



Badania teoretyczne i doświadczalne wpływu sztywności sprężyn powrotnych na prędkość suwadła broni z odprowadzeniem gazów

Jacek KIJEWSKI, Grzegorz LEŚNIK*, Małgorzata PAC

Wydział Mechatroniki i Lotnictwa, Wojskowa Akademia Techniczna,
ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa
*autor korespondencyjny, e-mail: glesnik@wat.edu.pl

Artykuł wpłynął do redakcji 30.04.2014. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 12.06.2014

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań teoretycznych i doświadczalnych wpływu sztywności sprężyn powrotnych na napęd suwadła broni automatycznej, działającej na zasadzie odprowadzenia gazów prochowych, z krótkim ruchem tłoka gazowego. Badania doświadczalne zostały przeprowadzone na stanowisku laboratoryjnym przedstawionym w pracy [1]. Wyniki doświadczalne porównano z wynikami z badań symulacyjnych, wykonanych zgodnie z modelem przedstawionym w pracy [2].

Słowa kluczowe: mechanika, balistyka wewnętrzna, broń automatyczna

1. WSTĘP

Konstruktorzy automatycznej broni palnej, działającej na zasadzie odprowadzenia części gazów prochowych przez boczny otwór w lufie, z krótkim ruchem tłoka gazowego, mają możliwość wpływania m.in. na charakterystyki ruchu tzw. „automatyki” broni.

Polega ona na tym, że poprzez odpowiedni dobór pewnych parametrów konstrukcyjnych broni można uzyskać różne przebiegi np. ciśnienia gazów prochowych w lufie, komorze gazowej czy też prędkości zespołu suwadła. Z punktu widzenia prawidłowego funkcjonowania broni (zapewnienia działania „automatyki” broni w każdych warunkach np. atmosferycznych) niezwykle ważnym parametrem określającym możliwość realizacji wszystkich czynności cyklu pracy broni bez udziału energetycznego strzelającego (z wyjątkiem wprowadzania pierwszego naboju do komory naboju i uruchomienia spustu) jest prędkość zespołu suwadła. Do czynników mających wpływ na tę prędkość zaliczyć można m.in. sztywność sprężyny mechanizmu powrotnego.

W kolejnych rozdziałach przedstawiono wyniki badań teoretycznych i doświadczalnych wpływu sztywności sprężyn (w stanowisku laboratoryjnym zastosowano dwie sprężyny w układzie równoległym) mechanizmu powrotnego na charakterystyki balistyczne i kinematyczne badanego układu oraz dokonano ich porównania.

2. BADANIA TEORETYCZNE

Badania teoretyczne wpływu sztywności sprężyn powrotnych na napęd suwadła, przeprowadzone z wykorzystaniem środowiska MATLAB, bazowały na opracowanym programie komputerowym i termodynamicznym opisie zjawisk zachodzących w lufie i komorze gazowej [2]. Badania prowadzono na drodze suwadła $L_x = 10$ mm, przy założeniu, że napędzanie suwadła odbywa się tylko do chwili odsłonięcia przez tłok gazowy otworów przedmuchowych. Przebadano układ fizyczny identyczny z istniejącym stanowiskiem laboratoryjnym opisanym w pracy [1], przyjmując następujące wartości sztywności układu sprężyn powrotnych: $C_1 = 210$ N/m, $C_2 = 292$ N/m, $C_3 = 568$ N/m i $C_4 = 708$ N/m.

Dane wejściowe do obliczeń przedstawiono w tabelicy 1, prędkości maksymalne zespołu suwadła i maksymalne wartości ciśnienia gazów prochowych w komorze gazowej uzyskane drogą symulacji komputerowej – w tabelicy 2, a wykres prędkości zespołu suwadła w funkcji czasu dla sumarycznej sztywności sprężyn powrotnych $C_1 = 210$ N/m – na rysunku 1 (dla pozostałych sprężyn uzyskano niemalże identyczne przebiegi).

Tablica 1. Dane wejściowe do badań teoretycznych wpływu sztywności sprężyn powrotnych na prędkość suwadła broni z odprowadzeniem gazów

Table 1. Input data for the calculations of the recoil springs stiffness influence on slide velocity of gas-operated weapon

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	$V_0 = 1,66 \cdot 10^{-6}$ [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	$V_{k0} = 52,315 \cdot 10^{-8}$ [m ³]	Współczynnik prawa szybkości spalania	$u_1 = 0,55 \cdot 10^{-9}$ [m/(s·Pa)]
Pole przekroju poprzecznego komory gazowej	$s_k = 95,03 \cdot 10^{-6}$ [m ²]	Początkowe pole powierzchni ziarna prochowego	$S_1 = 3,68 \cdot 10^{-6}$ [m ²]
Masa zespołu odrzucanego broni	$M = 0,508$ [kg]	Początkowa objętość ziarna prochowego	$\Lambda_1 = 0,47 \cdot 10^{-9}$ [m ³]
Sumaryczna sztywność sprężyn powrotnych	$C_1 = 210$ lub $C_2 = 292$ lub $C_3 = 568$ lub $C_4 = 708$ [N/m]		$\chi = 1,368$
Początkowe ugięcie sprężyn powrotnych	$x_0 = 0,146$ lub $x_0 = 0,115$ lub $x_0 = 0,056$ lub $x_0 = 0,047$ [m]	Współczynniki kształtu ziaren prochowych	$\lambda = -0,269$
Droga zespołu odrzucanego broni do chwili odsłonięcia przez tłok gazowy otworów przedmuchowych	$L_x = 0,010$ [m]		$\mu = 0$

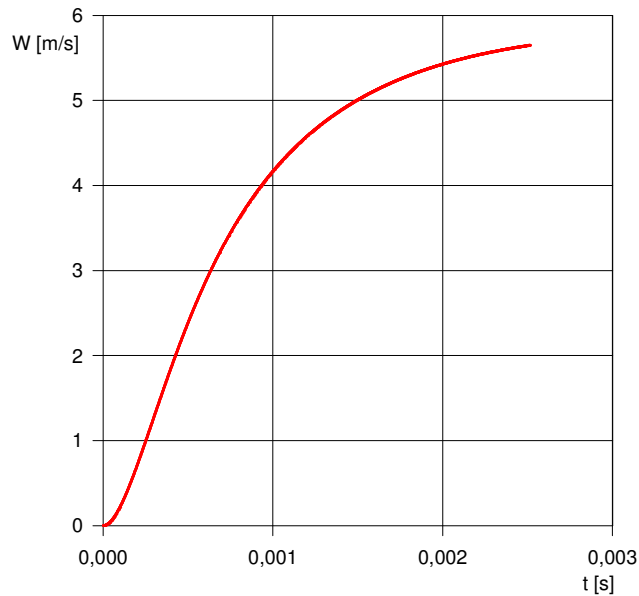
Nazwa parametru	Wartość parametru	Nazwa parametru	Wartość parametru
Współczynnik strat przepływu gazów z lufy do komory gazowej	$\xi = 0,6$	Współczynnik strat wypływu gazów z komory gazowej do otoczenia	$\xi_R = 1$
Współczynnik strat wypływu gazów z lufy do otoczenia	$\xi_w = 1$	Krok całkowania	$h = 1 \cdot 10^{-6}$
Średnica otworu gazowego	$d_p = 0,002$ [m]	Średnica otworu regulacyjnego	$d_R = 0,002$ [m]

Tablica 2. Wyniki badań teoretycznych wpływu sztywności sprężyn powrotnych na prędkość suwadła

Table 2. Theoretical research results of the recoil springs stiffness influence on slide velocity

Sztywność sprężyn C [N/m]	Ciśnienie maksymalne w komorze gazowej p_{kg} [MPa]	Prędkość maksymalna zespołu suwadła W_{max} [m/s]
$C_1 = 210$	32,93	5,65
$C_2 = 292$	32,93	5,65
$C_3 = 568$	32,93	5,64
$C_4 = 708$	32,93	5,64

Wyniki badań symulacyjnych jednoznacznie wskazują, że w okresie napędu suwadła (do chwili odsłonięcia przez tłok gazowy otworów przedmuchowych) sztywność sprężyn praktycznie nie wpływa ani na prędkość zespołu suwadła, ani na parametry węzła gazowego. Nieco większy wpływ sztywności sprężyn na prędkość zespołu suwadła W jest widoczny po ustaniu wymuszenia, i tak np. po przebyciu przez suwadło drogi równej 50 mm różnica w prędkości suwadła pomiędzy skrajnymi przypadkami wynosi około 0,2 m/s.



Rys. 1. Wykres prędkości W zespołu suwadła w funkcji czasu t dla sztywności sprężyn powrotnych $C_1 = 210$ N/m uzyskany drogą symulacji komputerowych

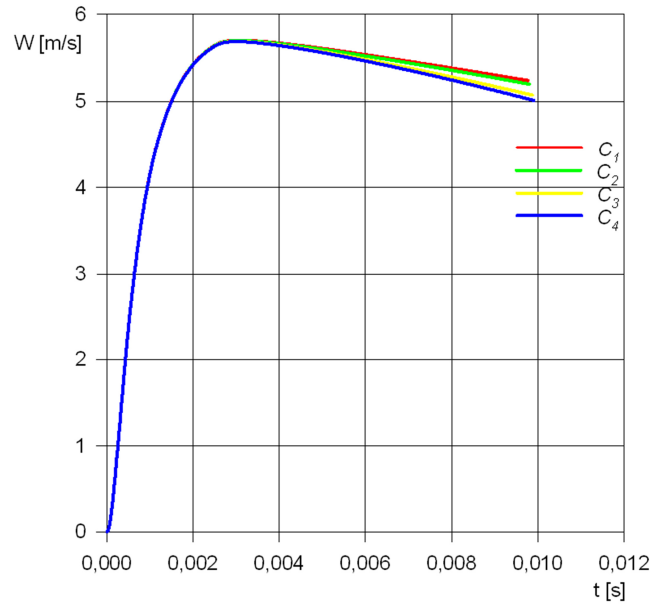
Fig. 1. Slide velocity W vs. time t curve for recoil springs stiffness $C_1 = 210$ N/m obtained from calculations

Wartości prędkości maksymalnej zespołu suwadła po przebyciu drogi równej 50 mm zestawiono w tablicy 3.

Tablica 3. Wyniki badań teoretycznych wpływu sztywności sprężyn powrotnych na prędkość suwadła uzyskane drogą symulacji komputerowych po przebyciu drogi równej 50 mm

Table 3. Theoretical research results of the recoil springs stiffness influence on slide velocity after passing of the distance of 50 mm

Sztywność sprężyn C [N/m]	Ciśnienie maksymalne w komorze gazowej p_{kg} [MPa]	Prędkość maksymalna zespołu suwadła W_{max} [m/s]
$C_1 = 210$	32,93	5,24
$C_2 = 292$	32,93	5,20
$C_3 = 568$	32,93	5,07
$C_4 = 708$	32,93	5,01



Rys. 2. Wykresy prędkości W zespołu suwadła w funkcji czasu t na drodze 50 mm dla sztywności sprężyn powrotnych $C_1 = 210$ N/m, $C_2 = 292$ N/m, $C_3 = 568$ N/m i $C_4 = 708$ N/m uzyskane drogą symulacji komputerowych

Fig. 2. Slide velocity W vs. time t curve at a distance of 50 mm for recoil springs stiffness equal $C_1 = 210$ N/m, $C_2 = 292$ N/m, $C_3 = 568$ N/m and $C_4 = 708$ N/m respectively, obtained from calculations

Na rysunku 2 zestawiono zależności prędkości suwadła w funkcji czasu dla drogi 50 mm i różnych sztywności sprężyn powrotnych.

3. BADANIA DOŚWIADCZALNE

Badania doświadczalne wpływu sztywności sprężyn powrotnych na napęd suwadła przeprowadzono na stanowisku laboratoryjnym, opisanym w pracy [1]. W badaniach wykorzystano jako elementy wymienne zespoły sprężyn powrotnych o różnych sztywnościach sumarycznych, a mianowicie: $C_1 = 210$ N/m, $C_2 = 292$ N/m, $C_3 = 568$ N/m, $C_4 = 708$ N/m.

Parametrami, które nie były zmieniane podczas badań są:

- lufa o długości 406 mm;
- średnica otworu gazowego $d_p = 2$ mm;
- wkładka regulatora gazowego z otworem o średnicy $d_R = 2$ mm;
- tłok gazowy o średnicy $d_t = 11$ mm i masie 13,6 g bez dodatkowego pierścienia uszczelniającego;

- cylinder gazowy o średnicy wewnętrznej $d_c = 11$ mm z odległością do otworów przedmuchowych $L_x = 10$ mm;
- masa zespołu odrzucanego 508 g.

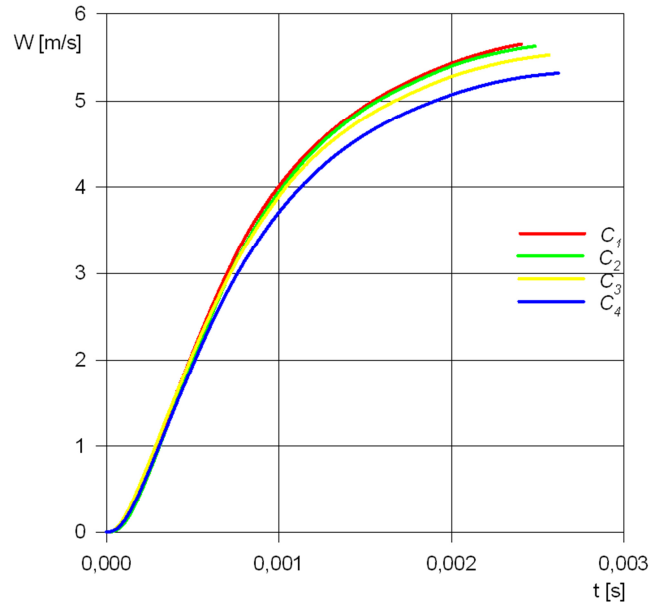
Dla każdej z czterech konfiguracji układu (z różnymi sprężynami powrotnymi) oddano po 11 strzałów (w sumie 44 prób). W tablicy 4 przedstawiono niektóre wyniki badań, a na rysunku 3 – wykresy prędkości zespołu suwadła W w funkcji czasu dla różnych sztywności sprężyn powrotnych, uzyskane drogą doświadczalną.

Tablica 4. Wyniki badań doświadczalnych wpływu sztywności sprężyn powrotnych na podstawowe charakterystyki badanego układu

Table 4. Experimental results of the recoil springs stiffness influence on main characteristics of the examined system

Sztywność sprężyn C [N/m]	Droga suwadła w tylne położenie L [mm]	Czas przemieszczenia się suwadła w tylne położenie t_k [ms]	Ciśnienie maksymalne w komorze gazowej p_{kg} [MPa]	Całkowity impuls ciśnienia w komorze gazowej I_{pkg} [MPa·s]	Prędkość maksymalna zespołu suwadła W_{max} [m/s]
$C_1 = 210$	126	29,74	28,80	0,03406519	5,65
$C_2 = 292$	126	32,95	26,75	0,03191671	5,63
$C_3 = 568$	114	35,95	28,14	0,03320366	5,57
$C_4 = 708$	105	33,28	27,31	0,03230717	5,32

Uzyskane wyniki badań doświadczalnych wykazują, że wraz ze wzrostem sztywności sprężyn powrotnych spada prędkość maksymalna zespołu suwadła. Spadek ten jest stosunkowo niewielki, jednakże w przypadku sprężyn o sumarycznej sztywności $C_3 = 568$ N/m oraz $C_4 = 708$ N/m zaobserwowano, że zespół suwadła nie osiąga swojego skrajnego tylnego położenia.



Rys. 3. Wykresy prędkości W zespołu suwadła w funkcji czasu t dla sztywności sprężyn powrotnych $C_1 = 210$ N/m, $C_2 = 292$ N/m, $C_3 = 568$ N/m i $C_4 = 708$ N/m uzyskane z badań doświadczalnych

Fig. 3. Slide velocity W vs. time t curve for different recoil springs stiffness $C_1 = 210$ N/m, $C_2 = 292$ N/m, $C_3 = 568$ N/m i $C_4 = 708$ N/m respectively, obtained from experimental tests

4. PORÓWNANIE WYNIKÓW

Wyniki badań teoretycznych i doświadczalnych porównano na rysunkach 4 i 5. Na rysunku 4 pokazano zależność maksymalnej prędkości W_{\max} zespołu suwadła od sztywności sprężyn powrotnych, natomiast na rysunku 5 zaprezentowano względną zmianę prędkości maksymalnej W_{\max} zespołu suwadła w funkcji względnej zmiany sztywności sprężyn powrotnych.

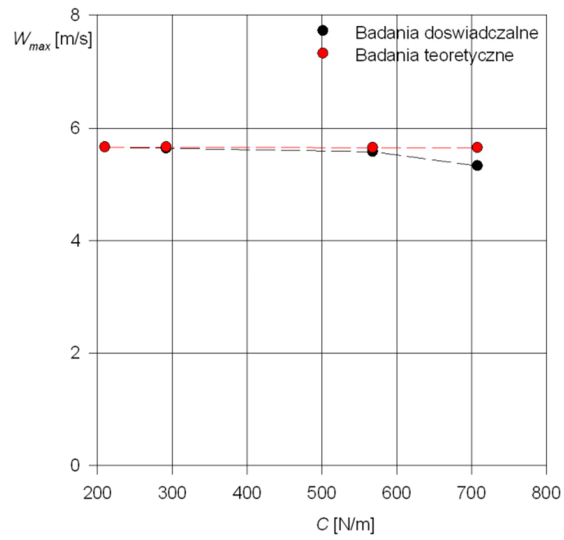
Względne zmiany δ argumentów X oraz funkcji Y przedstawione na rysunku 5 określano odpowiednio jako:

$$\delta_X = \left(\frac{X}{X_0} - 1 \right) \cdot 100\% \quad \text{oraz} \quad \delta_Y = \left(\frac{Y}{Y_0} - 1 \right) \cdot 100\%$$

gdzie:

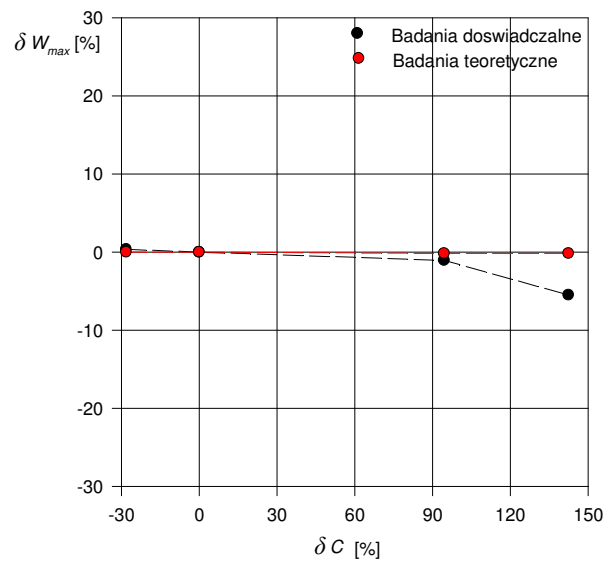
X i Y – przyjmowane wartości argumentów i badanych funkcji,

X_0 i Y_0 – odniesieniowe wartości odpowiednich argumentów X i funkcji Y .



Rys. 4. Zależność prędkości maksymalnej zespołu suwadła W_{max} od sztywności sprężyn powrotnych C

Fig. 4. Maximum slide velocity W_{max} vs. stiffness of recoil springs C



Rys. 5. Względna zmiana prędkości maksymalnej zespołu suwadła δW_{max} w funkcji względnej zmiany sztywności sprężyn powrotnych δC

Fig. 5. Relative changes of maximum slide velocity δW_{max} vs. relative changes recoil springs stiffness δC

Jako konfigurację podstawową (odniesienia) przyjęto konfigurację ze sprężynami o sztywności $C_2 = 292$ N/m. Poprzez zmianę zespołów uzyskiwano sztywność $C_1 = 210$ N/m, $C_3 = 568$ N/m i $C_4 = 708$ N/m.

Porównanie uzyskanych wyników teoretycznych i doświadczalnych pozwala stwierdzić, że są one zbliżone i wykazują tylko niewielką rozbieżność. Polega ona na tym, że prędkości uzyskane drogą symulacji komputerowej cechują się bardzo małą wrażliwością na zmianę sztywności zespołu powrotnego. Z kolei badania doświadczalne uwidaczniają, że względna zmiana sztywności sprężyn powrotnych w granicach od -30 do $+90\%$ powoduje zmianę względnej prędkości maksymalnej zespołu suwadła o nie więcej niż $\pm 1\%$. Dopiero zwiększenie sztywności sprężyny o około 130% wywołuje nieco większy spadek prędkości maksymalnej, bo o około 5% .

Wydaje się, że najbardziej prawdopodobną przyczyną omawianych rozbieżności może być pominięcie w modelu teoretycznym różnego rodzaju strat energetycznych oraz chwilowa niewłaściwa praca zespołów powrotnych podczas strzelania, polegająca np. na tarciu sprężyn o trzpienie prowadzące, czy też częściowe, chwilowe blokowanie zwojów sprężyn. Porównanie wyników teoretycznych i doświadczalnych daje podstawy do stwierdzenia, że wyniki badań teoretycznych w dobrym stopniu odzwierciedlają wyniki badań doświadczalnych i w omawianym zakresie mogą być pomocne w procesie projektowania broni automatycznej z odprowadzeniem gazów prochowych.

5. WNIOSKI

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

1. Badania teoretyczne wykazują, że sztywność sprężyn powrotnych ma stosunkowo niewielki wpływ na prędkość suwadła, zwłaszcza w okresie jego napędzania. Jej zmiana o kilkadziesiąt procent w zasadzie nie powoduje zmiany prędkości maksymalnej.
2. Porównanie wyników uzyskanych z obliczeń i badań strzelaniem potwierdza zgodność charakteru zmian prędkości suwadła, chociaż zauważalne są bardzo niewielkie rozbieżności ilościowe pomiędzy wynikami teoretycznymi a doświadczalnymi (około $0,2$ m/s).
3. Porównanie wyników teoretycznych z doświadczalnymi pozwala stwierdzić, że w przypadku badań symulacyjnych układ jest mniej wrażliwy na zmianę sztywności sprężyn powrotnych.
4. Badania teoretyczne mogą być pomocne przy projektowaniu broni automatycznej z odprowadzeniem gazów.

Artykuł zawiera wyniki pracy finansowanej ze środków na naukę w roku 2012 w ramach rozwoju młodych naukowców.

LITERATURA

- [1] Jęczmyk A., Pac M., Torecki S., Woźniak R., Stanowisko laboratoryjne do doświadczalnego badania działania mechanizmów karabinka działającego na zasadzie odprowadzenia gazów, *Materiały Konferencyjne XVII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej pn. „Problemy rozwoju, produkcji i eksploatacji techniki uzbrojenia”*, (płyta CD s. 189-196) Pułtusk, 7-9.10.2009.
- [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.

Theoretical and Experimental Tests of Influence of Recoil Springs Stiffness on Slide Velocity of Gas-Operated Weapon

Jacek KIJEWSKI, Grzegorz LEŚNIK, Małgorzata PAC

Abstract. Some results of theoretical and experimental tests of influence of recoil springs stiffness on slide velocity of gas-operated short stroke piston weapon are presented in this paper. The tests were conducted using a specially designed laboratory stand presented in [1]. Experimental results were compared with the results of the simulation tests carried out in accordance with the model presented in [2].

Keywords: mechanics, internal ballistics, automatic weapon

