



**Badania wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych
na charakterystyki balistyczne i kinematyczne
automatycznej broni strzeleckiej
z odprowadzeniem gazów
Część I – Przykładowe wyniki badań teoretycznych**

Józef GACEK, Grzegorz LEŚNIK*

*Wydział Mechatroniki i Lotnictwa, Wojskowa Akademia Techniczna,
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa*

**autor korespondencyjny, e-mail: grzegorz.lesnik@wat.edu.pl*

Artykuł wpłynął do redakcji 23.12.2014. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 04.05.2015

DOI: 10.5604/20815891.1185945

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań teoretycznych wpływu wybranych parametrów „automatyki” broni, działającej na zasadzie odprowadzenia gazów prochowych, z krótkim ruchem tłoka gazowego, na jej charakterystyki balistyczne i kinematyczne. Badania teoretyczne zostały przeprowadzone z wykorzystaniem modelu symulacyjnego bazującego na zmodyfikowanym względem pracy [2] modelu matematycznym. Walidacja modelu matematycznego została oparta na przeprowadzonych dotychczas porównaniach i analizach wyników badań symulacyjnych i doświadczalnych przedstawionych m.in. w pracach [3], [4] i [5].

Słowa kluczowe: mechanika, balistyka wewnętrzna, broń automatyczna, modelowanie zjawisk dynamicznych

1. WSTĘP

Parametrami „automatyki” broni palnej, działającej na zasadzie odprowadzenia części gazów prochowych przez boczny otwór w lufie z zastosowanym krótkim ruchem tłoka gazowego, mającymi istotny wpływ na jej charakterystyki balistyczne i kinematyczne są m.in. masa suwadła, sztywność sprężyny mechanizmu powrotnego oraz odległość od powierzchni czołowej tłoka gazowego w położeniu wyjściowym do osi otworów przedmuchowych (regulująca okres napędu suwadła). Poprzez zmianę tych parametrów uzyskuje się różne przebiegi m.in. ciśnienia gazów prochowych w lufie i w komorze gazowej oraz prędkości suwadła. Na tej podstawie konstruktorzy nowoczesnej automatycznej broni palnej mogą dokonywać optymalizacji charakterystyk balistycznych i kinematycznych broni, zapewniających prowadzenie ognia w różnych warunkach strzelania (np. atmosferycznych, prowadzenia ognia z dużą intensywnością), nie powodując przy tym nadmiernego oddziaływania broni na strzelającego czy też nadmiernego zużywania się jej części i zespołów. W wyniku badań stwierdzono, że efekt taki można uzyskać na drodze odpowiedniego doboru konfiguracji rozpatrywanych parametrów konstrukcyjnych „automatyki” broni. Stąd też wiedza dotycząca wpływu tych parametrów na charakterystyki balistyczne i kinematyczne działania „automatyki” broni jest niezwykle istotna i pozwala na osiągnięcie zamierzonego celu (pod tym pojęciem rozumie się poprawnie działającą broń) mniejszym nakładem pracy.

W pracy przedstawiono model matematyczny funkcjonowania układu lufa-komora gazowa-mechanizmy broni oraz niektóre wyniki przeprowadzonych badań teoretycznych. Wyniki tych badań zostaną porównane – w przewidzianej do opublikowania części II pracy – z wynikami badań doświadczalnych, co pozwoli ocenić poprawność zaproponowanego modelu matematycznego. Praca jest kontynuacją prowadzonych dotychczas badań, zmierzających do walidacji przedstawionego w pracy [2] modelu matematycznego.

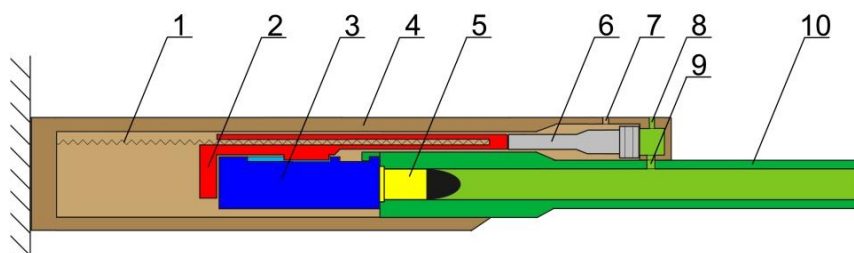
Celowość podjętej w pracy próby rozwiązania zagadnień z obszaru funkcjonowania broni z odprowadzeniem gazów można uzasadnić aktualnymi potrzebami wynikającymi z trendów rozwojowych w dziedzinie automatycznej broni strzeleckiej. Poza tym, w dostępnej literaturze – prawdopodobnie z uwagi na charakter zastosowania – brakuje opracowań zawierających szczegółowe wyniki z proponowanego w pracy zakresu badań, możliwych do wykorzystania w procesach konstrukcyjnych oraz modernizacyjnych tego rodzaju broni. Powyższe dotyczy także proponowanej metodyki badań. Dostępne i opublikowane prace, np. [6], [7] i [8], odnoszą się do nieco innych modeli fizycznych, bazują na innych modelach matematycznych i nie rozpatrują wpływu poszczególnych parametrów na charakterystyki kinematyczne i balistyczne badanej broni w omawianym w niniejszej pracy zakresie.

2. BADANIA TEORETYCZNE

2.1. Model fizyczny badanego układu

Schemat modelowanego układu miotającego przedstawiono na rysunku 1. Schemat ten odpowiada konstrukcji stanowiska laboratoryjnego [1], które zostanie wykorzystane do przeprowadzenia analogicznych badań doświadczalnych.

W skład badanego układu wchodzi: lufa, komora gazowa, tłok gazowy, zespół suwadła podparty mechanizmem powrotnym oraz zamek. Komora gazowa połączona jest z przewodem lufy otworem gazowym. Dodatkowo w komorze gazowej znajduje się otwór regulacyjny i otwór przedmuchowy.



Rys. 1. Schemat modelowanego układu broni automatycznej z odprowadzeniem części gazów prochowych przez boczny otwór w lufie, z krótkim ruchem tłoka gazowego:
 1 – mechanizm powrotny, 2 – suwadło, 3 – zamek, 4 – komora zamkowa, 5 – nabój,
 6 – tłok gazowy, 7 – otwór przedmuchowy, 8 – otwór upustowy (regulacyjny, regulator gazowy), 9 – boczny otwór w lufie (otwór gazowy), 10 – lufa

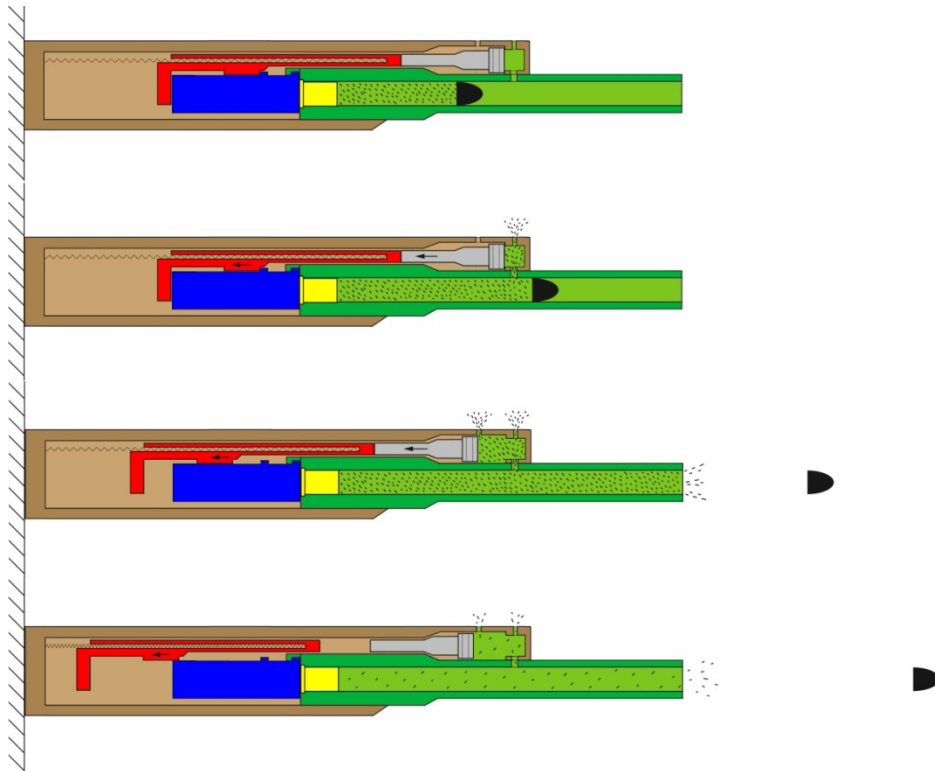
Fig. 1. Scheme of the modeled system of gas operated short stroke piston weapon:
 1 – recoil spring, 2 – slide, 3 – bolt, 4 – receiver, 5 – round, 6 – gas piston,
 7 – gas slot, 8 – gas regulator, 9 – gas hole, 10 – barrel

Po zainicjowaniu strzału spalający się ładunek miotający powoduje powstawanie gazów prochowych, które oddziałując na pocisk, powodują jego ruch w kierunku wylotu lufy. Po minięciu przez pocisk otworu gazowego, część gazów prochowych przepływa otworem gazowym do komory gazowej. Tam ciśnienie gazów prochowych, działając na powierzchnię czołową tłoka gazowego, powoduje jego ruch, a w konsekwencji również ruch zespołu suwadła.

W kolejnym okresie strzału pocisk opuszcza lufę, a gazy prochowe wypływają do otoczenia przez płask wylotowy lufy. Przemieszczający się tłok gazowy odsłania otwór przedmuchowy i zatrzymuje się, a dalszy ruch kontynuuje jedynie zespół suwadła (na tym polega istota krótkiego ruchu tłoka gazowego).

Należy zauważyć, że podczas zachodzących zjawisk mogą mieć miejsce dwa przypadki: gdy ciśnienie w komorze gazowej p_{kg} jest niższe niż ciśnienie w lufie p (przepływ gazów prochowych z lufy do komory gazowej) oraz gdy ciśnienie w komorze gazowej jest wyższe niż ciśnienie w lufie (przepływ gazów prochowych z komory gazowej do lufy). Zależy to w dużej mierze od parametrów konstrukcyjnych komory gazowej i otworów: gazowego i regulacyjnego. W przypadku pewnych konfiguracji geometrycznych ciśnienie w komorze gazowej szybko wzrasta, ruch zespołu odrzutowego (przyrost objętości komory gazowej) jest nieznaczny, wypływ z komory gazowej do otoczenia – niewielki, natomiast przyrost objętości przewodu lufy powodowany szybko przemieszczającym się pociskiem jest duży. Powyższe może spowodować, że ciśnienie wewnątrz przewodu lufy będzie spadać szybciej niż wewnątrz komory gazowej, co sprawi, że gazy prochowe przestaną przepływać z lufy do komory i rozpocznie się przepływ zwrotny z komory gazowej do lufy.

Modelowany podczas badań proces strzału dla rozpatrywanego układu wraz z towarzyszącym przepływem i wypływem gazów zobrazowano na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat modelowanego układu broni automatycznej podczas strzału

Fig. 2. Scheme of the modeled system during shot

Dla zaprezentowanego układu opracowano model matematyczny jego działania, przy założeniu adiabatyczności rozpatrywanych procesów (przemian) termodynamicznych, quasi-ustaloności wypływu (z lufy, z komory gazowej) i przepływu (między lufą i komorą gazową) gazów prochowych oraz sztywności elementów mechanicznych układu i szczelności suwliwego połączenia tłoka gazowego z komorą gazową. Ponadto przyjęto, że:

- otwarcie otworu gazowego jest natychmiastowe i pełne w chwili osiągnięcia przez dno pocisku osi otworu gazowego;
- między lufą i komorą gazową przepływają jedynie gazy prochowe;
- straty przepływu gazów prochowych między lufą i komorą gazową uwzględniono za pomocą współczynnika strat ζ , między komorą gazową i otoczeniem za pomocą współczynnika strat ζ_R i między lufą i otoczeniem za pomocą współczynnika strat ζ_w ;
- przekrój wylotowy lufy jest przekrojem krytycznym, a wypływające gazy prochowe osiągają w tym przekroju parametry krytyczne natychmiast po wylocie pocisku z lufy.

2.2. Model matematyczny badanego układu

Po dokonaniu walidacji, model matematyczny rozpatrywanego modelu fizycznego broni automatycznej przedstawiony w pracy [2] przekształcono do następującej postaci (ogólnej, obowiązującej dla całego okresu strzału):

1) Równanie bilansu energii w lufie:

a) przy przepływie gazów prochowych z lufy do komory gazowej ($p \geq p_{kg}$):

$$\frac{dRT}{dt} = \frac{(\theta q_s - RT)\omega \frac{d\psi}{dt} - \omega RT \left(-\frac{d\eta}{dt} + \theta \frac{d\gamma}{dt} \right) - k\omega RT \frac{d\eta}{dt} - \theta \varphi m V \frac{dV}{dt}}{\omega(\psi - \eta - \gamma)} \quad (1)$$

gdzie:

R – stała gazowa gazów prochowych,

T – temperatura gazów prochowych w lufie,

t – czas,

θ – funkcja wykładnika adiabaty k gazów prochowych ($\theta = k - 1$),

k – wykładnik adiabaty gazów prochowych,

q_s – ciepło spalania prochu,

ω – masa ładunku miotającego,

ψ – względna część spalonego ładunku miotającego,

η – względna część gazów, które przepłynęły z lufy do komory gazowej,

γ – względna część gazów, które wypłynęły z lufy do otoczenia,

φ – współczynnik prac drugorzędnych gazów prochowych,

m – masa pocisku,

V – prędkość pocisku;

- b) przy przepływie gazów prochowych z komory gazowej do lufy ($p < p_{kg}$):

$$\frac{dRT}{dt} = \frac{(\theta q_s - RT)\omega \frac{d\psi}{dt} - \omega RT \left(-\frac{d\eta}{dt} + \theta \frac{d\gamma}{dt} \right) - k\omega RT_{kg} \frac{d\eta}{dt} - \theta \phi m V \frac{dV}{dt}}{\omega(\psi - \eta - \gamma)} \quad (2)$$

gdzie:

T_{kg} – temperatura gazów prochowych w komorze gazowej.

- 2) Równanie bilansu energii w komorze gazowej (dla $l \geq l_{ot}$):

- a) przy przepływie gazów prochowych z lufy do komory gazowej ($p \geq p_{kg}$):

$$\frac{dRT_{kg}}{dt} = \frac{(kRT - RT_{kg})\omega \frac{d\eta}{dt} - \theta \left(MW \frac{dW}{dt} + C(L + x_0)W + RT_{kg} \omega \frac{d\beta}{dt} \right)}{\omega(\eta - \beta)} \quad (3)$$

gdzie:

l_{ot} – droga pocisku w lufie do osi otworu gazowego,

M – masa zespołu suwadła,

W – prędkość zespołu suwadła,

C – sumaryczna sztywność sprężyn mechanizmu powrotnego,

L – droga zespołu suwadła,

x_0 – wstępne ugięcie sprężyn mechanizmu powrotnego,

β – względna część gazów, które wypłynęły z komory gazowej do otoczenia;

- b) przy przepływie gazów prochowych z komory gazowej do lufy ($p < p_{kg}$):

$$\frac{dRT_{kg}}{dt} = \frac{\theta \left(RT_{kg} \omega \left(\frac{d\eta}{dt} - \frac{d\beta}{dt} \right) - MW \frac{dW}{dt} - C(L + x_0)W \right)}{\omega(\eta - \beta)} \quad (4)$$

- 3) Równanie stanu gazów prochowych w lufie:

$$p = \frac{\omega(\psi - \eta - \gamma)RT}{W_0 + sl - \frac{\omega}{\delta}(1 - \psi) - \alpha\omega(\psi - \eta - \gamma)} \quad (5)$$

gdzie:

p – ciśnienie gazów prochowych w lufie,

W_0 – objętość komory naboju lufy,

s – pole powierzchni przekroju poprzecznego przewodu lufy,

l – przemieszczenie (droga) pocisku w przewodzie lufy,

δ – gęstość prochu,

α – kowolumen gazów prochowych.

- 4) Równanie względnej masowej szybkości spalania ładunku miotającego:

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{S_1}{\Lambda_1} \sigma(\psi) u(p) = \frac{S_1}{\Lambda_1} \sqrt{1 + 4 \frac{\lambda_1}{\chi_1} \psi} \cdot u_1 p \quad (6)$$

przy czym $\psi \leq 1$ oraz gdy $l > l_w$, to $\frac{d\psi}{dt} = 0$

gdzie:

S_1 – początkowe pole powierzchni ziaren prochowych ładunku miotającego,

Λ_1 – początkowa objętość ziaren prochowych,

χ_1, λ_1 – współczynniki kształtu ziaren prochowych,

u_1 – współczynnik liniowego prawa szybkości spalania prochu,

l_w – całkowita droga pocisku w przewodzie lufy.

- 5) Równanie stanu gazów prochowych w komorze gazowej (dla $l \geq l_{ot}$):

$$p_{kg} = \frac{\omega(\eta - \beta)RT_{kg}}{W_{0kg} + s_{kg}L - \alpha\omega(\eta - \beta)} \quad (7)$$

gdzie:

p_{kg} – ciśnienie gazów prochowych w komorze gazowej,

W_{0kg} – objętość początkowa komory gazowej,

s_{kg} – pole powierzchni przekroju poprzecznego komory gazowej.

- 6) Równania względnej masowej szybkości przepływu gazów z lufy do komory gazowej (dla $l \geq l_{ot}$ i $p \geq p_{kg}$):

$$\frac{d\eta}{dt} = \frac{\xi F_p}{\omega} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{1}{k-1}} \sqrt{\frac{2k}{k+1}} \frac{p}{\sqrt{RT}} \quad \text{przy } p_{kg} \leq \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} p \quad (8)$$

$$\frac{d\eta}{dt} = \frac{\xi F_p}{\omega} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \left[\left(\frac{p_{kg}}{p} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_{kg}}{p} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \frac{p}{\sqrt{RT}} \quad \text{przy } p_{kg} > \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} p \quad (9)$$

gdzie:

ξ – współczynnik strat przepływu gazów z lufy do komory gazowej,

F_p – pole powierzchni przekroju poprzecznego otworu, którym gazy prochu przepływają z lufy do komory gazowej (lub odwrotnie).

- 7) Równania względnej masowej szybkości przepływu gazów z komory gazowej do lufy (dla $l \geq l_{ot}$ i $p < p_{kg}$):

$$\frac{d\eta}{dt} = -\frac{\xi F_p}{\omega} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \frac{1}{\sqrt{k+1}} \frac{p_{kg}}{\sqrt{RT_{kg}}} \text{ przy } p \leq \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} p_{kg} \quad (10)$$

$$\frac{d\eta}{dt} = -\frac{\xi F_p}{\omega} \sqrt{\frac{2k}{k-1} \left[\left(\frac{p}{p_{kg}}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p}{p_{kg}}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \frac{p_{kg}}{\sqrt{RT_{kg}}}$$

przy $p > \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} p_{kg}$ (11)

- 8) Równanie względnej masowej szybkości wypływu gazów z komory gazowej do otoczenia (dla $l \geq l_{ot}$):

$$\frac{d\beta}{dt} = \frac{\xi_R F_R}{\omega} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \frac{1}{\sqrt{k+1}} \frac{p_{kg}}{\sqrt{RT_{kg}}} \quad (12)$$

gdzie:

ξ_R – współczynnik strat wypływu gazów z komory gazowej do otoczenia,
 F_R – pole powierzchni przekroju poprzecznego otworu, którym gazy prochowe wypływają z komory gazowej do otoczenia.

- 9) Równanie względnej masowej szybkości wypływu gazów z lufy do otoczenia (dla $l \geq l_w$):

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{\xi_w s}{\omega} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} \frac{1}{\sqrt{k+1}} \frac{p}{\sqrt{RT}} \quad (13)$$

gdzie:

ξ_w – współczynnik strat wypływu gazów z lufy do otoczenia.

- 10) Równanie ruchu postępowego zespołu napędzanego broni (dla $l \geq l_{ot}$):

$$\frac{dW}{dt} = \frac{p_{kg} s_{tg} - C(L + x_0)}{M} \quad (14)$$

- 11) Równanie prędkości zespołu napędzanego broni (dla $l \geq l_{ot}$):

$$\frac{dL}{dt} = W \quad (15)$$

12) Równanie ruchu postępowego pocisku:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{sp}{\varphi m} \quad (16)$$

$$\text{gdzie } \varphi = 1 + \frac{1}{3} \frac{\omega(1-\eta)}{m}$$

13) Równanie prędkości pocisku:

$$\frac{dl}{dt} = V \quad (17)$$

2.3. Przykładowe wyniki badań symulacyjnych

Badania teoretyczne wpływu (na charakterystyki napędu suwadła) masy zespołu suwadła, sztywności sprężyn mechanizmu powrotnego (model zakłada stosowanie dwóch sprężyn w układzie równoległym, co jest uwarunkowane konstrukcją stanowiska laboratoryjnego) oraz odległości od powierzchni czołowej tłoka gazowego w położeniu wyjściowym do osi otworów przedmuchiowych przeprowadzono z wykorzystaniem środowiska MATLAB. Zostały one przeprowadzone z wykorzystaniem opracowanego programu komputerowego, bazującego na termodynamicznym modelu matematycznym zjawisk zachodzących w lufie i komorze gazowej. Dane wejściowe przyjęte do obliczeń z wykorzystaniem modelu matematycznego (1)-(17) przedstawiono w tabelicy 1, gdzie pogrubioną czcionką zaznaczono konfigurację podstawową zwaną „konfiguracją odniesienia”. Zbiory wartości prędkości maksymalnych zespołu suwadła oraz maksymalnych wartości ciśnienia gazów prochowych w komorze gazowej, uzyskane drogą symulacji komputerowej, zestawiono odpowiednio w tabelicach 2-4. Pierwotnie przeprowadzono symulację działania układu w konfiguracji podstawowej, a następnie zmieniano, w założonych granicach, kolejno: masę zespołu suwadła, sztywność sprężyn mechanizmu powrotnego oraz odległość od powierzchni czołowej tłoka gazowego w położeniu wyjściowym do osi otworów przedmuchiowych. Badania prowadzono z uwzględnieniem drogi napędzania suwadła L_x (droga do odsłonięcia otworów przedmuchiowych).

Tablica 1. Dane wejściowe do badań teoretycznych wpływu wybranych parametrów „automatyki” broni z odprowadzeniem gazów na jej charakterystyki balistyczne i kinematyczne

Table 1. Input data for the calculations of selected gas operated weapon's action parameters influence on its ballistic and kinematic characteristics

Nazwa parametru	Wartość parametru	Nazwa parametru	Wartość parametru
Masa pocisku	$m = 0,004$ [kg]	Masa prochu	$\omega = 0,0017$ [kg]
Pole przekroju poprzecznego przewodu lufy	$s = 24,75 \cdot 10^{-6}$ [m ²]	Ciepło spalania prochu	$q_s = 5,104$ [MJ/kg]
Objętość komory nabojeowej lufy	$W_0 = 1,66 \cdot 10^{-6}$ [m ³]	„Siła” prochu	$f = 1,0208$ [MJ/kg]
Całkowita droga pocisku w przewodzie lufy	$l_w = 0,37546$ [m]	Kowolumen gazów prochowych	$\alpha = 0,1371$ [m ³ /kg]
Droga pocisku w lufie do otworu gazowego	$l_{ot} = 0,20946$ [m]	Wykładnik adiabaty gazów prochowych	$k = 1,2$
Średnica tłoka gazowego	$d_t = 0,011$ [m]	Gęstość prochu	$\delta = 1550$ [kg/m ³]
Objętość początkowa komory gazowej	$W_{0kg} = 52,315 \cdot 10^{-8}$ [m ³]	Wsp. prawa szybkości spalania	$u_l = 0,55 \cdot 10^{-9}$ [m/(s·Pa)]
Pole przekroju poprzecznego komory gazowej	$s_{kg} = 95,03 \cdot 10^{-6}$ [m ²]	Początkowe pole pow. ziarna prochowego	$S_l = 3,68 \cdot 10^{-6}$ [m ²]
Masa zespołu odrzucanego broni	$M = 0,405$ lub $M = 0,508$ lub $M = 0,607$ [kg]	Początkowa objętość ziarna prochowego	$A_l = 0,47 \cdot 10^{-9}$ [m ³]
Szttywność sprężyn mechanizmu powrotnego	$C = 210$ lub $C = 292$ lub $C = 568$ lub $C = 708$ [N/m]	Współczynniki kształtu ziaren prochowych	$\chi = 1,368$
			$\lambda = -0,269$
Początkowe ugięcie sprężyn powrotnych	$x_0 = 0,146$ lub $x_0 = 0,115$ lub $x_0 = 0,056$ lub $x_0 = 0,047$ [m]		$\mu = 0$

Nazwa parametru	Wartość parametru	Nazwa parametru	Wartość parametru
Odległość od powierzchni czołowej tłoka gazowego w położeniu wyjściowym do osi otworów przedmuchowych	$L_x = 0,010$ lub $L_x = 0,016$ lub $L_x = 0,022$ [m]	Współczynnik strat wypływu gazów z komory gazowej do otoczenia	$\zeta_R = 1$
Współczynnik strat przepływu gazów z lufy do komory gazowej	$\zeta = 0,65$	Krok całkowania	$h = 1 \cdot 10^{-6}$
Współczynnik strat wypływu gazów z lufy do otoczenia	$\zeta_w = 1$	Średnica otworu regulacyjnego	$d_R = 0,002$ [m]
Średnica otworu gazowego	$d_p = 0,002$ [m]		

Tablica 2. Wyniki badań teoretycznych wpływu masy suwadła na charakterystyki balistyczne i kinematyczne broni

Table 2. Theoretical results of the slide weight influence on ballistic and kinematic weapon characteristics

Masa suwadła M [kg]	Ciśnienie maksymalne w komorze gazowej $p_{kg \max}$ [MPa]	Prędkość maksymalna zespołu suwadła W_{\max} [m/s]
$M = 0,405$	35,39	7,11
$M = 0,508$	35,59	5,93
$M = 0,607$	35,73	5,10

Tablica 3. Wyniki badań teoretycznych wpływu sztywności sprężyn mechanizmu powrotnego na charakterystyki balistyczne i kinematyczne broni

Table 3. Theoretical results of the recoil springs stiffness influence on ballistic and kinematic weapon characteristics

Sztywność sprężyn C [N/m]	Ciśnienie maksymalne w komorze gazowej $p_{kg \max}$ [MPa]	Prędkość maksymalna zespołu suwadła W_{\max} [m/s]
$C = 210$	35,59	5,93
$C = 292$	35,59	5,93
$C = 568$	35,59	5,92
$C = 708$	35,59	5,92

Tablica 4. Wyniki badań teoretycznych wpływu odległości od powierzchni czołowej tłoka gazowego w położeniu wyjściowym do osi otworów przedmuchowych na charakterystyki balistyczne i kinematyczne broni

Table 4. Theoretical results of the distance from the gas piston front surface in the initial position to the axis of the gas slots on ballistic and kinematic weapon characteristics

Odległość do otworów przedmuchowych L_x [m]	Ciśnienie maksymalne w komorze gazowej $p_{kg \max}$ [MPa]	Prędkość maksymalna zespołu suwadła W_{\max} [m/s]
$L_x = 0,010$	35,59	5,93
$L_x = 0,016$	35,59	6,11
$L_x = 0,022$	35,59	6,14

Wyniki badań symulacyjnych wykazały, że największy wpływ na prędkość suwadła ma jego masa. Niewielki wpływ ma także odległość do otworów przedmuchowych, natomiast w zasadzie pomijalny – sztywność sprężyn mechanizmu powrotnego. Badania symulacyjne wykazały również, że na ciśnienie maksymalne w komorze gazowej (istotne ze względu na np. obliczenia wytrzymałościowe komory gazowej) nieznacznie wpływa jedynie masa suwadła.

3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych i analiz uzyskanych wyników można stwierdzić m.in., że:

1. Wstępne określenie wartości kluczowych (z punktu widzenia działania „automatyki” broni) parametrów konstrukcyjnych układu lufa-komora gazowa-mechanizmy broni może w znaczący sposób ograniczyć liczbę koniecznych do wykonania i niezwykle kosztownych modeli badawczych i tym samym skrócić czas fazy doświadczalnej procesu projektowania broni.
2. Badania wykazały, że spośród rozpatrywanych parametrów „automatyki” broni z odprowadzeniem gazów, jedynie masa suwadła ma duży wpływ na charakterystyki balistyczne i kinematyczne badanego układu. Z kolei sztywność sprężyn mechanizmu powrotnego, jak również odległość od powierzchni czołowej tłoka gazowego w położeniu wyjściowym do osi otworów przedmuchowych mają, w okresie napędzania suwadła oraz w badanym zakresie, stosunkowo niewielki wpływ zarówno na prędkość suwadła, jak i na ciśnienie maksymalne gazów prochowych w komorze gazowej.
3. Wyniki uzyskane w ramach opisanych badań teoretycznych mogą być pomocne przy projektowaniu broni automatycznej z odprowadzeniem gazów. Zostaną one wykorzystane do przeprowadzenia analizy porównawczej z wynikami planowanych badań doświadczalnych, co autorzy zamierzają opublikować w części II pracy, w celu weryfikacji poprawności zaproponowanego modelu matematycznego.

LITERATURA

- [1] Jęczmyk A., Pac M., Torecki S., Woźniak R., Stanowisko laboratoryjne do doświadczalnego badania działania mechanizmów karabinka działającego na zasadzie odprowadzenia gazów, *Materiały XVII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej pn. „Problemy rozwoju, produkcji i eksploatacji techniki uzbrojenia”*, Pułtusk, 7-9 października 2009 r., płyta CD, s. 189-196, 2009.
- [2] Leśnik G., Surma Z., Torecki S., Woźniak R., Termodynamiczny model działania broni z odprowadzeniem gazów prochowych, *Problemy Techniki Uzbrojenia*, Rok XXXVIII, Zeszyt 110, nr 2, s. 75-83, 2009.
- [3] Kijewski J., Leśnik G., Pac M., Torecki S., Woźniak R., Theoretical and experimental investigations of slide weight influence on ballistic parameters of gas operated weapon, *Proceedings of the 6th International Symposium on Defence Technology*, 6-7 May 2010 Budapest, Hungary, DVD ROM, ISSN 1416-1443, 2010.

- [4] Kijewski J., Leśnik G., Pac M., Badania teoretyczne i doświadczalne wpływu sztywności sprężyn powrotnych na prędkość suwadła broni z odprowadzeniem gazów, *Problemy mechatroniki. Uzbrojenie, lotnictwo, inżynieria bezpieczeństwa*, vol. 5, nr 3(17), s. 107-117, 2014.
- [5] Kijewski J., Leśnik G., Pac M., Woźniak R., Badania wpływu średnicy tłoka gazowego i masy zespołu suwadła na charakterystyki balistyczne broni automatycznej z odprowadzeniem gazów, *Proceedings of the 19th International Scientific Conference „Armament and Technics of Land Forces 2013”*, 13-14 listopada 2013 r., Liptovsky Mikulas, Słowacja, s. 59-66, 2013.
- [6] Spurk J., The gas flow in gas operated weapons, *BRL Report*, No 1475, 1970.
- [7] Werner W.M., Comparison of a theoretical and experimental study of the gas system in the M16A1 rifle, *BRL Report*, No 1548, 1971.
- [8] Florio L.A., Finite-volume modelling of system with compressible flow propeller and actuated body motion, *Applied Mathematical Modelling*, 33, pp. 3360-3381, 2009.

Tests of Influence of Selected Gas Operated Weapon's Action Parameters on its Ballistic and Kinematic Characteristics

Part I – Examples of the Results of Theoretical Research

Józef GACEK, Grzegorz LEŚNIK

Abstract. Some results of theoretical tests on influence of selected weapon's action parameters on ballistic and kinematic characteristics of gas operated short stroke piston weapon are presented in this paper. The simulation tests were conducted using the mathematical model, which was modified relatively to the model presented in [2]. Validation of this mathematical model was carried out in accordance with previously conducted comparisons and analyzes of the results of simulations and experiments presented, among others, in [3], [4] and [5].

Keywords: mechanics, internal ballistics, automatic weapon, modelling of dynamic phenomena