



Model matematyczny podrzutu broni działającej na zasadzie odprowadzenia gazów

Zbigniew SURMA, Łukasz SZMIT, Stanisław TORECKI,
Ryszard WOŹNIAK

*Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki, Instytut Techniki Uzbrojenia,
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa*

Streszczenie. W pracy przedstawiono model fizyczny i matematyczny podrzutu broni automatycznej działającej na zasadzie odprowadzenia gazów prochowych, w czasie jednego cyklu strzału. W modelu uwzględniono okresy charakterystyczne wynikające z wykresu cyklicznego działania automatyki rozpatrywanego układu. Przedstawiony szczegółowy model matematyczny może być podstawą symulacji zjawiska oraz analizy wpływu parametrów konstrukcyjnych broni na prędkość kątową i kąt podrzutu.

Słowa kluczowe: mechanika, balistyka, broń strzelecka, odrzut, podrzut

1. WSTĘP

Podrzut, towarzyszący wystrzałowi z broni palnej, polega na obrocie broni w płaszczyźnie pionowej wokół środka masy lub punktu podparcia. Przyczyną podrzutu jest to, że środek masy lub punkt podparcia broni nie leżą na osi sił powodujących odrzut. Podrzut broni powoduje między innymi zwiększenie rozrzutu, zwłaszcza przy strzelaniu ogniem ciągłym, a w przypadku ręcznej broni strzeleckiej może też powodować utratę kontroli nad bronią, a nawet obrażenia strzelającego.

Na intensywność podrzutu, oprócz właściwości balistycznych broni, wpływ mają jej wymiary, moment bezwładności oraz usytuowanie osi lufy względem

osi obrotu i komory gazowej względem lufy, a także działanie mechanizmów automatyki.

Podrzut broni jest zjawiskiem dotychczas słabo zbadanym. Poniżej przedstawiony zostanie szczegółowy model matematyczny podrzutu na przykładzie modelu fizycznego 5,56 mm karabinka automatycznego działającego na zasadzie odprowadzenia gazów prochowych, z krótkim ruchem tłoka gazowego.

2. MODEL FIZYCZNY PODRZUTU BRONI PODCZAS STRZAŁU

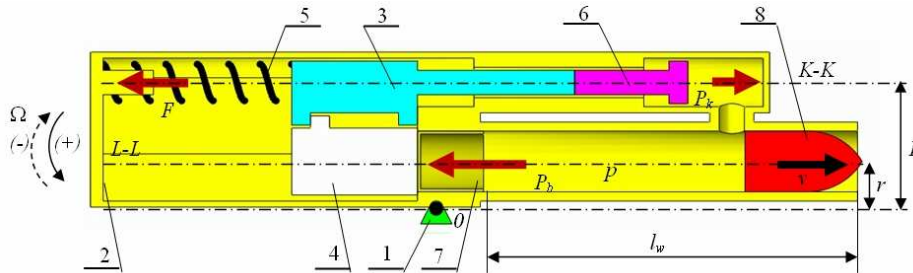
Model fizyczny podrzutu przedstawiono na rys. 1. Rozpatrywać będziemy obrót broni działającej na zasadzie odprowadzenia gazów prochowych, z krótkim ruchem tłoka gazowego, względem punktu „ O ” przy pierwszym strzale pod wpływem:

$M = P_b \cdot r$ – momentu siły P_b ciśnienia gazów prochowych, działającej na dno przewodu lufy,

$M_x = N_x \cdot r$ – momentu siły N_x , będącej efektem działania pocisku na bruzdy przewodu lufy (nazywanej dalej oporem bruzd),

$M_k = P_k \cdot R$ – momentu siły P_k ciśnienia gazów prochowych, działającej na powierzchnię czołową komory gazowej,

$M_F = F \cdot R$ – momentu siły F sprężyny powrotnej.



Rys. 1. Model fizyczny układu w chwili minięcia przez pocisk otworu gazowego:

- 1 – podpora, 2 – zespół lufa – komora zamkowa, 3 – suwadło, 4 – zamek,
5 – sprężyna powrotna, 6 – tłok gazowy, 7 – łuska, 8 – pocisk

Fig. 1. Physical model of system at the moment of gas port passing by projectile

- 1 – bearing, 2 – barrel-gas chamber set, 3 – slide, 4 – bolt, 5 – recoil spring,
6 – gas piston, 7 – cartridge case, 8 – projectile

O – punkt obrotu broni,

F – siła sprężyny powrotnej,

$K-K$ – oś komory gazowej i sprężyny powrotnej,

$L-L$ – oś przewodu lufy,

l_w – długość części prowadzącej przewodu lufy,

- p – ciśnienie gazów prochowych w przewodzie lufy,
- P_k – siła ciśnienia gazów prochowych, działająca na powierzchnię czołową komory gazowej,
- P_b – siła ciśnienia gazów prochowych, działająca na dno lufy,
- r – odległość osi przewodu lufy od punktu podparcia broni,
- R – odległość osi komory gazowej i sprężyny powrotnej od punktu podparcia broni,
- v – prędkość pocisku,
- Ω – prędkość kątowna podrzutu.

Obrót broni przeciwny do ruchu wskazówek zegara będziemy umownie traktowali jako dodatni (podrzut) i odwrotnie (podrzut ujemny). Zgodnie z wykresem cyklicznym podrzut (obrot) podzielimy na siedem charakterystycznych okresów:

- okres I – od chwili $t_0 = 0$ rozpoczęcia ruchu przez pocisk do chwili t_g minięcia przez pocisk otworu gazowego,
- okres II – od chwili t_g do chwili t_w wylotu pocisku z lufy,
- okres III – od chwili t_w do chwili t_k zatrzymania tłoka gazowego,
- okres IV – od chwili t_k do chwili t_z przyłączenia zamka do suwadła,
- okres V – od chwili t_z do chwili t_t dotarcia zespołu suwadła w skrajnie tylne położenie,
- okres VI – od chwili t_t do chwili t_r uderzenia zamka o lufę,
- okres VII – od chwili t_r do chwili t_p dojścia suwadła w skrajnie przednie położenie.

W rozpatrywanym układzie pominięte zostanie tarcie zespołu suwadła oraz łuski. Podstawą analiz będą wykresy ciśnienia w lufie i w komorze gazowej oraz drogi suwadła w funkcji czasu, otrzymane z symulacji, przeprowadzonej w pracy [1], a także wykres cykliczny pracy automatyki karabinka. W modelu pominięte zostaną zmiany momentu bezwładności broni, powodowane zmianami położenia części ruchomych.

3. MODEL MATEMATYCZNY PODRZUTU BRONI W CZASIE STRZAŁU

W równaniach modelu matematycznego zastosowano symbole:

- d – kaliber,
- F – siła ściskanej sprężyny powrotnej,
- I – moment bezwładności broni względem osi przechodzącej przez punkt podparcia broni,
- k – sztywność sprężyny powrotnej,
- l – droga pocisku w lufie,
- l_g – droga pocisku w lufie, od początku ruchu, do otworu gazowego,
- L_s – droga suwadła,

l_w	– całkowita droga pocisku w lufie,
M_I-M_{VII}	– moment powodujący podrzut broni w poszczególnych okresach,
m	– masa pocisku,
M_L	– moment sił P_b i N_x działających w osi lufy,
m_i	– masa łuski,
m_n	– masa naboju,
m_s	– masa suwadła i 1/3 masy sprężyny powrotnej,
m_t	– masa tłoka gazowego,
m_z	– masa zamka,
N_x	– siła oporu bruzd,
p	– ciśnienie w lufie,
p_k	– ciśnienie w komorze gazowej,
P_b	– siła działająca na dno lufy,
P_k	– siła działająca na powierzchnię czołową komory gazowej,
P_t	– siła działająca na powierzchnię czołową tłoka gazowego,
r	– odległość osi przewodu lufy od punktu podparcia broni,
R	– odległość osi komory gazowej od punktu podparcia broni,
s	– powierzchnia przekroju poprzecznego przewodu lufy,
S_k	– powierzchnia przedniej ścianki komory gazowej,
t_0	– początek ruchu pocisku w lufie,
t_g	– czas od początku ruchu pocisku w lufie, do chwili minięcia przez pocisk otworu gazowego,
t_k	– czas od początku ruchu pocisku w lufie, do chwili zatrzymania tłoka gazowego,
t_p	– czas od początku ruchu pocisku w lufie, do chwili powrotu suwadła w przednie położenie,
t_r	– czas od początku ruchu pocisku w lufie, do chwili rozłączenia zamka z suwadłem,
t_t	– czas od początku ruchu pocisku w lufie, do chwili osiągnięcia przez suwadło skrajnie tylnego położenia,
t_w	– czas od początku ruchu pocisku w lufie, do chwili wylotu pocisku z lufy,
t_z	– czas od początku ruchu pocisku w lufie, do chwili przyłączenia zamka do suwadła,
v_g	– prędkość pocisku w chwili mijania otworu gazowego,
V_k	– prędkość suwadła w chwili zatrzymania tłoka gazowego,
V_p	– prędkość suwadła w chwili powrotu suwadła w przednie położenie,
V_r	– prędkość suwadła w chwili rozłączenia zamka z suwadłem,
V_t	– prędkość suwadła w chwili osiągnięcia przez suwadło skrajnie tylnego położenia,
V_t'	– prędkość suwadła po odbiciu,
x_0	– prędkość pocisku w chwili mijania otworu gazowego,

- α – kąt pochylenia bruzd,
- $\gamma_I - \gamma_{VII}$ – kąt podrzutu (obrotu) w poszczególnych okresach,
- γ_g – kąt podrzutu (obrotu) w chwili minięcia przez pocisk otworu gazowego,
- γ_k – kąt podrzutu (obrotu) w chwili zatrzymania tłoka gazowego,
- γ_p – kąt podrzutu (obrotu) w chwili powrotu suwadła w przednie położenie,
- γ_r – kąt podrzutu (obrotu) w chwili rozłączenia zamka z suwadłem,
- γ_t – kąt podrzutu (obrotu) w chwili osiągnięcia przez suwadło skrajnie tylnego położenia,
- γ_w – kąt podrzutu (obrotu) w chwili wylotu pocisku z lufy,
- γ_z – kąt podrzutu (obrotu) w chwili przyłączenia zamka do suwadła,
- λ – współczynnik zależny od rodzaju pocisku (dla pocisków strzeleckich $\lambda = 0,48$),
- μ – współczynnik tarcia między pociskiem a przewodem lufy,
- $\Omega_I - \Omega_{VII}$ – prędkość podrzutu w poszczególnych okresach,
- Ω_g – prędkość podrzutu w chwili minięcia przez pocisk otworu gazowego,
- Ω_k – prędkość podrzutu w chwili zatrzymania tłoka gazowego,
- Ω_k' – prędkość podrzutu po zatrzymaniu tłoka gazowego,
- Ω_p – prędkość podrzutu w chwili powrotu suwadła w przednie położenie,
- Ω_r – prędkość podrzutu w chwili rozłączenia zamka z suwadłem,
- Ω_r' – prędkość podrzutu po uderzeniu zamka w tylny płask lufy,
- Ω_t – prędkość podrzutu w chwili osiągnięcia przez suwadło skrajnie tylnego położenia,
- Ω_t' – prędkość podrzutu po odbiciu suwadła,
- Ω_w – prędkość podrzutu w chwili wylotu pocisku z lufy,
- Ω_z – prędkość podrzutu w chwili przyłączenia zamka do suwadła.

W okresie I na broń działa siła ciśnienia gazów prochowych na dno lufy P_b :

$$P_b = sp \quad (1)$$

oraz przeciwnie do niej skierowana siła oporu bruzd N_x

$$N_x = \lambda (\mu tg \alpha + tg^2 \alpha) sp \quad (2)$$

Efektom działania tych sił jest moment powodujący obrót broni:

$$M_I = r [1 - \lambda (\mu tg \alpha + tg^2 \alpha)] sp \quad (3)$$

Równanie ruchu podzucanego (obracanego) zespołu możemy zatem napisać w postaci:

$$I \frac{d\Omega_I}{dt} = r[1 - \lambda(\mu t g \alpha + t g^2 \alpha)] s p \quad (4)$$

Całkując równanie (4), otrzymujemy prędkość kątową podrzutu w okresie I:

$$\Omega_I = \frac{r}{I} [1 - \lambda(\mu t g \alpha + t g^2 \alpha)] s \int_{t_0}^t p dt \quad (5)$$

oraz kąt obrotu broni γ_g :

$$\gamma_I(t) = \int_{t_0}^t \Omega_I dt = \frac{r}{I} [1 - \lambda(\mu t g \alpha + t g^2 \alpha)] s \int_{t_0}^t \left(\int_{t_0}^t p dt \right) dt = \frac{r}{I} [1 - \lambda(\mu t g \alpha + t g^2 \alpha)] m l \quad (6)$$

W szczególności dla końca okresu I (chwila minięcia przez pocisk otworu gazowego) otrzymamy prędkość Ω_g oraz kąt γ_g podrzutu:

$$\Omega_g = \frac{r}{I} [1 - \lambda(\mu t g \alpha + t g^2 \alpha)] s \int_{t_0}^{t_g} p dt = \frac{r}{I} [1 - \lambda(\mu t g \alpha + t g^2 \alpha)] m v_g \quad (7)$$

$$\gamma_g = \int_{t_0}^{t_g} \Omega_I dt = \frac{r}{I} [1 - \lambda(\mu t g \alpha + t g^2 \alpha)] s \int_{t_0}^{t_g} \left(\int_{t_0}^t p dt \right) dt = \frac{r}{I} [1 - \lambda(\mu t g \alpha + t g^2 \alpha)] m l_g \quad (8)$$

Należy tu zauważyć, że w zależności od położenia punktu obrotu O względem osi lufy, ramię r działania siły P_b może być dodatnie, ujemne lub równe zero, a mianowicie:

- jeśli punkt obrotu O znajduje się poniżej osi lufy, to $r > 0$ oraz $\Omega > 0$, czyli broń będzie obracana przeciwnie do ruchu wskazówek zegara,
- jeśli punkt obrotu O jest umieszczony na osi lufy, to $r = 0$ oraz $\Omega = 0$, czyli obrotu (podrzutu) broni nie będzie,
- jeśli punkt obrotu O będzie położony powyżej osi przewodu lufy, to $r < 0$ oraz $\Omega < 0$, czyli otrzymamy wówczas „podrzut ujemny” (obrót broni zgodny z ruchem wskazówek zegara).

W okresie II na broń działają: siła P_b ciśnienia gazów prochowych na dno lufy, siła F ściskanej sprężyny powrotnej, siła N_x oporu bruzd i siła P_k ciśnienia na powierzchnię czołową komory gazowej. Moment sił powodujący podrzut broni w okresie II będzie zatem sumą:

$$M_{II} = P_b r - N_x r - P_k R + FR = (P_b - N_x) r - P_k R + FR \quad (9)$$

gdzie:

$$P_b = s p$$

$$N_x = \lambda(\mu t g \alpha + t g^2 \alpha) s p$$

$$P_k = S_k p_k$$

$$F = k(L_s + x_0)$$

W wyniku całkowania (9) otrzymamy:

$$\Omega_{II} = \Omega_g + \frac{r}{I} \left[1 - \lambda(\mu t g \alpha + t g^2 \alpha) \right] s \int_{t_g}^t p dt - \frac{R}{I} S_k \int_{t_g}^t p_k dt + \frac{R}{I} k \int_{t_g}^t (L_s + x_0) dt \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \gamma_{II} = & \int_{t_0}^t \Omega dt = \gamma_g + \Omega_g (t - t_g) + \frac{r}{I} \left[1 - \lambda(\mu t g \alpha + t g^2 \alpha) \right] s \left(\int_{t_g}^t \int_{t_g}^t p dt \right) dt - \frac{R}{I} S_k \left(\int_{t_g}^t \int_{t_g}^t p_k dt \right) dt + \\ & + \frac{R}{I} k \left(\int_{t_g}^t \int_{t_g}^t (L_s + x_0) dt \right) dt \end{aligned} \quad (11)$$

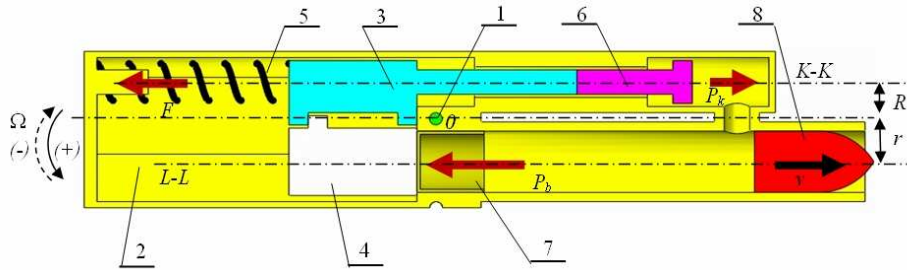
oraz dla końca okresu II:

$$\Omega_w = \Omega_g + \frac{r}{I} \left[1 - \lambda(\mu t_w g \alpha + t_w g^2 \alpha) \right] s \int_{t_g}^{t_w} p dt - \frac{R}{I} S_k \int_{t_g}^{t_w} p_k dt + \frac{R}{I} \int_{t_g}^{t_w} (L_s + x_0) dt \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \gamma_w = & \int_{t_0}^{t_w} \Omega dt = \gamma_g + \Omega_g (t_w - t_g) + \frac{r}{I} \left[1 - \lambda(\mu t_w g \alpha + t_w g^2 \alpha) \right] s \left(\int_{t_g}^{t_w} \int_{t_g}^{t_w} p dt \right) dt - \frac{R}{I} S_k \left(\int_{t_g}^{t_w} \int_{t_g}^{t_w} p_k dt \right) dt + \\ & + \frac{R}{I} k \left(\int_{t_g}^{t_w} \int_{t_g}^{t_w} (L_s + x_0) dt \right) dt \end{aligned} \quad (13)$$

Znaki (+ lub -) poszczególnych momentów będą zależały od położenia osi obrotu O , a ich wartości (bezwzględne) odpowiednio od iloczynów rs , RS_k i RF . Należy ponadto zauważyć, że moment M_F jest zwykle mały (praktycznie pomijalny) w porównaniu z momentami M_L i M_K w rozpatrywanym okresie II, a zwłaszcza w dominującej jego części początkowej. Biorąc powyższe pod uwagę, rozpatrzmy kilka charakterystycznych przypadków:

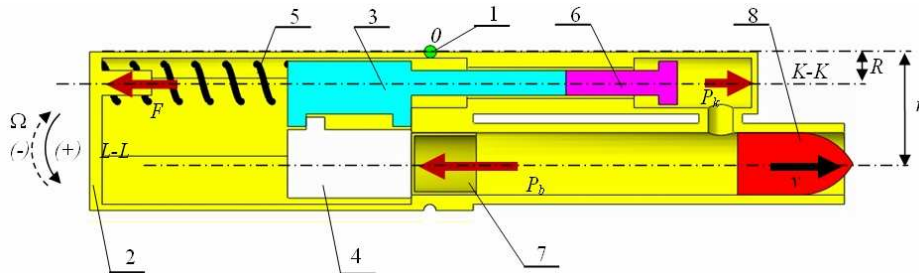
- a) punkt obrotu O położony jest poniżej osi $L-L$ lufy. W tym przypadku: $M_L > 0$, $M_K < 0$ i $M_F > 0$. Rozpędzony wstępnie (w okresie I) do prędkości kątowej $\Omega_g > 0$ układ w okresie II będzie początkowo hamowany, następnie może się nawet obracać w kierunku przeciwnym do obrotu (podrzutu) w okresie I;
- b) punkt obrotu O położony jest na wysokości osi $L-L$ lufy. W tym przypadku: $M_L = 0$, $M_K < 0$ i $M_F > 0$. Broń zaczyna się obracać w chwili t_g zgodnie z ruchem wskazówek zegara pod wpływem ujemnego momentu M_K z niewielkim hamowaniem tego ruchu dodatnim momentem M_F ;
- c) punkt obrotu O położony jest pomiędzy osią $L-L$ lufy a osią $K-K$ komory gazowej. W tym przypadku: $M_L < 0$, $M_K < 0$ i $M_F > 0$. Zapoczątkowany w okresie I podrzut ujemny będzie w okresie II intensyfikowany sumą ujemnych momentów $(M_L + M_K) < 0$ z niewielkim hamowaniem dodatnim momentem M_F ;



Rys. 2. Model fizyczny układu, w którym punkt obrotu O broni jest położony pomiędzy osiami $K-K$ i $L-L$: 1 – podpora (oś obrotu broni), 2 – zespół lufa – komora zamkowa, 3 – suwadło, 4 – zamek, 5 – sprężyna powrotna, 6 – tłok gazowy, 7 – łuska, 8 – pocisk

Fig. 2. Physical model of system, where weapon pivoting point O is placed between axis $K-K$ and $L-L$: 1 – bearing (weapon pivoting point), 2 – barrel-gas chamber set, 3 – slide, 4 – bolt, 5 – recoil spring, 6 – gas piston, 7 – cartridge case, 8 – projectile

- d) jeśli punkt obrotu O położony jest na osi $K-K$ komory gazowej, to: $M_L < 0$, $M_K = 0$ i $M_F = 0$. Zarówno w okresie I, jak i okresie II wystąpi podrzut ujemny, podobnie jak w broni nieautomatycznej, obracającej się względem punktu położonego powyżej osi $L-L$ lufy;
- e) jeśli punkt obrotu O jest położony powyżej osi $K-K$ (rys. 3), to: $M_L < 0$, $M_K > 0$ i $M_F < 0$. Podrzut ujemny z okresu I będzie dodatkowo intensyfikowany sumą ujemnych momentów $(M_L + M_F) < 0$, a jednocześnie hamowany dodatnim momentem $M_K > 0$. W końcu (t_w) okresu II przeważnie zatem będzie $\Omega_w < 0$ i $\gamma_w < 0$, ale nie można też wykluczyć przypadków $\Omega_w > 0$, a nawet $\gamma_w > 0$.



Rys. 3. Model fizyczny układu, w którym punkt obrotu O broni jest położony powyżej osi $K-K$: 1 – podpora (oś obrotu broni), 2 – zespół lufa – komora zamkowa, 3 – suwadło, 4 – zamek, 5 – sprężyna powrotna, 6 – tłok gazowy, 7 – łuska, 8 – pocisk

Fig. 3. Physical model of system, where weapon pivoting point O is placed over axis $K-K$: 1 – bearing (weapon pivoting point), 2 – barrel-gas chamber set, 3 – slide, 4 – bolt, 5 – recoil spring, 6 – gas piston, 7 – cartridge case, 8 – projectile

W okresie III broń podrzucana jest siłą P_b ciśnienia gazów prochowych na dno lufy i siłą F ściskanej sprężyny powrotnej oraz hamowana siłą P_k ciśnienia działającą na powierzchnię czołową komory gazowej. Prędkość i kąt podrzutu w okresie III będą równe:

$$\Omega_{III} = \Omega_w + \frac{rs}{I} \int_{t_w}^t p dt + \frac{Rk}{I} \int_{t_w}^t (L_s + x_0) dt - \frac{RS_k}{I} \int_{t_w}^t p_k dt \quad (14)$$

$$\gamma_{III} = \int_0^t \Omega dt = \gamma_w + \Omega_w (t - t_w) + \frac{rs}{I} \int_{t_w}^t \left(\int_{t_w}^t p dt \right) dt + \frac{Rk}{I} \int_{t_w}^t \left(\int_{t_w}^t (L_s + x_0) dt \right) dt - \frac{RS_k}{I} \int_{t_w}^t \left(\int_{t_w}^t p_k dt \right) dt \quad (15)$$

W szczególności dla końca okresu III:

$$\Omega_k = \Omega_w + \frac{rs}{I} \int_{t_w}^{t_k} p dt + \frac{Rk}{I} \int_{t_w}^{t_k} (L_s + x_0) dt - \frac{RS_k}{I} \int_{t_w}^{t_k} p_k dt \quad (16)$$

$$\gamma_k = \int_0^{t_k} \Omega dt = \gamma_w + \Omega_w (t_k - t_w) + \frac{rs}{I} \int_{t_w}^{t_k} \left(\int_{t_w}^{t_k} p dt \right) dt + \frac{Rk}{I} \int_{t_w}^{t_k} \left(\int_{t_w}^{t_k} (L_s + x_0) dt \right) dt - \frac{RS_k}{I} \int_{t_w}^{t_k} \left(\int_{t_w}^{t_k} p_k dt \right) dt \quad (17)$$

W końcu okresu III tłok gazowy zatrzymuje się, przekazując swoją energię zespołowi broni. W związku z tym zwiększy się prędkość podrzutu. W celu wyznaczenia prędkości Ω_k' obrotu broni po zderzeniu posłużymy się równaniem zachowania pędu:

$$\Omega_k' = \frac{m_t V_k R + I \Omega_k}{I} \quad (18)$$

W okresie IV broń podrzucana jest siłą P_b ciśnienia gazów prochowych działającą na dno lufy i siłą F ściskanej sprężyny powrotnej. Siła P_k ciśnienia działająca na powierzchnię czołową komory gazowej będzie natomiast równoważona przez równą co do wartości, lecz przeciwnie skierowaną siłą P_t gazów prochowych działających na powierzchnię tłoka gazowego. Prędkość i kąt podrzutu w okresie IV będą równe:

$$\Omega_{IV} = \Omega_k' + \frac{rs}{I} \int_{t_k}^t p dt + \frac{Rk}{I} \int_{t_k}^t (L_s + x_0) dt \quad (19)$$

$$\gamma_{IV} = \int_0^t \Omega dt = \gamma_k + \Omega_k' (t - t_k) + \frac{rs}{I} \int_{t_k}^t \left(\int_{t_k}^t p dt \right) dt + \frac{Rk}{I} \int_{t_k}^t \left(\int_{t_k}^t (L_s + x_0) dt \right) dt \quad (20)$$

W szczególności dla końca okresu IV podrzutu (chwila połączenia zamka z suwadłem) otrzymamy:

$$\Omega_z = \Omega_k' + \frac{rs}{I} \int_{t_k}^{t_z} p dt + \frac{Rk}{I} \int_{t_k}^{t_z} (L_s + x_0) dt \quad (21)$$

$$\gamma_z = \int_0^{t_z} \Omega dt = \gamma_k + \Omega_k' (t_z - t_k) + \frac{rs}{I} \int_{t_k}^{t_z} \left(\int_{t_k}^{t_z} p dt \right) dt + \frac{Rk}{I} \int_{t_k}^{t_z} \left(\int_{t_k}^{t_z} (L_s + x_0) dt \right) dt \quad (22)$$

Po zakończeniu działania powylotowego gazów prochowych na broń będzie działał tylko moment M_F sprężyny powrotnej. Moment ten będzie dodatni ($M_F > 0$), gdy punkt obrotu O znajduje się poniżej osi $K-K$, a ujemny ($M_F < 0$), jeśli punkt O znajdzie się powyżej osi $K-K$ komory gazowej.

W okresie V broń podrzucana jest jedynie siłą F ściskanej sprężyny powrotnej. Prędkość i kąt podrzutu w okresie V wyniosą:

$$\Omega_V = \Omega_z + \frac{Rk}{I} \int_{t_z}^t (L_s + x_0) dt \quad (23)$$

$$\gamma_V = \int_0^t \Omega dt = \gamma_z + \Omega_z (t - t_z) + \frac{Rk}{I} \int_{t_z}^t \left(\int_{t_z}^t (L_s + x_0) dt \right) dt \quad (24)$$

Dla końca okresu V (osiągnięcia przez zespół ruchomy broni skrajnie tylnego położenia) otrzymamy:

$$\Omega_t = \Omega_z + \frac{Rk}{I} \int_{t_z}^{t_t} (L_s + x_0) dt \quad (25)$$

$$\gamma_t = \int_0^{t_t} \Omega dt = \gamma_z + \Omega_z (t_t - t_z) + \frac{Rk}{I} \int_{t_z}^{t_t} \left(\int_{t_z}^{t_t} (L_s + x_0) dt \right) dt \quad (26)$$

W końcu okresu V następuje zderzenie suwadła z komorą zamkową, a co za tym idzie zmiana prędkości. Prędkość podrzutu broni po zderzeniu wyznaczona zostanie z równania zachowania pędu:

$$\Omega_t' = \frac{(m_s + m_z)V_t R + I\Omega_t + (m_s + m_z)V_t' R}{I} \quad (27)$$

W okresie VI broń podrzucana jest jedynie siłą F ściskanej sprężyny powrotnej. Prędkość i kąt podrzutu w okresie VI wyniosą:

$$\Omega_{VI} = \Omega_t' + \frac{Rk}{I} \int_{t_i}^t (L_s + x_0) dt \quad (28)$$

$$\gamma_{VI} = \int_0^t \Omega dt = \gamma_t + \Omega_t'(t - t_i) + \frac{Rk}{I} \int_{t_i}^t \left(\int_{t_i}^t (L_s + x_0) dt \right) dt \quad (29)$$

W szczególności dla końca okresu VI podrzutu (chwila uderzenia zamka w płask lufy) otrzymamy:

$$\Omega_r = \Omega_t' + \frac{Rk}{I} \int_{t_i}^{t_r} (L_s + x_0) dt \quad (30)$$

$$\gamma_r = \int_0^{t_r} \Omega dt = \gamma_t + \Omega_t'(t_r - t_i) + \frac{Rk}{I} \int_{t_i}^{t_r} \left(\int_{t_i}^{t_r} (L_s + x_0) dt \right) dt \quad (31)$$

W końcu okresu VI następuje uderzenie zamka w płask tylny lufy. W celu wyznaczenia prędkości liniowej broni po zderzeniu posłużymy się równaniem zachowania pędu, uwzględniając to, że suwadło z zamkiem porusza się w kierunku przeciwnym do odrzucanej broni. Prędkość podrzutu po zderzeniu wyniesie:

$$\Omega_r' = \frac{I\Omega_r - (m_z + m_n)V_r r}{I} \quad (32)$$

W okresie VII broń podrzucana jest jedynie siłą F rozprężającej się sprężyny powrotnej. Prędkość i kąt podrzutu w okresie VII wyniosą:

$$\Omega_{VII} = \Omega_r' + \frac{Rk}{I} \int_{t_r}^t (L_s + x_0) dt \quad (33)$$

$$\gamma_{VII} = \int_0^t \Omega dt = \gamma_r + \Omega_r'(t - t_r) + \frac{Rk}{I} \int_{t_r}^t \left(\int_{t_r}^t (L_s + x_0) dt \right) dt \quad (34)$$

Dla końca okresu VII podrzutu (chwila uderzenia suwadła w płask lufy) otrzymamy:

$$\Omega_p = \Omega_r' + \frac{Rk}{I} \int_{t_r}^{t_p} (L_s + x_0) dt \quad (35)$$

$$\gamma_p = \int_0^{t_p} \Omega dt = \gamma_r + \Omega_r'(t_p - t_r) + \frac{Rk}{I} \int_{t_r}^{t_p} \left(\int_{t_r}^{t_p} (L_s + x_0) dt \right) dt \quad (36)$$

Po zakończeniu okresu VII następuje uderzenie suwadła w płask lufy. Prędkość końcowa podrzutu po zderzeniu Ω_p' będzie zatem równa:

$$\Omega_p' = \frac{I\Omega_p - M_s V_p R}{I} \quad (37)$$

4. WNIOSKI

1. W przypadku broni działającej na zasadzie odprowadzenia gazów prochowych przez otwór w lufie występuje moment obracający broń (względem osi przechodzącej przez punkt podparcia broni) spowodowany przez siłę ciśnienia gazów prochowych działających na przednią ścianę komory gazowej.
2. Położenie komory gazowej względem lufy broni ma istotny wpływ na podrzut broni, tłumiąc go (komora gazowa umieszczona nad lufą) lub wzmacniając (komora gazowa umieszczona pod lufą).
3. W niektórych przypadkach (punkt podparcia położony powyżej osi przewodu lufy, bardzo duży moment M_k siły działającej na powierzchnię czołową komory gazowej) możliwe jest wystąpienie podrzutu ujemnego (wylot lufy będzie poruszał się w dół).
4. Istotny wpływ na podrzut broni ma położenie punktu podparcia broni (stopki kolby lub trzewika) względem lufy i komory gazowej. Zwiększanie odległości między punktem podparcia broni a osią przewodu lufy będzie powodowało wzrost prędkości Ω podrzutu.
5. Istotny wpływ na prędkość podrzutu broni mają zderzenia części ruchomych (suwadła, tłoka gazowego) z komorą zamkową broni. W ich wyniku energia części ruchomych przekazywana jest komorze zamkowej broni, co powoduje zmianę prędkości Ω podrzutu.

*Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2010
jako projekt rozwojowy.*

LITERATURA

- [1] Leśnik G., Surma Z., Torecki S., Woźniak R., Termodynamiczny model działania broni z odprowadzeniem gazów prochowych w okresie napędzania suwadła, *Biuletyn WAT*, nr 3/2009.
- [2] Surma Z., Torecki S., Woźniak R., Podrzut broni działającej na zasadzie odprowadzenia gazów prochowych, *Materiały V Międzynarodowej Konferencji Uzbrojeniowej*, Waplewo, 6-8 października 2004, s. 983-990, 2004.
- [3] Torecki S., *Balistyka wewnętrzna*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 1980.

Mathematical Model of Gas Operated Weapon Jump

Zbigniew SURMA, Łukasz SZMIT, Stanisław TORECKI,
Ryszard WOŹNIAK

Abstract. The paper presents free jump up phenomenon of gas operated automatic small arms with short-stroke piston system. Physical and mathematical models of analysed system action have been presented too. Jump up phenomenon was divided for seven specific periods. Jump up of small arms should be maximum limited (particularly in automatic weapon) because it directly influences on direction of bullets during shooting. Jump up of the gas operated weapon depends on the placement of the gas chamber. Jump up of the weapon with gas chamber located under the barrel is incised and the weapon with gas chamber located over the barrel is decreased.

Key words: mechanics, ballistics, small arms, recoil, jump up