,5 \text{ m}$ износи:

$$m_r = n \cdot (m_m + m_{cl}) \quad (20)$$

$$m_r = 73 \cdot (0,025 \text{ kg} + 0,0065 \text{ kg})$$

$$m_r = 2,2995 \text{ kg}$$

$$G = m_r \cdot g$$

$$G = 2,2995 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$G = 22,5581 \text{ N}$$

За крак силе F_2 од $a = 38 \text{ mm}$, и крак силе G од $b = 49 \text{ mm}$, може се одредити сила F_2 :

$$F_2 = \frac{G \cdot b}{a} \quad (21)$$

$$F_2 = \frac{22,5581 \text{ N} \cdot 0,049 \text{ m}}{0,038 \text{ m}}$$

$$F_2 = 29,088 \text{ N}$$

Коначно, аксијална компонента силе отпора кретању ваљчића доносача, за угао $\alpha = 7,712^\circ$ износи:

$$F_1 = F_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (22)$$

$$F_1 = 29,088 \text{ N} \cdot \operatorname{tg} 7,712^\circ$$

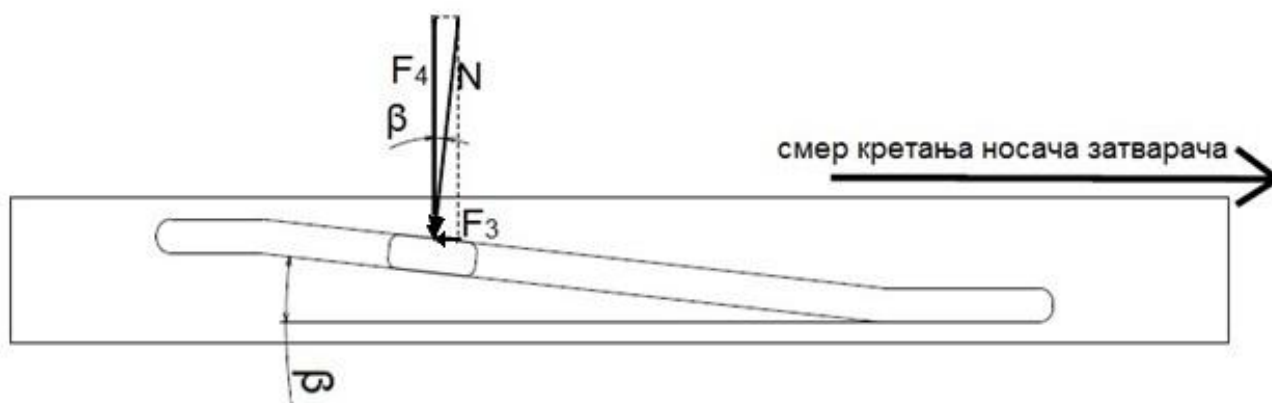
$$F_1 = 3,939 \text{ N}$$

4.7. Аксијална компонента силе отпора кретању препуста на полузи доносача

Аналогно прорачуну аксијалне компоненте силе отпора кретању ваљчића доносача, ова сила рачуна се тригонометријским путем помоћу вертикалне компоненте резултујуће силе отпора кретању испуста на полузи доносача N . Ова вертикална компонента F_4 заклапа са резултантом N угао β који износи $6,12^\circ$. Поменуте силе и угао β илустровани су на слици 4.14.

$$\frac{F_3}{F_4} = \operatorname{tg} \beta \quad (23)$$

$$F_3 = F_4 \cdot \operatorname{tg} \beta$$



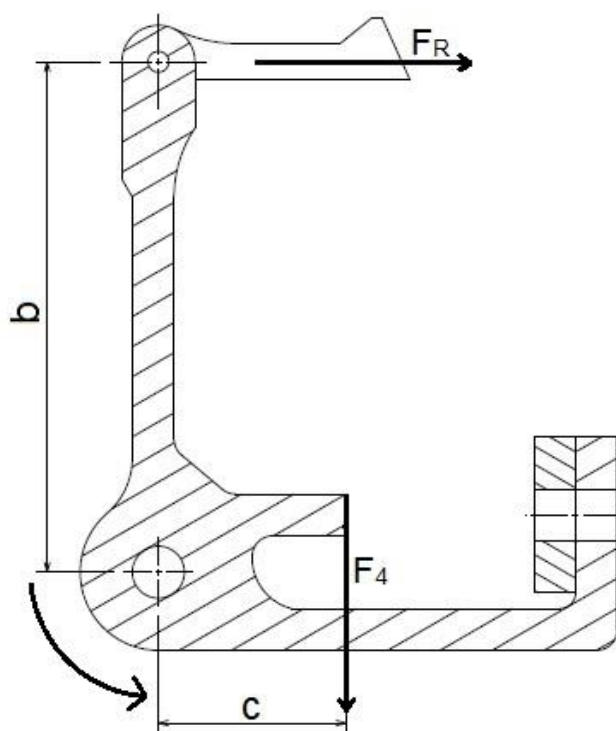
Слика 4.14. Сила отпора кретању испуста на полузи доносача

Према слици 4.15 сила F_4 добија се изједначавањем момената ове силе и силе прескакања доносача преко чланка F_R :

$$F_4 \cdot c = F_R \cdot b \quad (24)$$

$$F_4 = \frac{F_R \cdot b}{c}$$

$$F_3 = \frac{F_R \cdot b}{c} \cdot \operatorname{tg} \beta$$



Слика 4.15. Силе које делују на доносач при кретању ка предњем положају – попречни пресек

Прст за утврђивање у поклопцу сандука задржава реденик тј. не дозвољава му враћање. Доносач се враћа удесно захватајући нови чланак реденика са новим метком. Пошто је интензитет силе прескакања доносача преко чланка F_R веома мали, дејство аксијалне компоненте силе отпора кретању испуста на полузи доносача се може занемарити при прорачуну.

4.8. Одређивање коефицијента судара (реституције)

У реалним условима, када затварач дође у свој задњи положај, долази до удара затварача у одбојник од текстолита, представљен на слици 4.16. То значи да повратна опруга затварача не успева да заустави затварач на путу од 136 mm и да брзина V_1 у тој тачки није једнака нули. Затварач се одбија брзином V_2 која је мања од брзине V_1 због губитака кинетичке енергије услед удара.



Слика 4.16. Повратна опруга затварача са одбојником од текстолита

Да би одредили брзину V_2 потребно је познавати величину коефицијента судара k :

$$k = - \frac{V_{2n} - V_{1n}}{v_{2n} - v_{1n}} \quad (25)$$

где су

V_{1n} – брзина затварача након судара,

V_{2n} – брзина хексолита након судара,

v_{1n} – брзина затварача пре судара,

v_{2n} – брзина хексолита пре судара,

$$V_{1n} = V_2$$

$$v_{1n} = V_1$$

V_1 – брзина затварача у првој фази кретања,

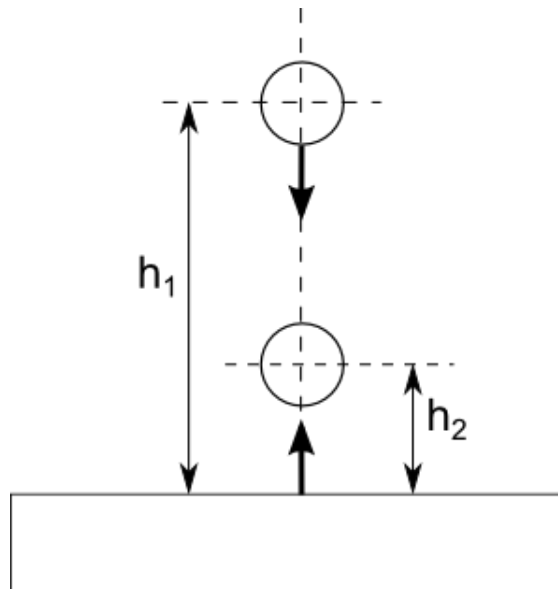
V_2 – брзина затварача у другој фази кретања.

Брзине V_{2n} и v_{2n} су једнаке нули јер је реч о удару тј, текстолит се не креће. Сада се брзина V_2 може изразити као:

$$k = - \frac{-V_2}{-V_1} \quad (26)$$
$$V_2 = -k \cdot V_1$$

Предзнак минус у изразу (22) стоји зато што се затварач одбија од текстолита брзином која има исти правац али супротан смер од брзине затварача пре судара.

Коефицијент судара може се врло једноставно одредити експерименталном методом. Челична куглица која је малог пречника тј. представља материјалну тачку, пушта се да слободно пада (деловањем само силе земљине теже g) са претходно познате висине $h_1 = 1$ m. Након удара у плочу од текстолита она се одбија и достиже висину h_2 , према слици 4.17.



Слика 4.17. Одбијање челичне куглице од текстолита

Постављањем вертикалне скале чија је дужина једног подеока 1 см, приказане на слици 4.18, мери се ово растојање и израчунава се коефицијент судара помоћу следеће једначине [7]:

$$k = \frac{V_2}{V_1}$$

$$k = \frac{\sqrt{2gh_2}}{\sqrt{2gh_1}}$$

$$k = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}} \quad (27)$$



Слика 4.18. Скала за мерење висине одскока, челична куглица и плоча од текстолита

Мерење се врши помоћу камере и на основу снимка се читава висина h_2 на скали, слика 4,19:

$$h_2 = 12,5 \text{ cm}$$



Слика 4.19. Одређивање висине одскока челичне куглице

Након извршеног мерења, може се одредити коефицијент судара:

$$k = \frac{\overline{h_2}}{\overline{h_1}}$$

$$k = \frac{12,5}{100}$$

$$k = 0,3536$$

4.9. Моменти обртања и конструкциони параметри склопа доносача

Током транслаторног кретања затварача, доносач има ротационо кретање тј. угаону брзину ω . Да би се описало ово кретање, потребно је познавати интензитет силе затварача F_z , представљеној на слици 4.20, који се добија решавањем диференцијалних једначина за транслацију затварача.

$$F_z = m_z \cdot x \quad (28)$$

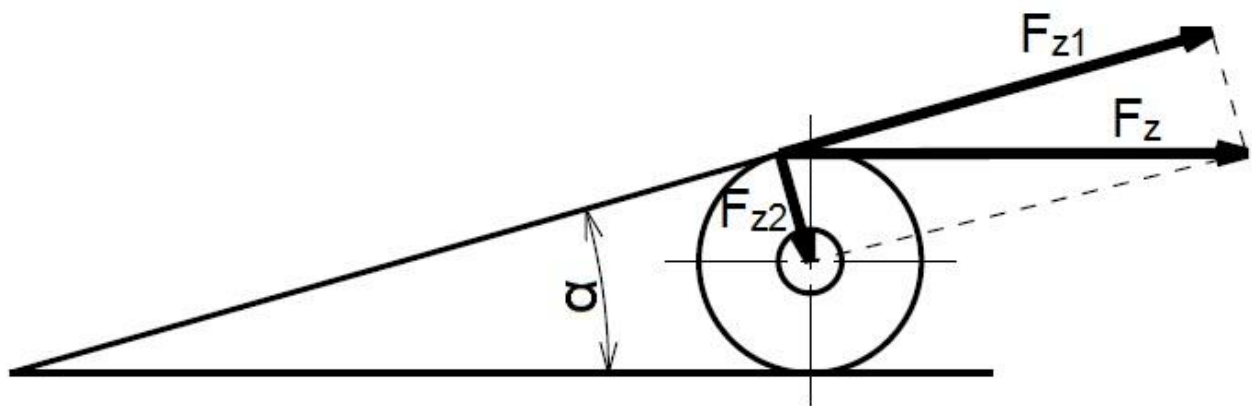
где су

m_z – маса затварача

x – убрзање затварача

Ротацију доносача изазива компонента ове силе F_{z2} , која се израчунава тригонометријском путем за познати угао α :

$$F_{z2} = F_z \cdot \sin \alpha \quad (29)$$



Слика 4.20. Дејство силе затварача

Сила F_{z2} прави момент око тачке О, и заокреће доносач за угао Θ , слика 4.21 (десно):

$$\begin{aligned} M_{d1} &= F_{z2} \cdot a \\ M_{d1} &= F_z \sin \alpha \cdot a \\ M_{d1} &= F_z \sin 7,712^\circ \cdot 0,038 \\ \mathbf{M_{d1} = 0,0051 \text{ m} \cdot F_z} \end{aligned} \quad (30)$$

где је

a – крак силе F_{z2} у односу на тачку О у првој фази.

Ова једначина важи за ротацију доносача у првој фази. За другу фазу, аналогно претходној једначини, важи:

$$\begin{aligned} M_{d2} &= F_z \sin \beta \cdot c \\ M_{d2} &= F_z \sin 6,12^\circ \cdot 0,018 \\ \mathbf{M_{d2} = 0,00192 \text{ m} \cdot F_z} \end{aligned} \quad (31)$$

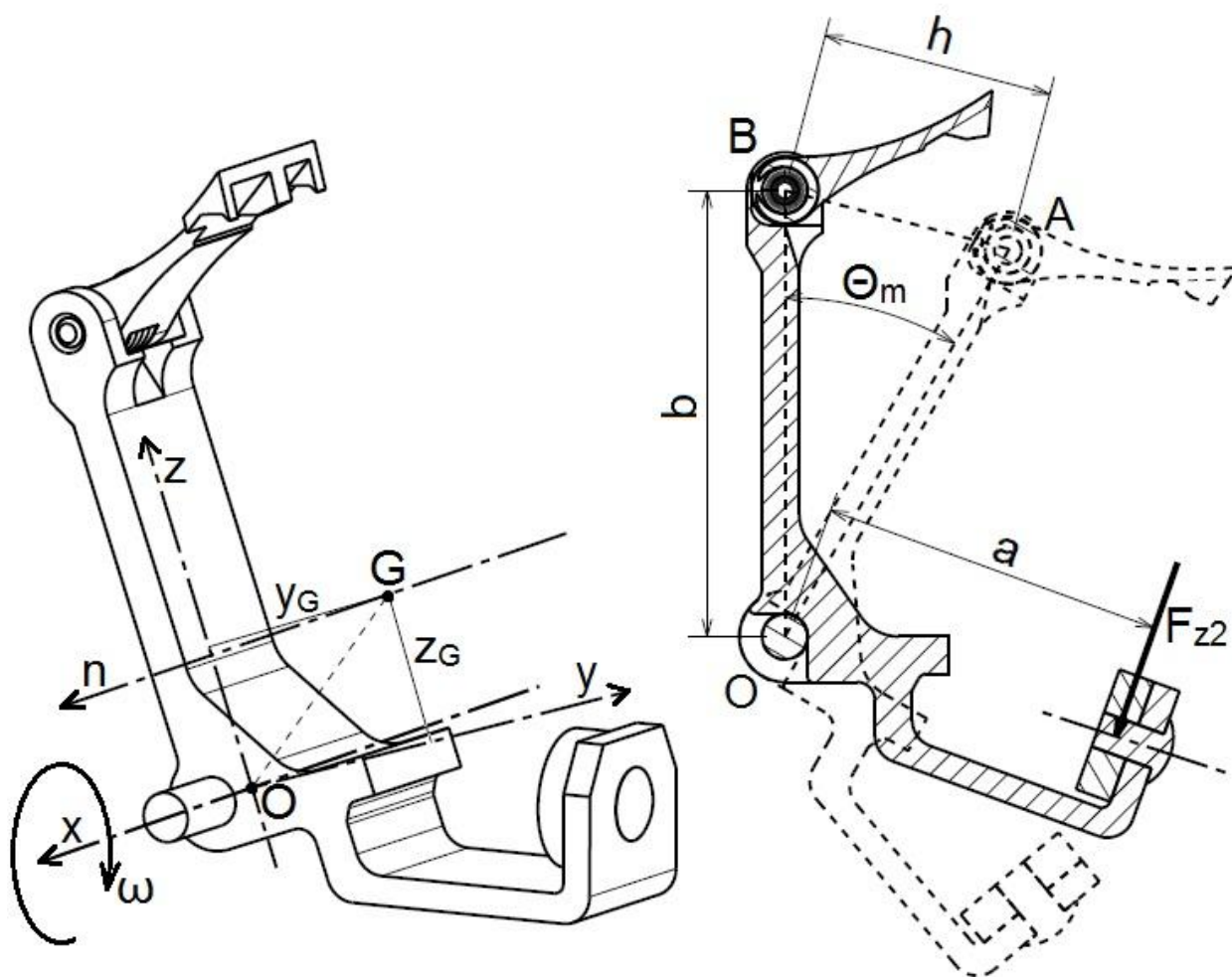
где је

b – крак силе F_{z2} у односу на тачку О у другој фази.

Да би решили диференцијалну једначину за ротацију доносача, потребно је познавати максимални угао заокретања доносача Θ_m , који представља крајњи услов за прву фазу кретања и почетни услов за другу фазу. Ако су позната дужина b и растојање од оса два суседна метка у реденику h , угао Θ_m се може изразити као:

$$\begin{aligned} \sin \frac{\Theta_m}{2} &= \frac{h}{2b} \\ \Theta_m &= \arcsin \frac{h}{2b} \\ \Theta_m &= \arcsin \frac{0,0205}{2 \cdot 0,049} \\ \mathbf{\Theta_m = 12,075^\circ} \end{aligned} \quad (32)$$

У изразу (28) дужина h представља основицу а дужина b кракове једнакокраког троугла ΔOAB , где је Θ_m угао између кракова, слика 4.21 (десно).



Слика 4.21. Положај осе ротације и положај центра масе (лево); Деловање силе F_{z2} и потребне геометријске величине доносача (десно)

За решавање диференцијалне једначине ротације доносача потребно је такође познавати масу склопа доносача и момент инерције за осу око које се окреће. Ови подаци добијени су на основу CAD модела у програмском пакету CATIA V5R20, представљеног на слици 4.22.

Ако се усвоји да су сви делови склопа доносача направљени од исте врсте челика, густине $\rho = 7860 \text{ kg/m}^3$, величине добијене на основу овог модела су: маса склопа доносача

$$m_d = 0,091 \text{ kg,}$$

положај центра масе (тачка G на слици 4.21), у односу на тачку O

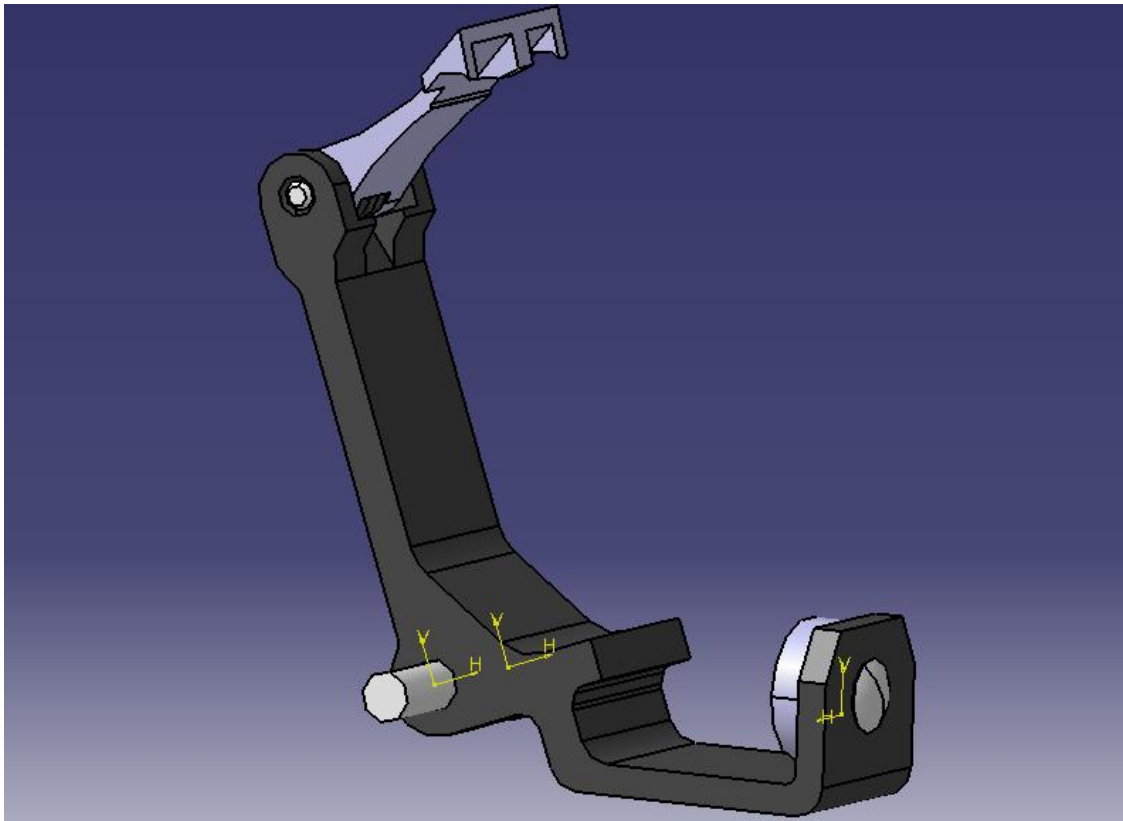
$$x_G = 0 \text{ mm,}$$

$$y_G = 10,358 \text{ mm,}$$

$$z_G = 9,775 \text{ mm,}$$

момент инерције за осу n која пролази кроз центар масе G

$$J_n = 6,525 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$



Слика 4.22. 3D модел склопа доносача у програмском пакету CATIA V5R20

У диференцијалним једначинама фигурише момент инерције за осу ротације x , и зато га је потребно прерачунати на основу момента инерције за осу n . Користи се Штајнерова (Хајгенсова) теорема, на основу литературе [7]:

$$J_x = J_n + m_d (y_G^2 + z_G^2) \quad (33)$$

$$J_x = 0,00006525 + 0,091 \cdot (0,010358^2 + 0,009775^2)$$

$$\mathbf{J_x = 8,37083 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2}$$

5. ДИФЕРЕНЦИЈАЛНЕ ЈЕДНАЧИНЕ КРЕТАЊА

У процесу храњења митраљеза М84 заступљене су две врсте кретања – транслација носача затварача и ротација доносача. Њихово кретање подељено је у две фазе тако да је потребно поставити четири диференцијалне једначине како би се потпуно описало њихово кретање: две једначине за транслацију носача затварача и две једначине за ротацију доносача.

5.1 Постављање диференцијалних једначина

а) Прва фаза

Транслација носача затварача:

$$\begin{aligned} F_{b1} - F_z^i - F_{op}^i - F_1 - F_{op} - F_{iz} &= 0 \\ F_{b1}(t) - 1,01 \text{ kg} \cdot x - 0,0115 \text{ kg} \cdot x - 3,939 \text{ N} - (49,2 \text{ N} + 594,12 \text{ N/m} \cdot x) - F_{iz}(t) &= 0 \\ \mathbf{F_{b1}(t) - 1,0215 \text{ kg} \cdot x - 53,139 \text{ N} - 594,12 \text{ N/m} \cdot x - F_{iz}(t) = 0} \end{aligned} \quad (34)$$

Ротација доносача:

$$M_{d1} - J_x \cdot \theta - G \cdot b = 0 \quad (35)$$

где су

θ – угаоно убрзање доносача,

G – сила тежине реденика,

b – крак силе тежине реденика у односу на осу ротације доносача.

$$0,0051 \text{ m} \cdot F_z - 0,0000837083 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \theta - 22,5581 \text{ N} \cdot 0,049 \text{ m} = 0$$

Сила F_z се добија решавањем диференцијалне једначине за транслацију носача затварача:

$$\begin{aligned} F_z &= 1,0215 \text{ kg} \cdot x \\ 0,0051 \text{ m} \cdot 1,0215 \text{ kg} \cdot x - 0,0000837083 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \theta - 22,5581 \text{ N} \cdot 0,049 \text{ m} &= 0 \\ \mathbf{0,00520965 \text{ m} \cdot \text{kg} \cdot x - 0,0000837083 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \theta - 1,1053469 \text{ N} \cdot \text{m} = 0} \end{aligned}$$

Почетни услови:

$$\begin{aligned} x &= x_0 = 0 \text{ m} \\ V &= V_0 = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ \Theta &= \Theta_0 = 0^\circ \\ \omega &= \omega_0 = 0 \text{ s}^{-1} \end{aligned}$$

Крајњи услови:

$$\begin{aligned} x &= x_1 = 0,136 \text{ m} \\ V &= V_1 \\ \Theta &= \Theta_m = 12,075^\circ \\ \omega &= \omega_1 \end{aligned}$$

б) Друга фаза

Транслација носача затварача:

$$F_{op} - F_z^i - F_{op}^i - F_3 = 0 \quad (36)$$

Дејство силе F_3 се занемарује.

$$49,2 \text{ N} + 594,12 \text{ N/m} \cdot x - 1,01 \text{ kg} \cdot x - 0,0115 \text{ kg} = 0$$

$$49,2 \text{ N} + 594,12 \text{ N/m} \cdot x - 1,0215 \text{ kg} \cdot x = 0$$

Ротација доносача:

$$M_{d2} - J_x \cdot \theta = 0 \quad (37)$$

Дејство момента који прави сила тежине реденика не постоји зато што у овој фази доносач прескаче преко старог чланка реденика и захвата нови.

$$0,00192 \text{ m} \cdot F_z - 0,0000837083 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \theta = 0$$

$$0,00192 \text{ m} \cdot 1,0215 \text{ kg} \cdot x - 0,0000837083 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \theta = 0$$

$$0,00196128 \text{ m} \cdot \text{kg} \cdot x - 0,0000837083 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \theta = 0$$

Почетни услови:

$$x = x_1 = 0,136 \text{ m}$$

Почетна брзина за другу фазу добија се множењем коефицијента судара (реституције) за челик-текстолит и брзине носача затварача на крају прве фазе V_1 :

$$V_2 = k \cdot V_1$$

$$V_2 = 0,3536 \cdot V_1$$

$$\Theta = \Theta_m = 12,075^\circ$$

$$\omega = \omega_1$$

Крајњи услови:

$$x = x_k = 0 \text{ m}$$

$$V = V_k = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

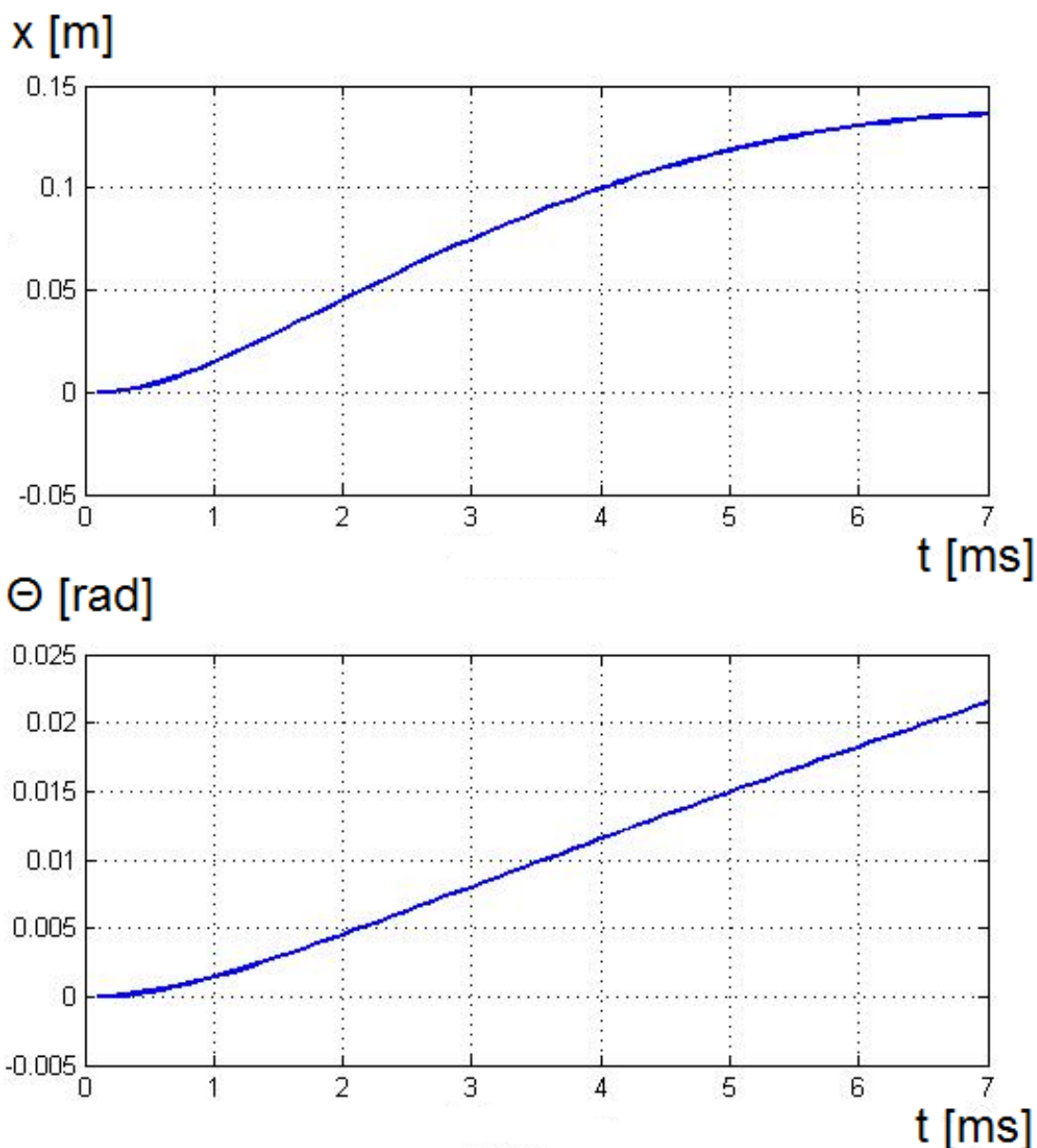
$$\Theta = \Theta_k = 0^\circ$$

$$\omega = \omega_k = 0 \text{ s}^{-1}$$

5.2 Решавање диференцијалних једначина

За решавање једначина (34), (35), (36) и (37) користи се програм MATLAB, прилог 2. Као излазни податак из програма добија се промена пута носача затварача, брзине носача затварача, угла заокретања доносача и угаона брзина доносача у функцији времена.

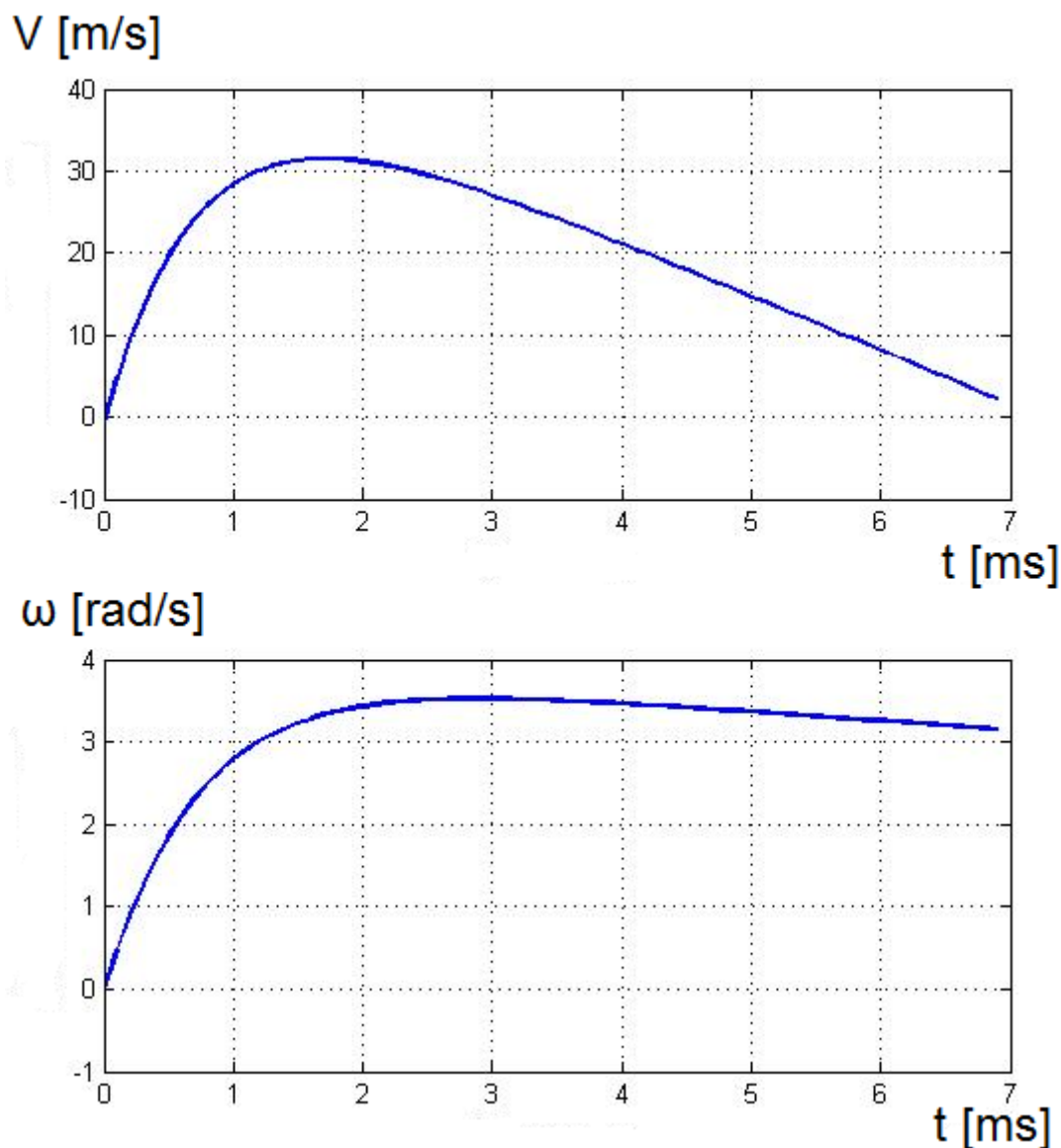
Добијена решења за прву фазу кретања представљена су графички на сликама 5.1 и 5.2.



Слика 5.1. Промена пута носача затварача и угла заокретања доносача у функцији времена у првој фази кретања

На основу дијаграма на сликама 5.1 и 5.2 може се рећи да се носач затварача у почетном периоду кретања (до $t = 1$ ms) врло мало помера зато што је потребно одређено време да сила притиска барутних гасова која делује на клип у цилиндру убрза затварач. Он се убрзава до тренутка $t = 1,75$ ms када се постиже његова максимална брзина $V = 31,5$ m/s. Након тога, услед повећања силе повратне опруге затварача због повећања пута носача затварача x брзина опада тј. убрзање је негативно и затварач се скоро зауставља на путу од 136 mm.

Аналогно путу носача затварача, и промена угла заокретања у почетном периоду је мала. Након $t = 1$ ms његова промена је готово линеарна у односу на време t зато што је угао жљеба на носачу затварача по којем се креће ваљчић на полузи доносача константан ($\alpha = \text{const.}$). Што се тиче угаоне брзине доносача, она нагло расте до тренутка $t = 2,5$ ms кад се постиже њена максимална вредност $\omega = 3,5$ rad/s и после тога она има благи пад до краја ротације ($\Theta = 0,022$ rad).

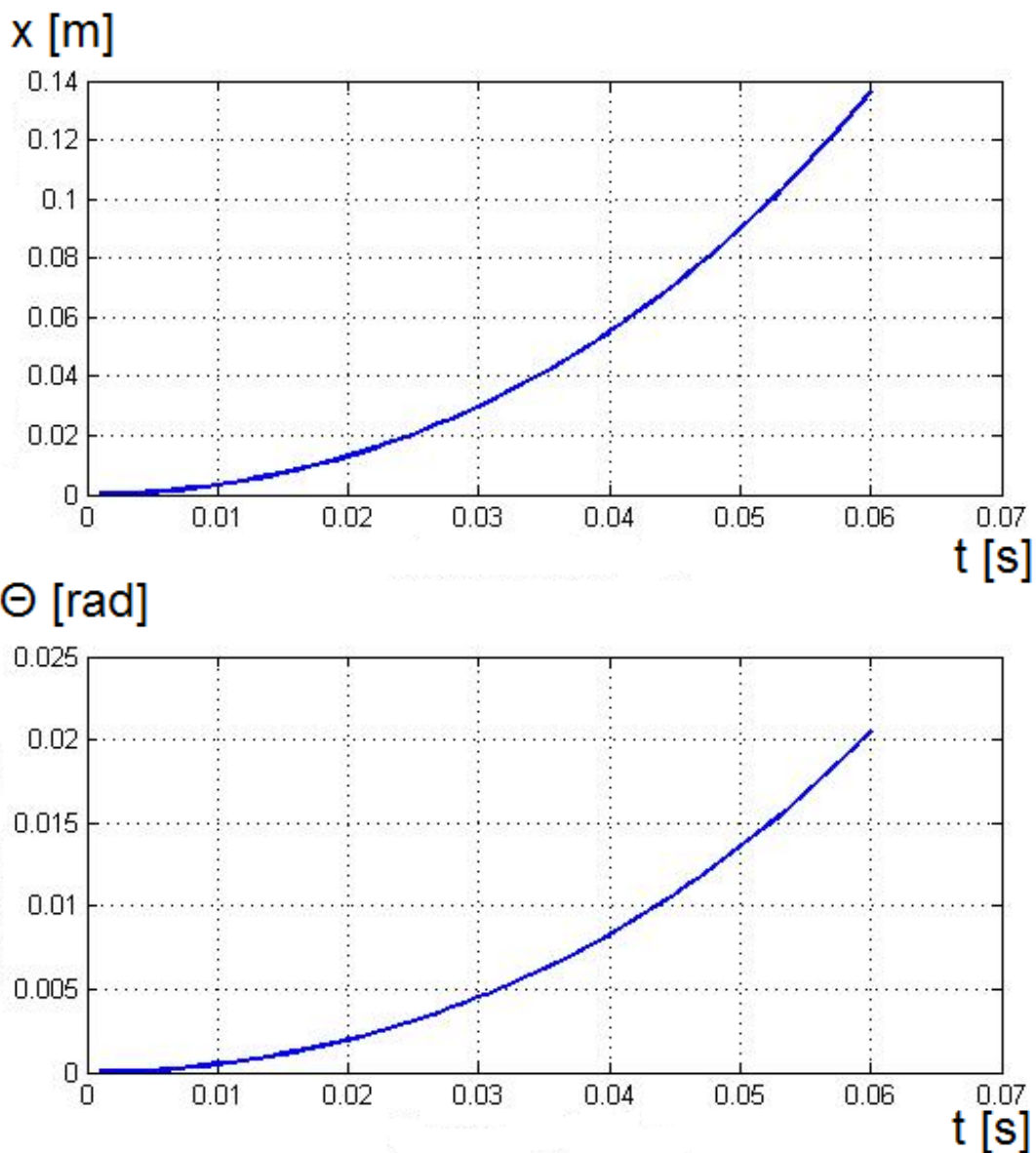


Слика 5.2. Промена брзине носача затварача и угаоне брзине доносача у функцији времена у првој фази кретања

Добијена решења за другу фазу кретања представљена су графички на сликама 5.3 и 5.4.

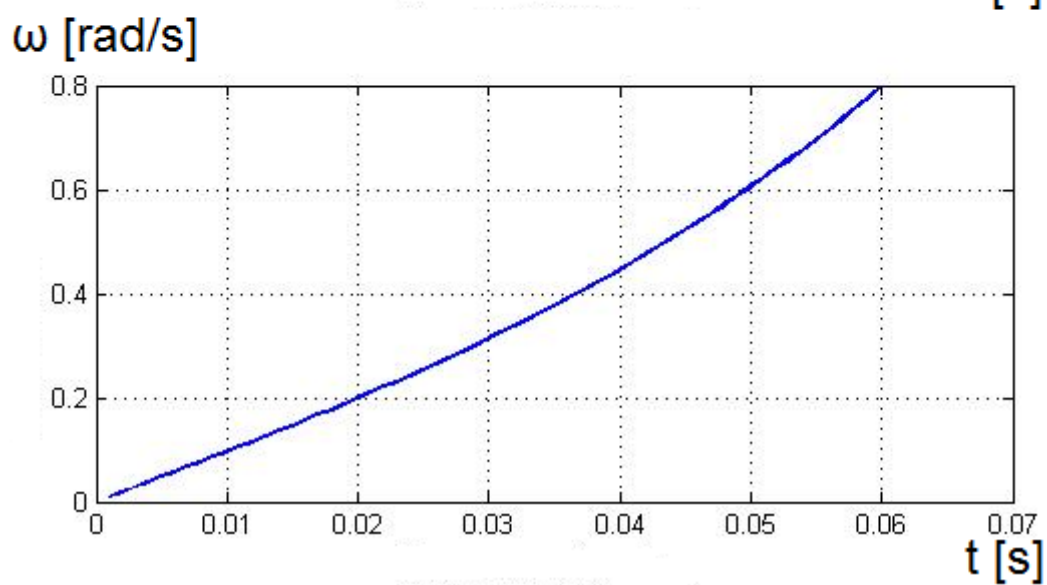
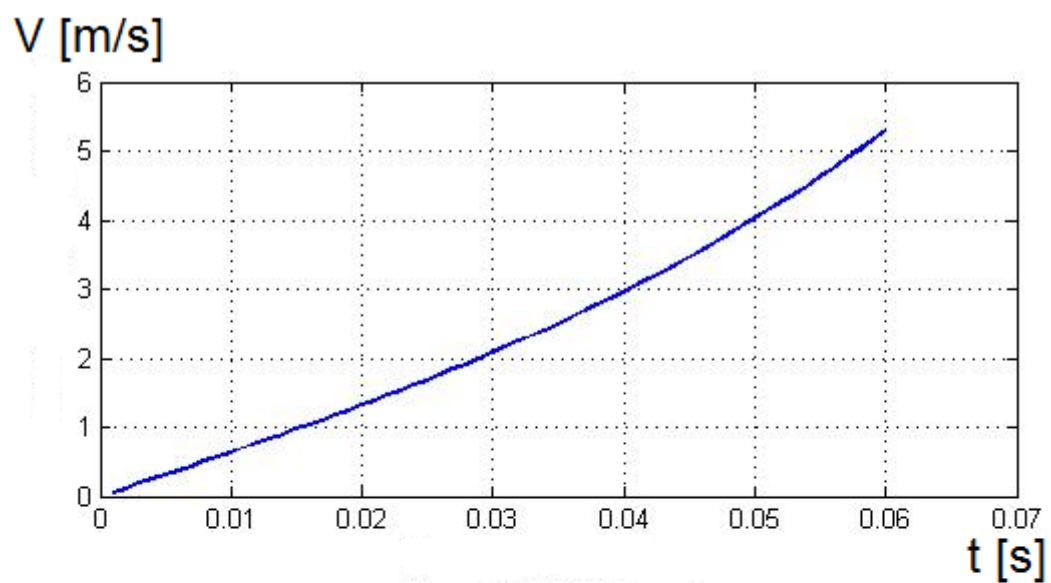
Функције промене пута носача затварача као и угла заокретања доносача у току времена представљају експоненцијалне криве, што се може видети на слици 5.3. Криве имају овакав облик зато што у повратном ходу затварача не постоји сила барутних гасова већ је главна покретачка сила акумулирана сила повратне опруге затварача.

Из истог разлога, максимална брзина носача затварача и угаона брзина доносача су знатно мање него у првој фази кретања. Њихова промена је приближно линеарна. Максимална брзина носача затварача постиже се у тренутку када он дође у свој предњи положај ($t = 6$ ms) и износи $V = 5,3$ m/s. У истом временском тренутку постиже се и максимална угаона брзина доносача која износи $\omega = 0,8$ rad/s.



Слика 5.3. Промена пута носача затварача и угла заокретања доносача у функцији времена у другој фази кретања

Као што се може приметити на слици 5.4, Почетна брзина носача затварача у другој фази није једнака нули али је врло блиска нули из разлога што је његова брзина на крају прве фазе мала. Када се помножи са коефицијентом судара (реституције), добија се врло мала вредност. Може се рећи да се у овом случају коефицијент судара могао занемарити зато што нема великог утицаја на брзине носача затварача. Међутим, у реалним условима, различита муниција, чак и из исте серије, има барутна пуњења која нису у потпуности иста, па самим тим интензитет главне покретачке силе (барутних гасова) ће варирати у зависности од пуњења. За поједина пуњења, затварач ће се скоро зауставити (брзина на крају прве фазе приближно једнака нули), као што је добијено прорачуном, док ће за неке случајеве имати брзине различите од нуле и тада ће коефицијент судара имати велику важност.



Слика 5.4. Промена брзине носача затварача и угаоне брзине доносача у функцији времена у другој фази кретања

ЗАКЉУЧАК

У раду је извршена кинематска анализа механизма за храњење митраљеза 7.62 mm M84. Све силе које сам сматрао релевантним су уврштене у прорачун. На основу четири диференцијалне једначине које описују кретање делова митраљеза у две фазе добијена је промена пута носача затварача, брзине носача затварача, угла заокретања доносача и угаона брзина доносача у функцији времена.

Ако се добијене вредности упореде са реалним, виде се одређена одступања. Пре свега, брзина носача затварача добијена прорачуном је већа од његове брзине у реалним условима. Самим тим, укупно време трајања једног циклуса је мање од реалног. Међутим, карактер промене ових величина, тј облик крива које их описују је близак реалним. Мислим да би се укључивањем сила које су занемарене, пре свега силе трења између покретних делова митраљеза, силе трења између чауре и лежишта метка силе извлачења и избацивања чауре, добиле мање брзине носача затварача зато што се оне супростављају његовом кретању.

Други начин смањивања брзина носача затварача је варирање опитног коефицијента који фигурише у једначини Е. Л. Бравина за израчунавање притиска у комори повратника. За вредност коефицијента $n_1 = 1$ добија се сила притиска барутних гасова која делује на клип у цилиндру чија се максимална вредност постиже врло брзо (десети део милисекунде). Интензитет ове силе има изузетно велику вредност и након постизања максимума пада по експоненцијалном закону. Приметио сам да за вредност коефицијента $n_1 = 0,01$, максимална вредност силе притиска баритних гасова која делује на клип у цилиндру је дупло мања и постиже се знатно касније (пола милисекунде).

Дакле, ако се уведу силе које успоравају и заустављају носач затварача и смањи вредност опитног коефицијента n_1 , добиле би се вредности брзине и времена блиске реалним.

Литература

- [1] Миломир Исаиловић: Митраљеви на борбеним возилима – лекција
- [2] Правило – Пушкомитраљез 7,62 mm M84
- [3] Маринко Петровић: Механика аутоматског оружја, Београд, 2007. године
- [4] Живојин Цера: Пројектни задатак, Војнотехничка академија КоВ ЈНА
- [5] Ф. К. Бабак: Пулеметы, Санкт-Петербург, 2005. године
- [6] Зоран Ристић: Конструкција аутоматског наоружања, скрипта Бг. – Кг. 2014. године
- [7] Гордана Богдановић: Механика 2 и 3, скрипта Кг. 2012. године

Прилози

Прилог 1 – УБ прорачун

Cartridge : 7.62 x 54 R Russ.Nagant
 Bullet : .311 , 174 ,PrviPartizan FMJ BT B-143
 Useable Case Capaci: 57.926 grain H2O = 3.761 cm³
 Cartridge O.A.L. L6: 3.040 inch = 77.22 mm
 Barrel Length : 23.7 inch = 603.0 mm
 Powder : Vihtavuori N140
 Charge : 47.8 grains = 3.10 grams

Estimates of the progress of combustion:

NR.:	x(mm)	Z(%)	v(m/s)	p(MPa)	t (ms)
0	0,000	1,73	0,0	25,0	0,0000
1	0,000	1,80	0,4	26,0	0,0008
2	0,002	1,84	0,7	26,6	0,0032
3	0,005	1,89	1,0	27,3	0,0071
4	0,011	1,98	1,5	28,6	0,0120
5	0,022	2,08	2,2	30,1	0,0178
6	0,039	2,21	2,9	31,9	0,0245
7	0,065	2,36	3,9	34,1	0,0321
8	0,101	2,54	5,0	36,6	0,0403
9	0,151	2,75	6,2	39,6	0,0492
10	0,218	2,99	7,7	42,9	0,0588
11	0,304	3,27	9,4	46,8	0,0689
12	0,414	3,59	11,4	51,2	0,0795
13	0,551	3,96	13,6	56,1	0,0905
14	0,720	4,37	16,1	61,7	0,1019
15	0,925	4,84	18,9	67,9	0,1136
16	1,170	5,37	22,1	74,8	0,1255
17	1,462	5,97	25,7	82,4	0,1377
18	1,805	6,63	29,7	90,7	0,1501
19	2,205	7,38	34,2	99,7	0,1626
20	2,668	8,20	39,2	109,4	0,1752
21	3,200	9,12	44,6	119,8	0,1879
22	3,809	10,13	50,6	130,9	0,2007
23	4,500	11,24	57,2	142,6	0,2135
24	5,281	12,45	64,4	154,7	0,2264
25	6,160	13,77	72,2	167,3	0,2392
26	7,144	15,20	80,6	180,2	0,2521
27	8,242	16,75	89,7	193,2	0,2650
28	9,461	18,42	99,4	206,3	0,2779
29	10,811	20,20	109,7	219,3	0,2908
30	12,301	22,11	120,7	232,1	0,3038
31	13,939	24,14	132,3	244,4	0,3167
32	15,736	26,29	144,5	256,3	0,3297
33	17,701	28,56	157,4	267,4	0,3427
34	19,845	30,95	170,8	277,8	0,3558
35	22,178	33,45	184,7	287,3	0,3689
36	24,710	36,06	199,2	295,8	0,3821
37	27,454	38,78	214,2	303,3	0,3954
38	30,420	41,61	229,6	309,7	0,4087
39	33,620	44,53	245,5	315,0	0,4222
40	34,146	44,99	248,0	315,8	0,4243
41	37,493	47,71	262,9	318,4	0,4374
42	39,227	49,04	270,3	319,2	0,4439
43	41,002	50,36	277,7	319,5	0,4504
44	41,453	50,68	279,6	319,6	0,4520
45	41,679	50,85	280,5	319,6	0,4528
46	41,906	51,01	281,4	319,6	0,4537
47	41,963	51,05	281,6	319,6	0,4539
48	42,020	51,09	281,9	319,6	0,4541
49	42,049	51,11	282,0	319,6	0,4542
50	42,077	51,13	282,1	319,6	0,4543
51	45,818	53,69	296,9	318,9	0,4672
52	49,756	56,18	311,8	317,0	0,4801
53	53,909	58,60	326,6	314,0	0,4931
54	58,295	60,95	341,5	309,9	0,5063
55	62,935	63,23	356,3	304,9	0,5196
56	67,850	65,45	371,2	299,1	0,5331

57	73,063	67,59	386,0	292,6	0,5468
58	78,602	69,67	400,8	285,4	0,5609
59	84,494	71,67	415,7	277,6	0,5753
60	90,772	73,61	430,5	269,4	0,5902
61	97,469	75,48	445,4	260,7	0,6055
62	104,624	77,29	460,2	251,7	0,6213
63	112,281	79,02	475,1	242,3	0,6377
64	120,486	80,68	489,9	232,8	0,6547
65	129,294	82,28	504,7	223,1	0,6724
66	138,762	83,80	519,6	213,2	0,6909
67	148,958	85,26	534,4	203,3	0,7102
68	159,956	86,65	549,3	193,4	0,7305
69	171,841	87,97	564,1	183,5	0,7518
70	184,708	89,22	579,0	173,7	0,7744
71	198,666	90,40	593,8	163,9	0,7982
72	213,837	91,52	608,6	154,3	0,8234
73	230,362	92,56	623,5	144,9	0,8502
74	248,401	93,54	638,3	135,6	0,8788
75	268,139	94,45	653,2	126,6	0,9094
76	289,789	95,29	668,0	117,8	0,9422
77	313,597	96,06	682,9	109,3	0,9774
78	339,849	96,76	697,7	101,1	1,0154
79	368,879	97,39	712,5	93,1	1,0566
80	401,080	97,96	727,4	85,5	1,1013
81	436,912	98,45	742,2	78,2	1,1501
82	476,922	98,88	757,1	71,3	1,2035
83	521,761	99,23	771,9	64,7	1,2621
84	546,228	99,39	779,3	61,5	1,2937
85	552,577	99,42	781,2	60,8	1,3018
86	555,787	99,44	782,1	60,4	1,3059
87	556,593	99,44	782,4	60,3	1,3069
88	556,997	99,45	782,5	60,2	1,3074
89	557,199	99,45	782,5	60,2	1,3077
90	557,250	99,45	782,5	60,2	1,3078
91	557,275	99,45	782,5	60,2	1,3078
92	557,287	99,45	782,6	60,2	1,3078

Muzzle

Прилог 2 – Програмско решење у MATLAB-у

Фаза 1:

```
clear all
clc
close all
```

```
PK=dlmread('Pb2.txt');
Fb1=PK(:,2)*0.2;
T=PK(:,1);
```

```
INT=[0 0 0 0];
syms X(t) Teta(t)
```

```
brojac=0;
```

```
for i=1:70
X2=diff(X,2);
X1=diff(X);
Teta2=diff(Teta,2);
Teta1=diff(Teta);
```

```
[V,W] = odeToVectorField(-1.0251*X2-594.12*X==Fb1(i)+53.194,0.00520965*X2-
0.0000837083*Teta2==1.1053469);
[M] = matlabFunction(V,'vars', {'t','Y'});
```

```

sol = ode45(M,[T(i) T(i+1)],INT);
t = linspace(T(i),T(i+1),70);
Xr = deval(sol,t,1);
DXr = deval(sol,t,2);
Tetar = deval(sol,t,3);
DTetar = deval(sol,t,4);
INT=[Xr(70),DXr(70),Tetar(70),DTetar(70)];
Z(i,:)=Xr(70) DXr(70) Tetar(70) DTetar(70)];

```

```

    brojac=brojac+1
end
for j=1:70
    T1(j)=T(j+1);
end

```

```

subplot(2,2,1)
plot(T1,Z(:,1)/2.54);
subplot(2,2,2)
plot(T1-0.0001,Z(:,2)/2.54);
subplot(2,2,3)
plot(T1,Z(:,3)*2);
subplot(2,2,4)
plot(T1-0.0001,Z(:,4)*2);

```

Фаза 2:

```

clear all
clc
close all

```

```

TVr(1)=0;
for j=2:61
    TVr(j)=TVr(j-1)+0.001;
end

```

```

INT=[0 0 0 0];
syms Y(t) Teta(t)

```

```

brojac=0;

```

```

for i=1:60
    Y2=diff(Y,2);
    Y1=diff(Y);
    Teta2=diff(Teta,2);
    Teta1=diff(Teta);

```

```

[V,W] = odeToVectorField(-1.0251*Y2+594.12*Y== -49.2,0.00196128*Y2-
0.0000837083*Teta2==0);
[M] = matlabFunction(V,'vars', {'t','Y'});
sol = ode45(M,[TVr(i) TVr(i+1)],INT);
t = linspace(TVr(i),TVr(i+1),60);

```

```

Yr = deval(sol,t,1);
DYr = deval(sol,t,2);
Tetar = deval(sol,t,3);
DTetar = deval(sol,t,4);
INT=[Yr(60),DYr(60),Tetar(60),DTetar(60)];
Z(i,:)= [Yr(60) DYr(60) Tetar(60) DTetar(60)];

```

```

    brojac=brojac+1
end
for k=1:60
    T1(k)=TVr(k+1);
end

```

```

subplot(2,2,1)
plot(T1,Z(:,1)/17.64);
subplot(2,2,2)
plot(T1,Z(:,2)/17.64);
subplot(2,2,3)
plot(T1,Z(:,3)/5);
subplot(2,2,4)
plot(T1,Z(:,4)/5);

```