

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: 510/2010

Верица Ј. Чукановић

Анализа рада компензатора одскочног угла аутоматског оружја при гађању

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. Поф. др Богдан Недић – председник**
- 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. Представи конструктивне шеме изведених решења гасних компензатора за стабилизацију положаја цеви оружја и објасни њихове основне карактеристике.
2. За усвојени модел компензатора изврши прорачун главних параметара и излазних величина на основу математичког модела према литератури.
3. Анализира конструктивне карактеристике компензатора α_x и α_y и услове за обезбеђење минималог угла отклона осе канала цеви и ротације у вертикалој равни гађања.
4. Према постављеном алгоритму прорачуна изврши симулацију за усвојени тип и модел аутоматског оружја према расположивим подацима.
5. Изврши анализу добијених резултата прорачуна и представи их табеларно и графички.

Препоручена литература:

Б. В. Орлов: Проектирование ракетных и ствольных систем, Машиностроение, Москва, 1974. године

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

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

Крагујевац, септембар 2014.

ментор:

дипл. инж. др Зоран Ристић

РЕЗИМЕ РАДА

У раду се разматра утицај компензатора АО при гађању и његови параметри који треба да обезбеде што мање померање цеви у вертикалној равни гађања. На овај начин, компензатори оружју омогућују довољно мале промене вектора почетне брзине пројектила у односу на линију нишањења, а тиме и већу тачност гађања. У првом делу рада представљена су изведена решења компензатора као врсте уређаја на устима цеви. Затим је дат математички модел за компензатор косог пресека и његово димензионисање. На основу конструкционих карактеристика компензатора и аутоматске пушке 5.56 mm M21 извршен је прорачун главних утицајних величина које описују понашање оружја при опаљењу у јединачном режиму паљбе (одскочни угао и угаона брзина обртања оружја). На крају су вариране утицајне карактеристике да би се утврдио њихов утицај на динамичко понашање оружја.

Кључне речи: компензатор, параметри, угаона брзина, одскочни угао.

ABSTRACT

The influence of automatic weapon compensator while shooting and it's parameters which should provide as less movement of the barrel in vertical plane is considered in this work. In this way, compensators allow perturbations of projectile muzzle velocity vectors that are enough small compared to line of sight, and thus a greater weapon accuracy. In the first part, derived solutions of compensators as a type of device on the barrel muzzle are presented. Subsequently, mathematical model for angled compensator is given and it's sizing as well. Based on previously mentioned compensator and 5.56 mm M21 automatic rifle structural characteristics, the calculation is executed of main influencing values which describe behavior of a weapon while shooting in semi-automatic mode – weapon jumping angle and angular velocity that that need to be as less as possible (close to zero). In the end, values that take place in equations of those angle and velocity are varied so the way of their changes could be determined.

Key words: compensator, parameters, angle velocity, jumping angle.

САДРЖАЈ

1. УВОД	5
2. УРЕЂАЈИ НА УСТИМА ЦЕВИ АУТОМАТСКОГ ОРУЖЈА	6
2.1. Компензатори.....	6
2.2. Изведена решења гасних компензатора.....	7
3. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ	11
3.1. Математички модел компензатора са косим пресеком	11
3.2. Димензионисање компензатора са косим пресеком	14
4. АНАЛИЗА КОНСТРУКТИВНИХ КАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕНЗАТОРА α_x и α_y	15
5. ПРОРАЧУН КАРАКТЕРИСТИКА ЗА УСВОЈЕНИ ТИП И МОДЕЛ АУТОМАТСКОГ ОРУЖЈА.....	19
5.1. Прорачун сила P_x и P_y компензатора са косим пресеком за АП М21 5.56 mm	21
5.2. Прорачун угаоне брзине одскока оружја ω_a и угла одскока γ	21
6. ЗАКЉУЧАК.....	28

1. УВОД

Аутоматско оружје је производ сложене конструкције, које самостално извршава паљбу. Да би било аутоматско, мора да обезбеди пуњење цеви метком, избацивање тј. лансирање метка из цеви, извлачење и избацивање чауре након што се први метак унесе у цев и опали, при притиснутој обарачи. За свој рад, аутоматско оружје, користи енергију сагоревања барутног пуњења, а остварује континуирано дејство опаљења све док у магацину има метака једним притиском обараче.

Аутоматско оружје садржи бројне компоненте и делове који су потребни оружју како би се обезбедиле ефикасне и захтеване перформансе. Компоненте у аутоматском оружју морају да обезбеде аутоматски режим рада за што краће време. Најважније компоненте АО су: механизми за храњење муницијом, механизми за брављење затварача са цеви, делови за запињање, механизам за окидање, делови за избацивање чауре и механизми за кочење и осигурање.

Савремено аутоматско оружје мора да има велику брзину гађања и прецизност гађања. Ефикасност уништења циља зависи од брзине гађања, калибра пројектила, почетне брзине пројектила, тачности нишањења итд.

У раду се разматра утицај компензатора АО при гађању и његови параметри који треба да обезбеде што мање померање цеви у вертикалној равни (тзв. отклон положаја уста цеви) за време опаљења. На овај начин, компензатори оружју омогућују довољно мале промене вектора почетне брзине пројектила у односу на линију нишањења, а тиме и већу тачност гађања.

Због своје значајне улоге, у раду се најпре разматрају типичне конструктивне шеме и могућа комбинована решења компензатора која се користе код АО. Затим се усваја модел и шема компензатора која се детаљније анализира за време опаљења метка.

Дефинишу се релевантне карактеристике и параметри модела компензатора и даје математички модел за њихово нумеричко решавање.

На крају се према алгоритму прорачуна врши симулација модела прорачуна за усвојени тип АО, и дискутују добијени резултати прорачуна.

2. УРЕЂАЈИ НА УСТИМА ЦЕВИ АУТОМАТСКОГ ОРУЖЈА

Уређаји на устима цеви уопште су компоненте аутоматског оружја које се постављају на уста цеви оружја како би се повећала ефикасност оружја. Постоји више врста уређаја који остварују различите функције при опаљењу метка зависно од конструктивног решења.

У уређаје на устима цеви спадају:

- пригушивач пламена,
- пригушивач дима, буке,
- појачници трзања,
- гасне кочнице,
- компензатори одскочног угла
- локализатори и др.

Пројектил при изласку из цеви прате гасови бурном експанзијом (ударни талас на устима цеви). То је млаз кратког трајања који се састоји из више фаза. На устима цеви се јавља ударни талас који је систем нормалних и закошених таласних фронтова који образују границе области у којој долази до главног ширења и хлађења гасова. Границе ударне зоне чини вртложна луска, а изван ње је вртложни "димни прстен" који се помера радијално и шири унапред, стварајући одређене ефекте (прасак, дим, надпритисак и др.).

Уређаји на устима цеви имају улогу да штите, како оружје тако и особље, од деловања избачених гасова кроз уста цеви, и да отежају непријатељу да открије ватрени положај. Они служе да смањују силе трзања и видљиве појаве које настају при дејству оружја.

Сваки тип уређаја који се поставља на уста цеви има сопствене карактеристике које се не могу укомпоновати у једну целину. На пример, кочница на устима цеви може да смањи пламен, али не може да сузбије буку. Иако се може постићи двоструки циљ, не треба сметнути са ума идентитет или специфичну намену било којег датог уређаја уграђеног на устима цеви оружја. Пошто је проблем у раду везан за утицај и улогу компензатора оружја на динамичко понашање оружја при опаљењу, у наставку ће се разматрати карактеристике и могућа конструктивна решења овог уређаја.

2.1. Компензатори

Компензатори су гасни уређаји на устима цеви (наставци уста цеви) који треба да смање и неутралишу одскоке или отклон уста цеви у попречном смеру при излетању пројектила из цеви а тиме и промену правца полазног вектора почетне брзине пројектила.

Радом силе притиска истичуће струје б/г кроз отворе компензатора, формирају се компоненте сила у уздужном и, посебно, попречном правцу у односу на осу канала цеви која обезбеђује стабилизацију положаја цеви за време опаљења.

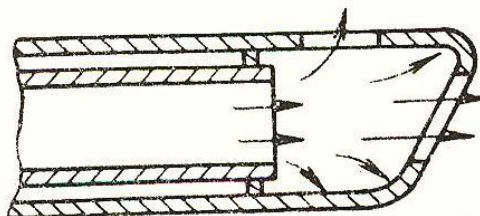
У конструктивном погледу ови уређаји су релативно једноставни, али у погледу начина рада и математичке формулације су доста сложени гасодинамички уређаји.

Поред тога, што услед трзања долази до кретања оружја дуж аксијалне осе, долази и до одступања осе канала цеви од утврђеног правца. У току опаљења метка оружје одскаче са устима цеви на горе и у тренутку излетања пројектила смер осе канала цеви се не поклапа са првобитно заузетим.

Осцилације цеви, такође, утичу на величину одскока уста цеви од првобитног положаја. Цев оружја представља штап који је на једном крају укљештен. При излетању пројектил добија смер у зависности од положаја уста цеви и брзине осцилаторног кретања краја цеви у току излетања.

Спајање утицаја осцилација цеви и одскока оружја доводи до стварања угла одскока и промене полазног вектора почетне брзине пројектила. Угао који заклапа правац осе канала цеви оружја пре опаљења и правац исте осе у тренутку испалења пројектила назива се углом одскока.

Како би се елиминисао одскок неопходно је створити услове код којих ће се оса канала цеви, након сваког испалењеног метка враћати у првобитни положај, па у ту сврху се примењују специјални уређаји компензатори (слика 2.1).



Слика 2.1. Скица компензатора

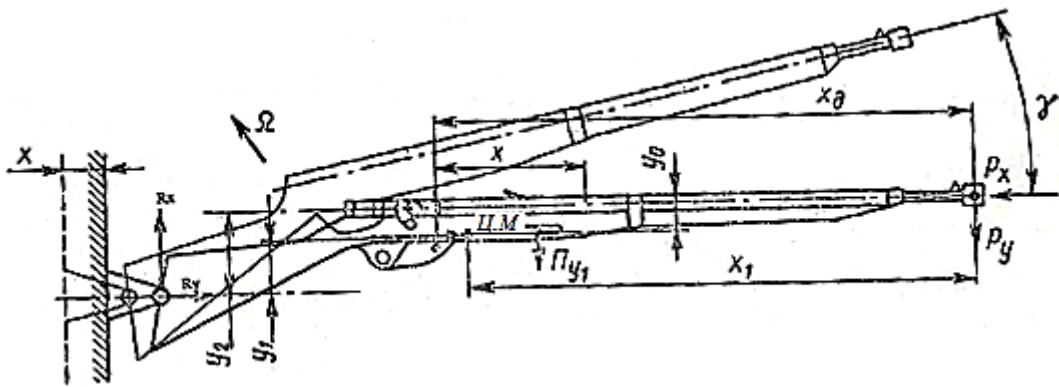
Гасови који истичу из цеви врше притисак на све зидове компензатора. Притисак на предњи зид смањује одскок (принцип активне гасне кочнице), док разлика притиска, на равни доњи и горњи зид са отвором, доводи до реактивног кретања компензатора а са њим и уста цеви оружја на доле. Предњи зид компензатора може се радити под нагибом ради повећања количине гасова који истичу кроз отвор одозго. Тако компензатор приближава осу канала цеви после сваког испалењеног метка основном положају, што има за резултат повећање прецизности ватре оружја [2].

2.2. Изведена решења гасних компензатора

У практичној примени чисти гасни компензатори за стабилизацију положаја цеви се ређе примењују. Обично се користе компензатори тзв. комбинованог дејства који поред примарне и главне функције остварују и друге функције нпр. функцију појачника трзаја или ГК.

За моју анализу примарна је анализа компензатора као уређаја за стабилизацију положаја и у том смислу биће усмерено даље излагање.

На слици 2.2 илустрована је шема оружја са релевантним параметрима и величинама који карактеришу понашање гасних компензатора.

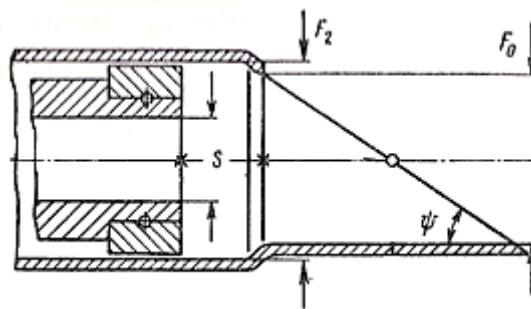


Слика 2.2. Кинематска шема оружја при опаљењу метка

Пошто се центар масе оружја и правац реакције ослонаца не поклапају са осом канала цеви долази до закретања оружја у вертикалној равни, за угао γ .

Шеме могућих конструкција компензатора оружја:

- компензатор са косим пресеком (слика 2.3),
- компензатор комбинованог дејства (слика 2.4).



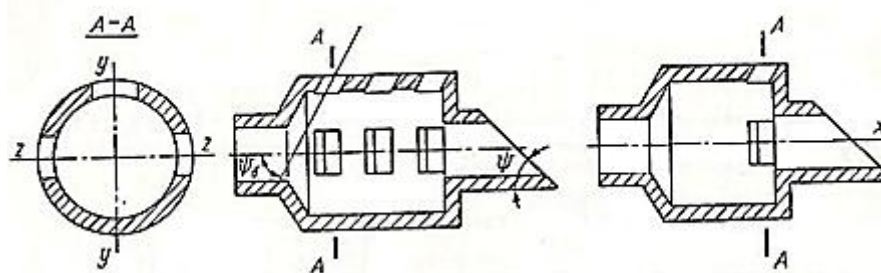
Слика 2.3. Компензатор са косим пресеком

На слици 2.3 ознаке величина су:

F_2 – површина попречног пресека гасова на месту где је његов статички притисак једнак атмосферском притиску,

F_0 – зона косог пресека компензатора протока б/г,

ψ – угао косог пресека компензатора,



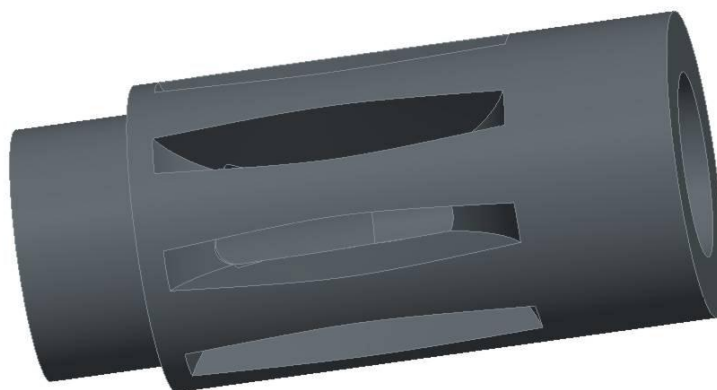
Слика 2.4. Компензатори комбинованог типа

Компензатор са косим пресеком је компензатор одскочног угла најједноставније конструкције, чија је предња страна засечена под одређеним углом ψ .

Помоћу несиметрично размештених бочних отвора, или косог пресека на изласку отвора метка, обезбеђује се несиметрично одвођење барутних гасова. Када је потребна већа сила P_y употребљавају се и једни и други отвори [3].

У пракси су најчешћи компензатори са косим пресеком цилиндричног наставка. Овај компензатор при малом повећању силе трзања оружја обезбеђује већу попречну силу реакције (P_y) барутних гасова на цев.

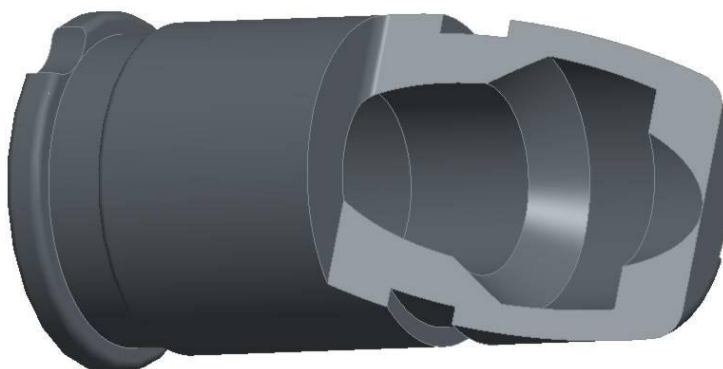
Компензатори комбинованог типа (слика 2.4) имају истовремено функцију појачника трзања и компензатора или гасне кочнице и компензатора (у случају симетрично распоређених бочних отвора).



Слика 2.5. Компензатор аутоматске пушке 5-56 mm M21

Компензатор приказан на слици 2.5 је комбинованог типа. Он има функцију компензатора и појачника трзања, а примењује се код аутоматске пушке 5-56 mm M21.

Компензатор аутоматске пушке 7,62 mm M70 је компензатор са косим пресеком који има функцију само компензатора, слика 2.6, а компензатор аутоматске пушке Абакан (слика 2.7) је комбинованог типа.



Слика 2.6. Компензатор аутоматске пушке 7,62 mm M70



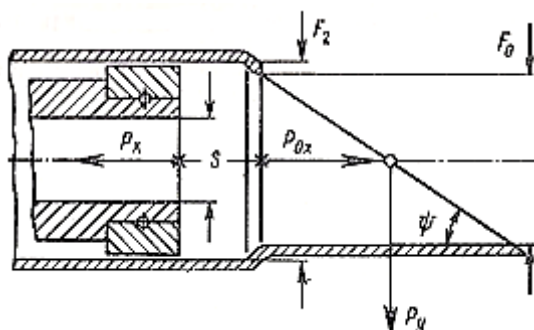
Слика 2.7. Компензатор аутоматске пушке Абакан

3. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ

Компензатори су тако изведени да се у тренутку када пројектил напусти уста цеви оружја б/г одбијају од њих и преусмеравају их. При опаљењу долази до одскока цеви, оружја, на горе и скретања с' задатог правца гађања у десну страну. Одскок цеви, јавља се због обртног момента око центра масе, а скретање услед ротације пројектила. За динамичко понашање компензатора при опаљењу потребно је да се у математичком смислу дефинишу главни његови параметри и величине и утврди њихова узајамна веза и утицај на излазне величине.

У нашем случају основно је да се према познатом моделу и литератури одреде зависности величина сила P_x , P_y и карактеристике α_x и α_y како би се установиле њихове вредности које у највећој мери смањују одскочни угао цеви.

3.1. Математички модел компензатора са косим пресеком



Слика 3.1. Шема компензатора са косим пресеком

На основу шеме према слици 3.1, попречна компонента силе P_y на цев је [3]:

$$P_y = (K_0 \bar{R} - F_2 p_a) \operatorname{tg} \Delta \psi \approx K_0 \bar{R} \operatorname{tg} \Delta \psi, \quad (1)$$

где су:

$F_2 p_a$ - компонента силе реакције услед притиска околине,

F_2 - површина попречног пресека гасова на месту где је његов статички притисак једнак атмосферском притиску,

p_a - атмосферски притисак,

$\bar{R}$ - сила реакције (реактивног дејства гасне струје), $\bar{R} = R_{gk}$,

$K_0 = \frac{\lambda_0 + \lambda_0^{-1}}{2}$ - коефицијент реактивног дејства гасне струје на улазу у коси пресек.

Сила бочне реакције (P_y) делује нормално на осу канала цеви и лежи у вертикалној равни, која пролази њену осу средиште њеног пресека. Ако у зони косог пресека компензатора нема протока б/г, тј. у пресеку (F_0) надпритисак

гасова је нешто мањи $(p_0 - p_a) > -0,5p_a$, а сила реакције компензатора у смеру осе канала цеви је:

$$R_x \cong (\alpha - 1)R_{gk} \quad (2)$$

У зависности од конструкције, геометријска карактеристика компензатора је $\alpha \approx 1$. За компензатор који је изведен у облику косо одрезаног цилиндричног наставка или млазнице, онда је $\alpha > 1$, тј. сила реакције на цев је у смеру деловања код појачника трзања. Услед тога у периоду накнадног дејства, сила трзања оружја са оваквим компензатором расте.

Најчешћи компензатори у пракси су са косим пресеком цилиндричног наставка. Овај компензатор при малом повећању силе трзања оружја обезбеђује већу попречну силу реакције (P_y) барутних гасова на цев.

При уласку у простор оваког компензатора, проток барутних гасова по правилу је незнатно већи, па је релативно мало повећање укупне реакције у облику: $\alpha = K_0 = \frac{R_{ok}}{R_{gk}} > 1$.

Величина коефицијента релативног протока гасова K_0 у косом пресеку може се узети у облику [3]:

$$K_0 = \chi \cdot \frac{\lambda_0 + \lambda_0^{-1}}{2} \quad (3)$$

где су:

$\chi \cong 0,98$ - коефицијент губитака

λ_0 - коефицијент брзине гасова ($\lambda > \lambda_u \cong 1$)

Обично се у прорачунима узима за $K_0 \cong 1,03$ па је на основу тога сила у смеру осе канала цеви и попречна сила у облику:

$$P_x \cong 1,03p_u e^{-bt} \quad (4)$$

$$P_y = \alpha_y R_{gk} \cong 1,03(S \cdot p_u \cdot e^{-bt})tg\Delta\psi \quad (5)$$

где је:

$\alpha_y = K_0 tg\Delta\psi$, (угао $\Delta\psi$ за познато K_0 одређује се према табели 3.1 линеарном интерполацијом) [3].

Табела 3.1. Одређивање угла $\Delta\psi$ за познато K_0

$\Delta\psi_0$	K_0										Гранична вредност		
	1		1,1		1,2		1,3		1,4				
	ψ	ξ	ψ	ξ	ψ	ξ	ψ	ξ	ψ	ξ	K_0	$\Delta\psi_\infty$	ξ_∞
5	81 ⁰ 1'	0,43	75 ⁰ 42'	0,65	69 ⁰ 5'	0,77	61 ⁰ 52'	0,83	49 ⁰ 33'	0,897	1	53 ⁰	0,38
10	71 ⁰ 5'	0,46	62 ⁰ 14'	0,66	51 ⁰ 3'	0,77	42 ⁰	0,85	26 ⁰ 37'	0,912	1,1	48 ⁰ 3'	0,51
15	61 ⁰ 4'	0,50	48 ⁰ 21'	0,69	36 ⁰ 1'	0,80	24 ⁰ 27'	0,87	13 ⁰ 32'	0,936	1,2	44 ⁰	0,75
20	50 ⁰ 3'	0,55	35 ⁰ 6'	0,73	14 ⁰ 2'	0,83	13 ⁰ 5'	0,91	5 ⁰ 52'	0,963	1,3	38 ⁰ 3'	0,86
25	38 ⁰ 5'	0,62	24 ⁰ 5'	0,78	6 ⁰ 59'	0,92	6 ⁰ 32'	0,94	1 ⁰ 31'	0,988	1,4	32 ⁰ 4'	0,92
30	27 ⁰ 3'	0,69	13 ⁰ 1'	0,84	27 ⁰ 3'	0,96	1 ⁰ 57'	0,98	0 ⁰ 3'	0,994	-	-	-
35	17 ⁰ 8'	0,78	7 ⁰ 35'	0,90	2 ⁰ 40'	0,99	0 ⁰ 8'	0,98	-	-	-	-	-
40	8 ⁰ 2'	0,87	8 ⁰ 28'	0,96	8 ⁰ 28'	-	-	-	-	-	-	-	-
45	2 ⁰ 3'	0,95	2 ⁰ 22'	0,90	0 ⁰ 13'	-	-	-	-	-	-	-	-
50	0 ⁰ 8'	0,99	0 ⁰ 10'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

С' обзиром на конструктивну шему компензатора, начини дејства струје б/г у компензатору могу се размотрити у зависности од P_x и P_y :

1. Наставак канала цеви нема коси пресек ($\psi = 90^\circ$; $\Delta\psi = 0^\circ$). У том случају измениће се само дејство бочних отвора [4]:

$$R_y = \alpha_{Ty} R_{Dt} \quad (\alpha_{yuk} = \alpha_{Ty}; \alpha_{Ky} = 0)$$

где су:

$\alpha_{Ty} = K_b \xi_y (1 - \sigma^m) \sin \psi_\sigma$ - коефицијент ефективности бочних канала гасне кочнице, стварајући попречну реакцију дејства барутних гасова на оружје,

$\alpha_{Ky} = K_0 \sigma^m \operatorname{tg} \Delta\psi$ - коефицијент ефикасности косог пресека компензатора,

2. Када отвори на боку гасног уређаја нису искошени ($\Delta\psi_b = 0$; $\xi_y = 1$) већ су облика цилиндра ($K_b = 1$), реакција барутних гасова одређује се једначинама:

$$P_y = \alpha_{uky} R_{Dt}; \quad P_x = \alpha_{ky} R_{Dt}, \quad (6)$$

где су:

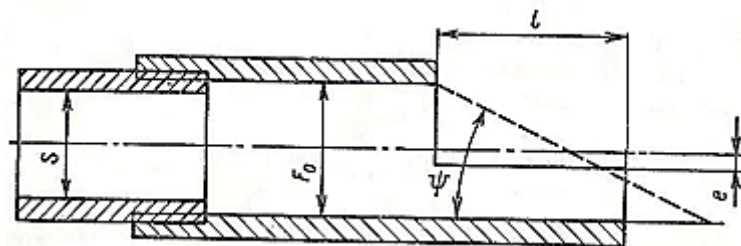
$$\alpha_{uky} = K_0 \operatorname{tg} \Delta\psi \sigma^m + (1 + \sigma^m) \sin \psi_b,$$

$$\alpha_{ukx} = K_0 \sigma^m + (1 + \sigma^m) \cos \psi_b,$$

ψ_b - угао канала бочних отвора у односу на осу цеви.

3. Када не постоје на гасном уређају бочни отвори ($F_b = 0$, $\sigma = 1$) зависност од параметара α_x и α_y односи се на одговарајуће изразе за косо пресечени компензатор [4].

3.2. Димензионисање компензатора са косим пресеком



Слика 3.2. Димензије компензатора са косим пресеком

Компензатор са косим пресеком (слика 3.2) може се прорачунати преко изрази (4) и (5). Угао ψ се добија из услова за бочне површине косог пресека гасног протока:

$$\frac{\pi}{4} d_0^2 = h \cdot l \cdot d_0 \cdot \operatorname{tg} \psi \quad (7)$$

Одавде, еквивалентни угао компензатора са косим пресеком је:

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{\pi d_0}{4 l h}, \quad (8)$$

где су:

l - дужина косог пресека,

$d_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} F_0}$ - пречник канала компензатора,

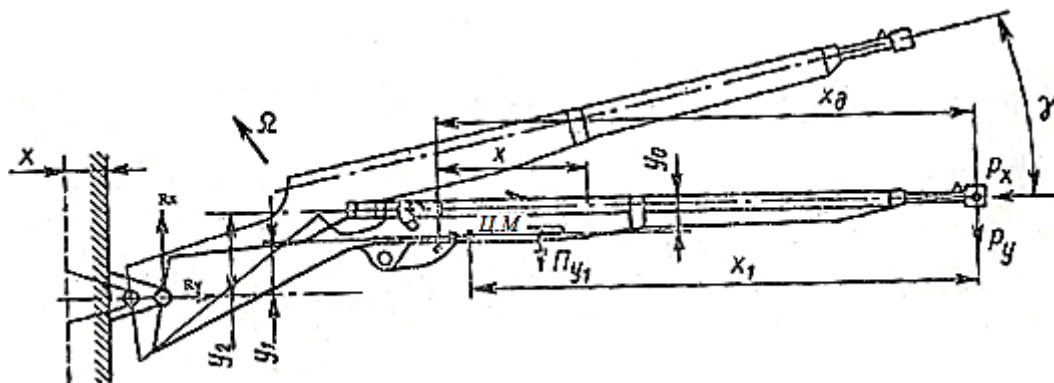
$$h = \sqrt{1 - \frac{4e^2}{d_0^2}}.$$

4. АНАЛИЗА КОНСТРУКТИВНИХ КАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕНЗАТОРА

α_x и α_y

Размотримо динамичко понашање оружја при гађању, односно кретање услед релативних сила и у вези са тим захтев и услове стабилизације положаја оружја у равни гађања.

Кретање ручног аутоматског оружја при опаљењу дато је на слици 4.1.



Слика 4.1. Кинематска шема оружја при опаљењу метка

Како се центар масе оружја (ЦМ) и правац реакције ослонца стрелца не поклапају са осом канала цеви, долази до закретања оружја у вертикалној равни угаоном брзином (Ω).

Ово закретање оружја изазива отклон осе цеви од правца нишањења за угао (γ), а самим тим и промену положаја полазног вектора брзине зрна, да би се овај нежељени утицај смањило или неутралисао, поред одређивања угловног положаја цеви оружја ($\gamma = \Omega$) треба одредити силе компензатора (P_x, P_y) ради стабилизације оружја у равни гађања.

Ознаке величина према слици 4.1. су:

- x - помак оружја услед трзања оружја,
- y_0 - положај центра масе оружја од осе канала цеви,
- x_1 - положај центра масе оружја од уста цеви са компензатором,
- y_1 - положај центра масе оружја у односу на правац силе реакције R_y ,
- y_2 - растојање осе канала од правца силе реакције R_x ,
- P_x, P_y - силе стабилизатора положаја цеви,
- R_x, R_y - силе реакције ослонца стрелца (рамена).

До тренутка када зрно напушта цев, гасни уређај не врши никакву функцију на оружју па је сила: $P_x = S \cdot p_d$ и $P_y = 0$.

Укупна сила реакције ослонца R_y и одговарајући момент су релативно мали (занемарљиви) у односу на силу P_x и њен момент $y_2 P_x$.

Дакле, динамичко понашање оружја, рачунајући промену његовог момента инерције I , описује се једначинама :

Кретање пројектила:

$$(m_p + 0,5\mu)v_p = P_x$$

Кретање оружја:

$$(m_p + 0,5\mu)V_t = P_x - R_x \quad (9)$$

Обртног кретања оружја:

$$I\dot{\Omega}_t = P_x y_2 - y_1 m_0 V_t$$

Величина $\omega \ll m_0$, па се може занемарити у једначини кретања оружја.

Момент инерције оружја у односу на основну тачку оружја промењен је због померања зрна по каналу цеви и одређује се:

$$I \cong I_0 + mx^2, \quad (10)$$

где је:

x - тренутно растојање између зрна и центра масе оружја пре опаљења.

Члан $(I\dot{\Omega}) = 2\Omega mxv$ у физичком смислу представља линеарну промену момента количине кретања оружја у процесу опаљења $(I\Omega)$ и јавља се као момент Кориолисове силе који утиче на стабилност оружја.

Ако се узме да је $I = const$ и $(\Omega I)'_t \cong I\dot{\Omega}$, заједничким решавањем последње две релације и (5) добија се:

$$I\dot{\Omega}_t = (y_2 - y_1)S \cdot p_{d_t} + y_1 R_x \quad (11)$$

Где се интеграљењем једначине (11) одређује угаона брзина Ω :

$$\Omega = \frac{d\gamma}{dt} = \frac{y_0}{l} (m + 0,5\mu)v + \frac{y_1}{l} \int_0^t R_x dt, \quad (12)$$

односно, поновном интеграцијом (12) одређује се тренутни угао (γ) отклоне осе канала цеви [3]:

$$\gamma = \frac{y_0}{l} (m + 0,5\mu)x + \frac{y_1}{l} \int_0^t dt \int_0^t R_x dt, \quad (13)$$

где су:

$y_2 - y_1 = y_0$ - крак динамичког пара силе ослонца, а

x, v - одговарајући пут и брзина зрна у цеви.

При излетању пројектила из цеви због промене положаја центра масе оружја за време $t = t_u$, мењају се и угаона брзина и угао отклоне цеви (Ω_u, γ_u).

Због дужине извођења даје се приказ коначних релација и величина битних за проблем стабилизације оружја.

Величине које карактеришу обртно кретање оружја, на крају периода накнадног дејства, су Ω_n и γ_n , и на основу њих се могу дефинисати величине конструктивних карактеристика (α_x и α_y) компензатора. При том је очигледно нужен захтев уједно и услов који се мора обезбедити да је:

$$\Omega_n = \gamma_n = 0 \quad (14)$$

Решавањем једначина за Ω_n и γ_n , према (14) треба одредити (α_x и α_y) које ће на почетку следећег опаљења метка обезбедити оружју почетну позицију у равни гађања.

После одређених трансформација, према [3], добија се:

$$\alpha_y = \frac{y_2}{x_1} \left(\alpha_x + \frac{1}{B} \right), \quad (15)$$

где је:

$$B = \frac{\beta \mu}{m_z},$$

при чему су:

μ - маса барутног пуњења,

β - коефицијент истицања барутних гасова и

m_z - маса зрна.

Добија се:

$$\alpha_x = \frac{1}{B} \left[\bar{y}_0 \frac{\frac{x_1}{v\tau} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\mu}{m_z} \right) + \frac{1}{b\tau} + \frac{\mu}{4b\tau m_z} - 1}{\frac{1}{2} - \frac{2}{3} \frac{t_1}{\tau} - \frac{1}{b\tau}} \right] \quad (16)$$

где су: $\bar{y}_0 = \frac{y_0}{y_1}$; $y_2 = y_0 + y_1$; $x_u = l_u$ - укупан пут зрна у цеви.

Карактеристика α_x је јако променљива са променом времена накнадног дејства на цев (τ) што се види из израза (16). Релативне вредности параметра (α_x) ограничене су на интервалу ($1 \leq \alpha_x < 0$), па се величина $t = \tau$ треба одредити из услова $\alpha_x > 0$, који је по правилу испуњен ако је $\tau \cong \frac{4}{b}$. За време накнадног дејства гасова притисак у цеви, у поређењу са притиском (p_u), смањује се за приближно 60 пута, а величина реакције силе R_{gk} за око 2%.

Према размотреној шеми дејства сила на оружје, физички је немогуће обезбедити услов ($\Omega_n = \gamma_n = 0$) у тренутку рафалне паљбе, ако компензатор цеви не ради у режиму кочења као гасна кочница тј. ако је $\alpha_x \geq 1$.

На крају накнадног дејства, одговарајућим избором величине α_y , може се обезбедити да је само или $\gamma_n = 0$ или $\Omega_n = 0$. Према овим условима, компензатори са косим пресеком не могу да доведу до жељеног резултата.

Решење проблема стабилности оружја може се обезбедити ако је испуњен услов: $\gamma_n = \min$ и $\Omega_n = \min$, односно ако се примени тзв. „динамичко балансирање оружја“ или увођење тзв. „паразитске трзајуће масе“ – вештачко отежавање како би се обезбедио што мањи динамички крак (l).

5. ПРОРАЧУН КАРАКТЕРИСТИКА ЗА УСВОЈЕНИ ТИП И МОДЕЛ АУТОМАТСКОГ ОРУЖЈА

Усвојени тип компензатора је компензатор са косим пресеком, а модел аутоматског оружја аутоматска пушка 5,56 mm M21.

Подаци дати у табели 5.1 према литератури [6], неопходни су за спровођење даљег прорачуна конструктивних карактеристика компензатора.

Табела 5.1. Подаци за аутоматску пушку 5,56 mm M21

	величина	M21 5,56 mm	јединица
убрзање Земљине теже	g	9,81	m/s^2
калибар	d	0.00556	m
маса пројектила	m_z	0,00395	kg
маса барутног пуњења	μ	0,00157	kg
почетна брзина пројектила	v_u	952	m/s
притисак на устима цеви	P_u	68900000	Pa
положај центра масе оружја од осе канала цеви	y_0	0,013	m
положај центра масе оружја од уста цеви са компензатором	x_1	0,520	m
положај центра масе оружја у односу на правац силе реакције ослоња R_y	y_1	0,043	m
растојање осе канала од правца силе реакције R_x	y_2	0,056	m
временски тренутак када се пројектил налази на устима цеви	t_1	0,000874	s

За прорачунавање конструктивних карактеристика компензатора α_x и α_y , потребно је одредити следеће параметре:

$$S = \frac{d^2 \pi}{4} = 0,000024 m^2$$

где је:

S – површина попречног пресека канала цеви,

d – калибар.

$$\beta = \frac{1275}{v_u} = 1,339$$

где је:

β – коефицијент истицања барутних гасова на устима цеви, према Благонравову,

v_u – почетна брзина пројектила.

$$b = \frac{Sp_u}{(\beta - 0,5)\mu v_u} = 1318,66 \text{ } 1/s$$

где је:

b – показатељ интензитета истицања барутних гасова,

p_u – притисак на устима цеви,

μ – маса барутног пуњења.

$$\tau = \frac{4}{b} = 3 \cdot 10^{-4} s$$

где је:

τ – време истицања б/г у периоду накнадног дејства.

$$B = \frac{\beta\mu}{m_z} = 0,532$$

где је:

m_z – маса пројектила.

$$\bar{y}_0 = \frac{y_0}{y_1} = 0,325$$

где је:

$\bar{y}_0$ – однос удаљености центра масе у односу на тежиште оружја,

y_0 – положај центра масе оружја од осе канала цеви,

y_1 – положај центра масе оружја у односу на правац силе реакције ослонца

R_y

Према дефинисаним параметрима за прорачунавање конструктивних карактеристика компензатора, коначно се добија према изразу (17):

$$\alpha_x = \frac{1}{B} \left[\bar{y}_0 \frac{\frac{x_1}{v\tau} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\mu}{m_z} \right) + \frac{1}{b\tau} + \frac{\mu}{4b\tau m_z} - 1}{\frac{1}{2} - \frac{2}{3} \frac{t_1}{\tau} - \frac{1}{b\tau}} \right] \quad (17)$$
$$\alpha_x = 1,001$$

На основу одређеног α_x одређује се друга конструктивна карактеристика компензатора α_y , према изразу (18):

$$\alpha_y = \frac{y_2}{x_1} \left(\alpha_x + \frac{1}{B} \right) \quad (18)$$

$$\alpha_y = 0,3102$$

5.1. Прорачун сила P_x и P_y компензатора са косим пресеком за АП М21 5.56 mm

За компензатор са косим пресеком усвојен је коефицијент $K_0 = 1,03$. Док су остали подаци потребни за прорачун дати у претходним изразима.

Користећи израз за компоненту силе дејства гасног компензатора P_x (19):

$$P_x \cong K_0 \cdot S \cdot p_u \cdot e^{-br} \quad (19)$$

добија се:

$$P_x \cong 1703,2 \text{ N} = 1,7 \text{ kN}$$

Угао $\Delta\psi = 27^\circ$ се добија интерполацијом за дати угао ψ (табела 5.2).

Користећи израз за компоненту силе дејства гасног компензатора P_y (20) добија се да је бочна компонента силе гасног компензатора једнака:

$$P_y \cong K_0 \cdot (S \cdot p_u \cdot e^{-br}) \cdot \text{tg} \Delta\psi \quad (20)$$

$$P_y \cong 867,78 \text{ N} = 0,86 \text{ kN}$$

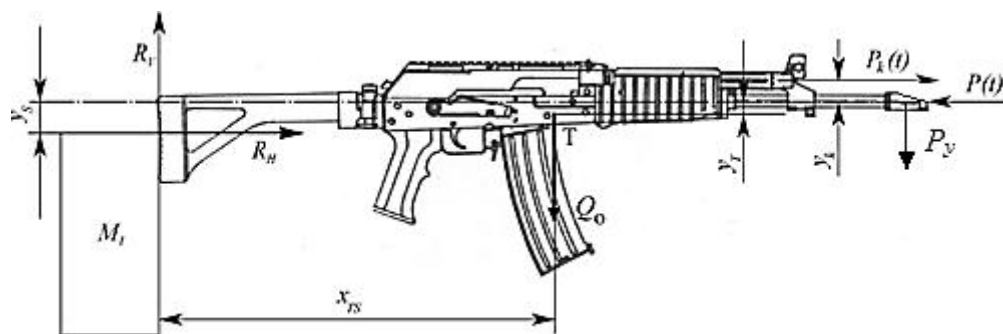
Табела 5.2. Вредности угла $\Delta\psi$ у односу на K_0 и ψ [6]

$\Delta\psi [^\circ]$	K_0	
	1	1,1
	$\psi [^\circ]$	$\psi [^\circ]$
5	81	75
10	71	62
15	61	48
20	50	36
25	38	24
30	27	13

5.2. Прорачун угаоне брзине одскока оружја ω_a и угла одскока γ

Аутоматска пушка М21 5.56 mm која ради на принципу одвођења барутних гасова приказана на слици 5.1 на којој су приказане силе које делују на оружје при гађању из стојећег положаја. На слици није приказана сила руке којом стрелац делује на оружје. Пре гађања ова сила једнака је тежини оружја, за време гађања, када на оружје делују силе притиска барутних гасова, услед чега се оружје "диже", а стрелац би морао деловати силом руке у супротном смеру. Међутим, како се

смер дејства мења тек кад почне рафал, узимајући у обзир тзв. психички секунд, може се сматрати да се у почетку рафала оружје помера само под дејством сила притиска барутних гасова и инерције тела стрелца. Како би се одредила угаона брзина одскока цеви оружја и сам угао одскока потребни су конструкциони и балистички подаци приказани на слици 5.1.



Слика 5.1. Оптерећење пушке при гађању

Угао одскока оружја при опаљењу 1 метка је према литератури [2]:

$$\gamma_1 = A \left[\left(m + \frac{1}{2} \mu \right) x_c + S_c p_u b \tau_a + F_{sr} \left(\frac{t_{uk}^2}{2} - \frac{t_a^2}{2} \right) \right] - B \frac{t_{uk}^2}{2} - C p_\Phi b \frac{\alpha}{1 + \alpha} (t_a - t_\Phi) + \omega_a (t_{uk} - t_a) \quad (21)$$

Да би се одредио угао одскока, мора се прво одредити угаона брзина ω_a :

$$\omega_a = A \left(m V_o + \frac{1}{2} \mu V_o + S_c p_u b \right) - B t_a - C p_\Phi b \frac{\alpha}{1 + \alpha}, \quad (22)$$

при чему су [2]:

$$A = \frac{y_T M_o + y_S M_1}{(I_c + x_{TS}^2 M_o)(M_o + M_1) + M_o M_1 (y_S - y_T)^2} \quad (23)$$

$$B = \frac{x_{TS} Q_o (M_o + M_1)}{(I_c + x_{TS}^2 M_o)(M_o + M_1) + M_o M_1 (y_S - y_T)^2} \quad (24)$$

$$C = \frac{y_k M_o + M_1 (y_k + y_S - y_T)}{(I_c + x_{TS}^2 M_o)(M_o + M_1) + M_o M_1 (y_S - y_T)^2} S_k \quad (25)$$

$$M_o = \frac{Q_o}{g} = 4,077 \text{ kg}$$

$$M_1 = \frac{Q_1}{4g} = 20,3873 \text{ kg}$$

где је:

M_o – маса оружја,

M_1 – део укупне масе стрелца, која се трза заједно са оружјем према Мекон Фрају (Масон Fry), при гађању из стојећег става.

Табела 5.3. Подаци потребни за прорачун [6]

Величина	Ознака	АП М21 5,56 mm	Јединица
Сила тежине оружја	Q_o	40	N
Сила тежине стрелца	Q_1	200	N
Момент инерције оружја у односу на тежиште	I_c	4	kgm^2
Маса пројектила	m	0.00395	kg
Маса барутног пуњења	μ	0.00157	kg
Почетна брзина пројектила	V_o	952	m/s
Притисак на устима цеви	p_u	68900000	N/m^2
Притисак на отвору за позајмицу б/г	p_Φ	91300000	N/m^2
Време када пројектил стигне до отвора за позајмицу б/г	t_ϕ	0,0075	s
Брзина гађања (теоријска)	n	10	$metaka/s$
Вертикално растојање између осе цеви и тежишта оружја	y_T	0,02	m
Вертикално растојање између осе цеви и центра масе оружја	y_S	0,066	m
Хоризонтално растојање између тежишта оружја и тачке ослона кундака и рамена	x_{TS}	0,475	m
Вертикално растојање између осе цеви и осе цилиндра гасног повратника	y_k	0,0243	m
Површина барутне коморе	S_k	0,000135	m^2
Конструктивна карактеристика ГУ	α	1.675	$/$
Средња вредност силе	F_{sr}	40	N
Дужина водишта пројектила	x_c	0,42	m

У табели 5.3 су приказани потребни подаци за прорачунавање угла одскока оружја и угаоне брзине.

Уношењем датих вредности из табеле 5.3 у изразе (23), (24) и (25) добијају се константе угаоне брзине (22).

На основу добијене угаоне брзине, може се одредити време између два опаљења:

$$t_{uk} = \frac{(AF_{sr} - B)t_a - \omega_a}{AF_{sr} - B} \quad (26)$$

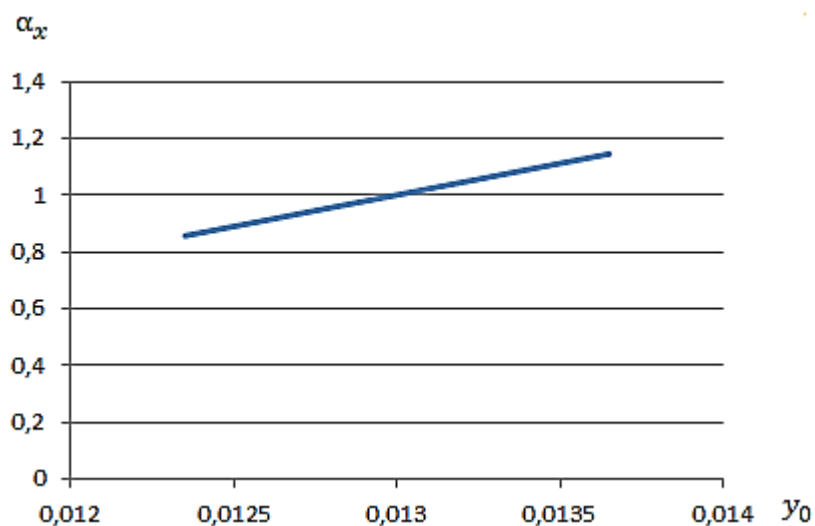
где је:

$t_a = \tau_a + t_1 = 0,003874 \text{ s}$ – време завршетка дејства барутних гасова.

Утицајни параметри који фигуришу у изразима за α_x и α_y варирани су у дијапазону ($\pm 5\%$). Варирање параметра (y_0, y_1, x_1, y_2) за 1% не утиче на промену конструктивних величина компензатора, дато у табели 5.4.

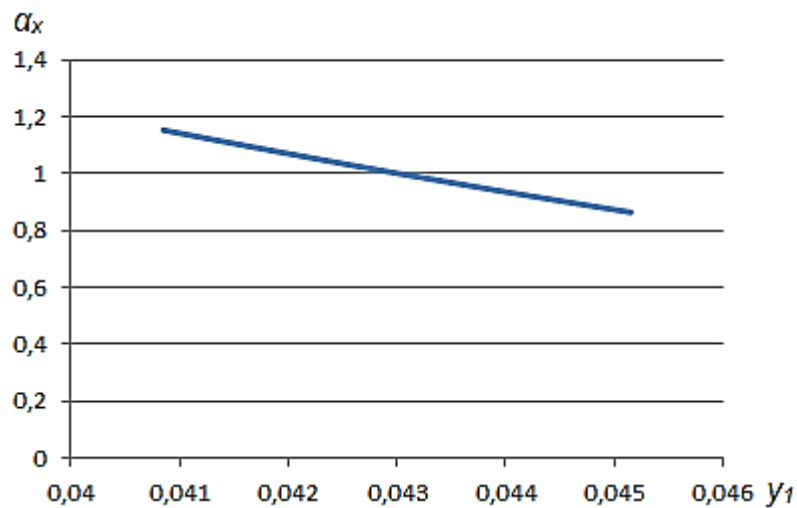
Табела 5.4. Утицајни параметри варирани у дијапазону ($\pm 5\%$)

вредност	y_0	y_1	x_1	y_2	α_x	α_y
105%	0,01365	0,04515	0,546	0,0588	1,001308	0,310252
104%	0,01352	0,04472	0,5408	0,05824	1,001308	0,310252
103%	0,01339	0,04429	0,5356	0,05768	1,001308	0,310252
102%	0,01326	0,04386	0,5304	0,05712	1,001308	0,310252
101%	0,01313	0,04343	0,5252	0,05656	1,001308	0,310252
100%	0,013	0,043	0,52	0,056	1,001308	0,310252
99%	0,01287	0,04257	0,5148	0,05544	1,001308	0,310252
98%	0,01274	0,04214	0,5096	0,05488	1,001308	0,310252
97%	0,01261	0,04171	0,5044	0,05432	1,001308	0,310252
96%	0,01248	0,04128	0,4992	0,05376	1,001308	0,310252
95%	0,01235	0,04085	0,494	0,0532	1,001308	0,310252



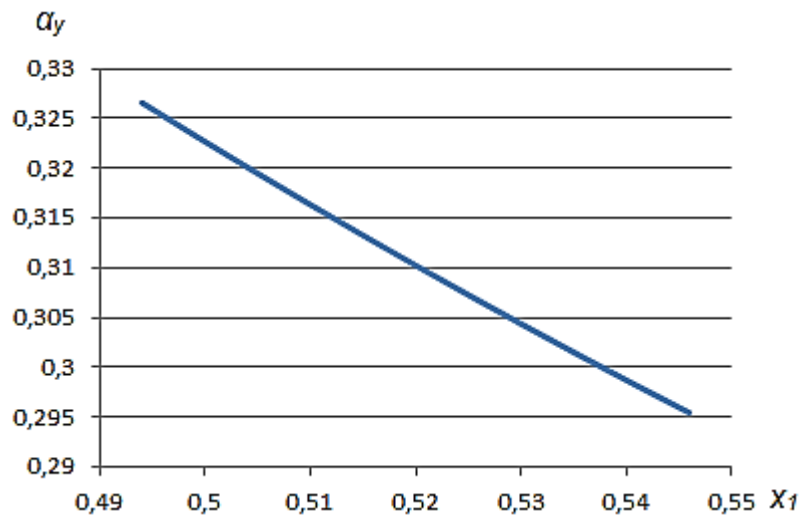
Слика 5.2. Зависност α_x од y_0

На слици 5.2 дата је зависност α_x (конструктивна карактеристика компензатора) од y_0 (положај центра масе оружја од осе канала цеви). У изразу за α_x где фигуришу два утицајна параметра (y_0 и y_1), у дијапазону ($\pm 5\%$) варирана је геометријска карактеристика y_0 док је $y_1 = \text{const}$, и обрнуто (слика 5.3).

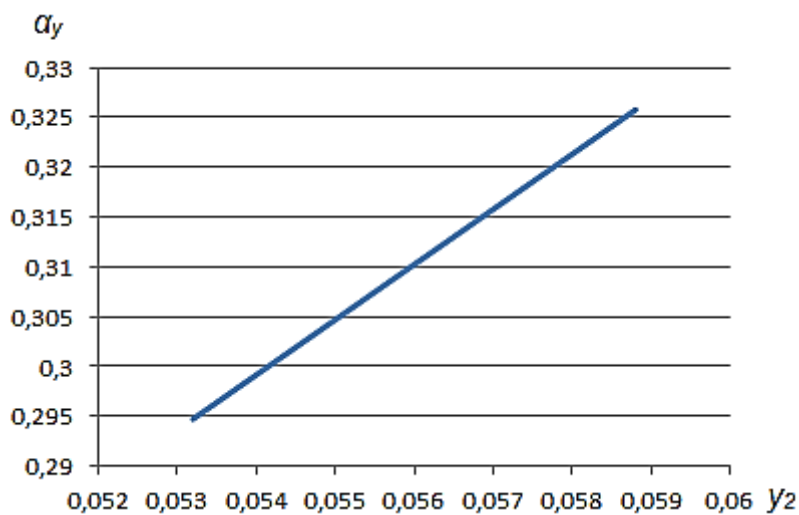


Слика 5.3. Зависност α_x од y_1

Зависност α_y од x_1 (положај центра масе оружја од уста цеви са компензатором) приказана је на слици 5.4. Геометријска карактеристика x_1 је варирана ($\pm 5\%$) а $y_2 = \text{const.}$ и обрнуто, слика 5.5.



Слика 5.4. Зависност α_y од x_1

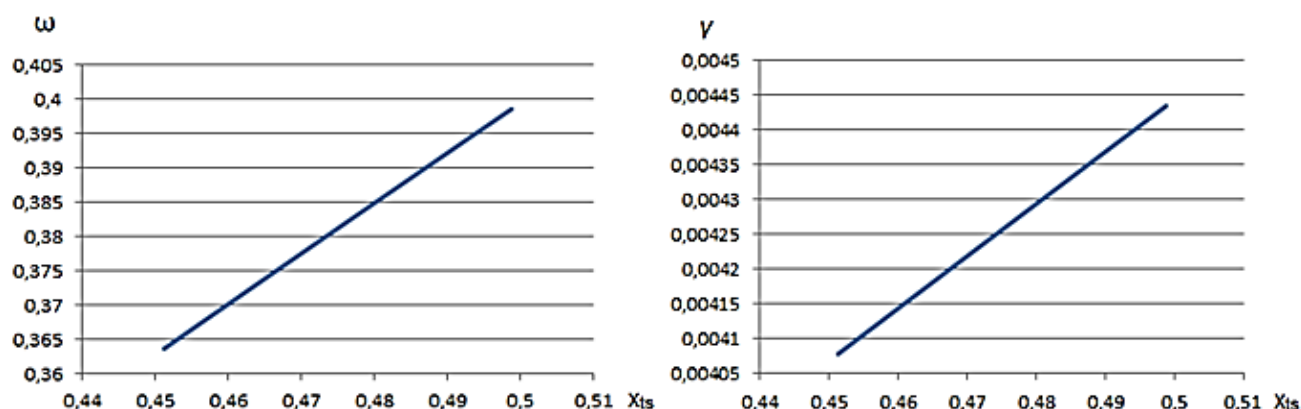


Слика 5.5. Зависност α_y од y_2

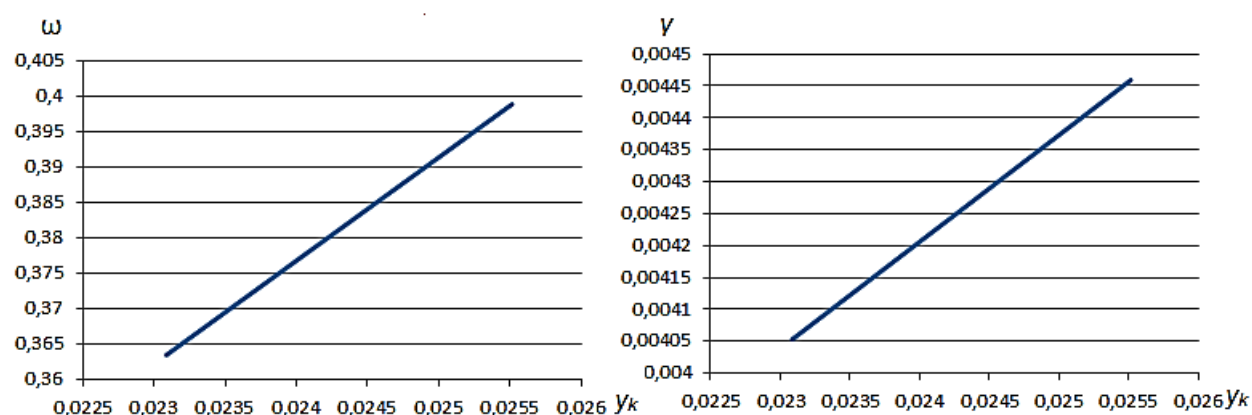
Табела 5.5. Промена ω и γ у зависности од утицајних параметара

y_t	y_s	y_k	x_{ts}	A	B	C	ω	γ	$\gamma [']$
0,021	0,0693	0,0255	0,4987	0,01219	3,9723	2,213E-06	0,41056	0,00459	15,7799
0,0208	0,0686	0,0252	0,494	0,01212	3,94978	2,192E-06	0,40459	0,00452	15,5467
0,0206	0,0679	0,0250	0,4892	0,01205	3,92686	2,171E-06	0,39867	0,00445	15,3152
0,0204	0,0673	0,0247	0,4845	0,01198	3,90363	2,150E-06	0,39278	0,00438	15,0855
0,0202	0,066	0,0245	0,4797	0,01191	3,88006	2,129E-06	0,38695	0,00432	14,8575
0,02	0,066	0,024	0,475	0,01183	3,85618	2,108E-06	0,38115	0,00425	14,6312
0,0198	0,0653	0,0240	0,4702	0,01176	3,83197	2,087E-06	0,37540	0,00419	14,4068
0,0196	0,0646	0,0238	0,4655	0,01168	3,80743	2,066E-06	0,36969	0,00412	14,1841
0,0194	0,0640	0,0235	0,4607	0,01161	3,78256	2,045E-06	0,36403	0,00406	13,9631
0,0192	0,0633	0,0233	0,456	0,01153	3,75736	2,024E-06	0,35841	0,00399	13,7440
0,019	0,0627	0,0230	0,4512	0,01145	3,73184	2,003E-06	0,35284	0,00393	13,5266

У табели 5.5 приказана је промена угаоне брзине и угла одскока оружја где се може уочити раст обе величине од -5% до +5%, са варираним утицајним параметрима у већ поменутом дијапазону.

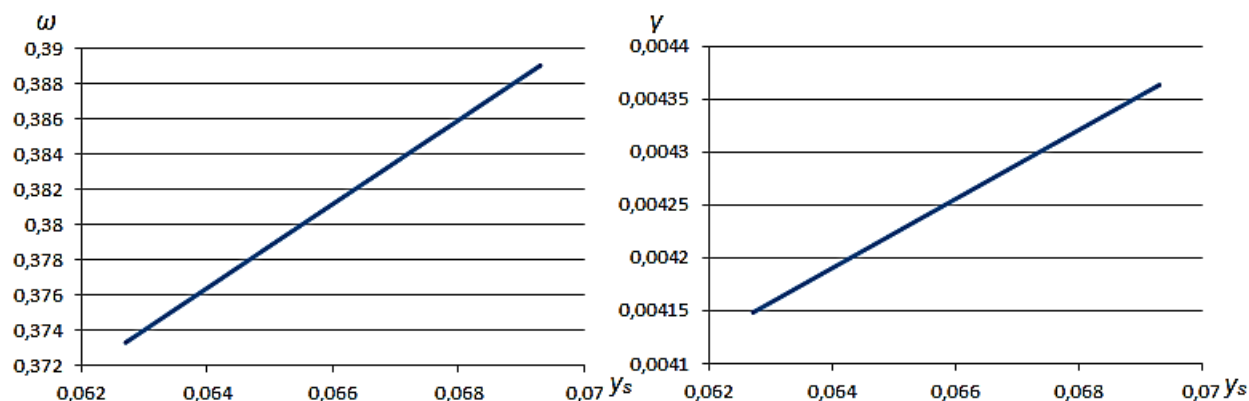


Слика 5.6. Зависност ω и γ од x_{ts}

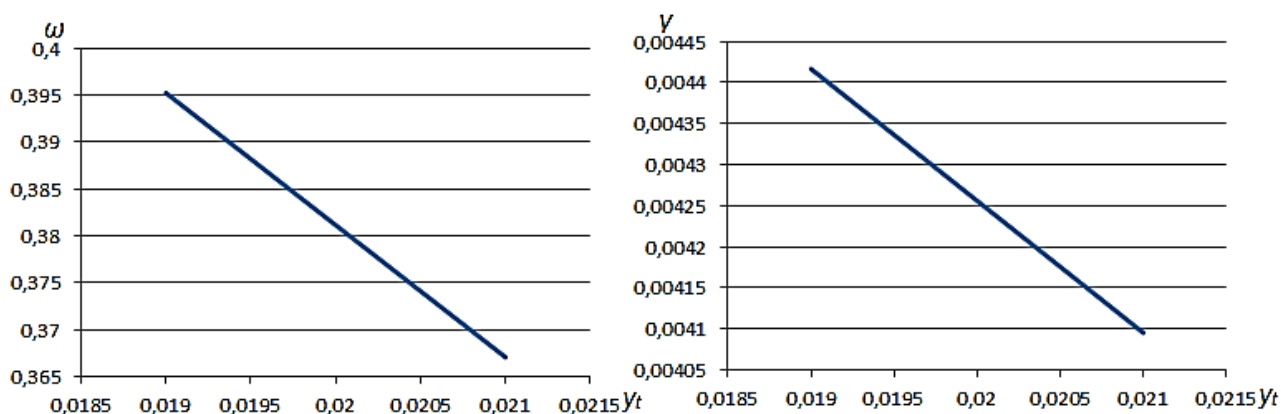


Слика 5.7. Зависност ω и γ од y_k

На сликама 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 приказане су зависности ω и γ у односу на x_{ts} , y_k , y_s и y_t . Зависност угаоне брзине и угла одскока оружја у односу на хоризонтално растојање између тежишта оружја и тачке ослоња кундака и рамена (x_{ts}), вертикално растојање између осе цеви и осе цилиндра гасног повратника (y_k) и вертикално растојање између осе цеви и центра масе оружја (y_s), је таква да се са повећањем ових геометријских величина повећавају и ω и γ . Међутим, циљ је минимизирати угаону брзину и угао одскока оружја што се постиже са повећањем вертикалног растојања између осе цеви и тежишта оружја (y_t).



Слика 5.8. Зависност ω и γ од y_s



Слика 5.8. Зависност ω и γ од y_t

С' обзиром на то да АП 5.56 mm М21 гађа рафалном паљбом према литератури [2], укупан одскок оружја при испаленом рафалу од N метака биће:

$$\gamma_N = N \gamma_1$$

Тако да ће при гађању рафалом од четири метка укупна ротација бити:

$$\gamma_N = 4 \cdot 14,63' = 58,52'.$$

6. ЗАКЉУЧАК

У овом раду разматране су конструктивне шеме компензатора са детаљнијом анализом компензатора косог пресека. Дат је математички модел за нумеричко решавање релевантних карактеристика и параметара компензатора косог пресека.

Пошто се центар масе оружја и правац реакције ослоња стрелца не поклапају са осом канала цеви, долази до закретања оружја у вертикалној равни гађања. Закретање оружја изазива отклон осе цеви од правца нишањења за угао (γ), према томе ради стабилизације оружја у равни гађања, поред одређивања угловног положаја цеви оружја одређене су силе компензатора $P_x = 1,7 \text{ kN}$ и $P_y = 0,86 \text{ kN}$ (за АП 5.56 mm M21 са компензатором косог пресека).

Дефинисане су конструктивне карактеристике компензатора $\alpha_x=1,001$, $\alpha_y=0,3102$. Варирањем утицајних параметара од -5% до +5% табеларно и графички дата је промена α_x и α_y .

Угаона брзина и угао одскока оружја, за изабрани модел аутоматског оружја и тип компензатора, уз услов $\gamma_n = \min$ и $\Omega_n = \min$, износе $\gamma_1 = 13,5266'$ и $\omega_a = 0,35284$. Графички је представљена промена γ_1 и ω_a , у зависности од геометријских карактеристика. С' обзиром на то добијено је да се обе величине смањују са повећањем вертикалног растојања између осе цеви и тежишта оружја (y_t).

За даље истраживање како би се проблем решио у целини може се разматрати угао компензатора ψ , коса површина и утицајне криве површине компензатора на одсочни угао пушке.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Зоран Ристић: Конструкција аутоматског наоружања, скрипта Бг. – Кг. 2014. године
- [2] Маринко Петровић: Механика аутоматског оружја, Београд, 2007. године
- [3] Зоран Ристић: Конструкција аутоматског наоружања, (писани материјал, Кг. 2014. године
- [4] Б. В. Орлов: Проектирование ракетних и стволних систем, Машиностроение, Москва, 1974. године
- [5] <http://bookre.org/reader?file=614643&pg=127>, интернет публикације, јун 2014. године
- [6] Стајић Игор: Дипломски рад, ВА Београд, 2013. године