

УДК 623.435

В.І. Мандрус, Б.О. Середюк, П.В. Савчук, С.В. Бондаренко

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПНЕВМАТИЧНОГО ВРІВНОВАЖУЮЧОГО МЕХАНІЗМУ ГАРМАТИ

Для пневматичного врівноважуючого механізму гармати запропоновано встановити верхній шарнір ковзаючим по напрямній паралельно осі ствола. Фіксацію положення цього шарніра у певній точці забезпечує спеціальний копір, профіль якого розрахований з умови рівності моментів сил ствола і врівноважуючого механізму. Наведена блок-схема комп'ютерної програми розрахунку цих моментів і параметрів врівноважуючого механізму. Дана пропозиція забезпечує суттєве зменшення зусилля на маховику механізму вертикального наведення ствола.

Ключові слова: гармата, врівноважуючий механізм, зусилля вертикального наведення ствола.

Постановка проблеми

Одним із шляхів підвищення стійкості артилерійської гармати під час стрільби є зменшення висоти її лінії вогню. В гарматах для забезпечення зручності заряджання ствола при великих кутах підвищення та виключення удару його казенної частини об ґрунт під час відкату підйомна частина винесена вперед відносно осі цапф. Внаслідок такого розташування цапф з'являється невірноваженість підйомної частини гармати, яка характеризується тим, що ствол намагається повернутися відносно осі цапф під дією моменту сили ваги

$$M_c = G \cdot l_c \cdot \cos \varphi, \quad (1)$$

де G - сила ваги підйомної частини (ствола); l_c - відстань центра ваги підйомної частини від осі цапф; φ - кут нахилу ствола до горизонту.

При підйомі та опусканні ствола через наявність моменту сили ваги на маховику механізму вертикального наведення виникають значні зусилля. Для усунення впливу моменту сили ваги на роботу цього механізму необхідно врівноважити підйомну частину гармати.

Аналіз досліджень і публікацій

Механізм, призначений для врівноваження підйомної частини гармати, називається врівноважуючим. Є кілька їх видів. У пневматичному врівноважуючому механізмі рушійною силою для врівноваження підйомної частини є стиснене повітря. На рис. 1 наведені схема і сили пневматичного врівноважуючого механізму (N , l_B - сила і плече врівноважуючого механізму, G , $l_c \cdot \cos \varphi$ - сила ваги і плече ствола; φ - кут нахилу ствола до горизонту).

Пневматичний врівноважуючий механізм виглядає як колонка і складається з двох основних деталей:

зовнішнього циліндра 3 і внутрішнього циліндра 4, які заповнені повітрям під тиском. Шарнір А закріплений на люльці і рухається уверх і вниз разом з нею і стволом, причому відстань OA незмінна. Шарнір Б закріплений на верхньому станку і забезпечує тільки поворот врівноважуючого механізму у вертикальній площині.

При опусканні люльки зі стволом відстань AB і об'єм циліндрів зменшуються, а тиск в них збільшується. У цьому випадку врівноважуючий механізм нагадує поршневий компресор. При підніманні люльки зі стволом сила врівноважуючого механізму N_B допомагає механізму вертикального наведення. У цьому випадку врівноважуючий механізм працює як пневмоциліндр. Отже, врівноважуючий механізм можна уявити як спрощений варіант пневмопривода.

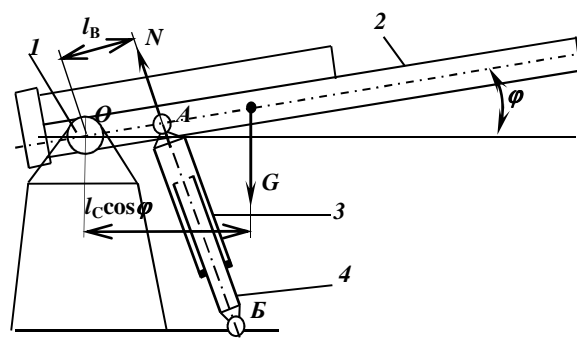


Рис. 1. Схема гармати з пневматичним врівноважуючим механізмом:
1 - цапфа; 2 - ствол; 3 - зовнішній циліндр;
4 - внутрішній циліндр

Для повного врівноваження ствола гармати потрібно витримувати рівність моментів сил ствола M_c і врівноважуючого механізму M_B

$$G \cdot l_c \cdot \cos \varphi = N \cdot l_B. \quad (2)$$

Літературні дані [1, 3, 4] та розрахунки за методикою [2] показують, що врівноваження моментів сил можна досягти тільки при двох кутах φ (максимальному та мініимальному). При інших кутах φ буде деяка невірноваженість ΔM .

На рис. 2 наведений графік моментів сил ствола M_C і врівноважуючого механізму M_B для гармати з параметрами $G = 9000$ Н; $l_C = 0,76$ м; $OA = 0,27$ м; $OB = 0,68$ м; кут $AOB = 38^\circ$ при $\varphi = 0^\circ$. Як бачимо, невірноваженість моментів сил більша як 400 Н·м в інтервалі кутів від 10° до 60° і сягає максимальної величини 1500 Н·м при кутах $30 \dots 50^\circ$.

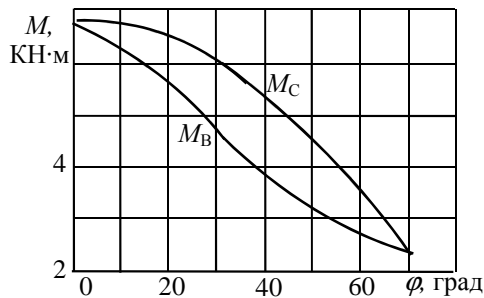


Рис. 2. Моменти сил ствола M_C та врівноважуючого механізму M_B

Причина невірноваженості полягає в тому, що при зменшенні кута φ збільшення тиску повітря в циліндрі 3 через зменшення його об'єму недостатньо для забезпечення рівності (2), оскільки відстань OA фіксована.

Мета роботи

Розробка конструкції врівноважуючого механізму гармати, який забезпечить найменшу допустиму невірноваженість моментів.

Виклад основного матеріалу

Авторами запропоновано встановити шарнір A ковзаючим паралельно осі ствола по напрямній. Тоді відстань OA при кожному значенні кута φ повинна бути такою, щоб рівність моментів сил (2) зберігалася на всьому діапазоні підйому ствола. В цій конструкції рівність моментів забезпечується збільшенням довжини плеча l_B врівноважуючого механізму. Для фіксації положення шарніра A у певній точці використовується спеціальний копір.

Повного врівноваження можна і не досягати. Достатньо мати допустиме значення $\Delta M_{\text{доп}}$ різниці моментів сил, які спокійно зможе подолати навідник при обертанні маховика вертикального наведення ствола. За методикою [2] зусилля P на маховику вертикального наведення

$$P = \frac{\Delta M_{\text{доп}}}{\eta \cdot i \cdot R}, \quad (3)$$

де η - коефіцієнт корисної дії (прийнятий рівним $0,4$); i - передатне число (прийняте рівним 200); R - радіус маховика (прийнятий рівним $0,15$ м).

З формули (3) допустиме значення різниці моментів сил при $P = 40$ Н

$$\Delta M_{\text{доп}} = P \cdot \eta \cdot i \cdot R = 40 \cdot 0,4 \cdot 200 \cdot 0,15 = 480 \text{ Н.} \quad (4)$$

З коефіцієнтом запасу $k = 1,2$ невірноваженість $\Delta M_{\text{доп}} = 400$ Н·м.

Відстань від осі цапф до ковзаючого шарніра залежно від значення кута φ визначається за методикою розрахунку врівноважуючого механізму [2]. Схема до цього розрахунку наведена на рис. 3, на якому позначені:

O – вісь цапф;
 A – ковзаючий шарнір;
 B – нерухомий шарнір;
 $OB = a$ – відстань, яка є сталою, від осі цапф до шарніра B ;

$OA = r$ – відстань від осі цапф до шарніра A , яка є змінною залежно від кута φ ;

$AB = l$ – довжина врівноважуючого механізму, яка є також змінною залежно від кута φ ;

$A_m B = l_{\text{max}}$ при φ_m , тобто найбільша довжина врівноважуючого механізму при найбільшому куті φ_m ;

$A_0 B = l_0$ – найменша довжина врівноважуючого механізму при $\varphi = 0^\circ$;

β – кут між r_0 та a при $\varphi = 0^\circ$.

Індекси: 0 – при $\varphi = 0^\circ$; m – при максимальному φ , без індексів – проміжні значення.

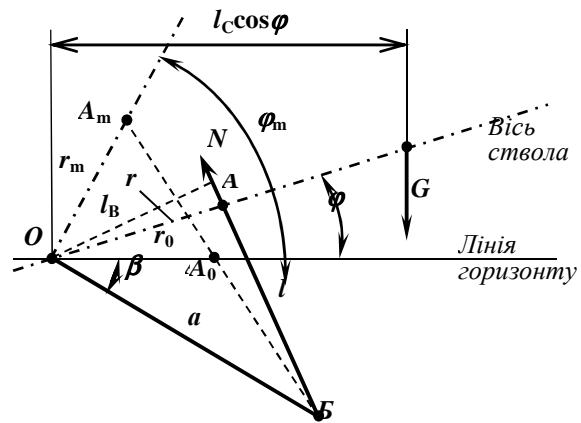


Рис. 3. Схема до розрахунку врівноважуючого механізму

Напряму відстань r визначити неможливо, тому застосовується спосіб послідовних наближень: при певному куті φ задається початкове значення r_0 і розраховуються і порівнюються моменти сил ствола і врівноважуючого механізму. Якщо різниця між цими моментами більша за 400 Н·м, задається інше значення r і знову визначаються і порівнюються моменти сил. Кінцеве значення r приймається при різниці моментів менше за 400 Н·м.

Початок розрахунків: для даної гармати відомі значення кутів φ_{\max} і φ_{\min} . Кут φ_{\min} може бути від'ємний, тобто вісь ствола знаходиться нижче лінії горизонту. Далі конструктивно призначаємо довжини $r_0 = r_m$. Точки A_m і A_0 з'єднуємо лінією і на її продовженні на верхньому верстаті гармати розміщуємо

шарнір B . Заміряємо довжину лінії $OB = a$ і кут β при $\varphi = 0^0$. Весь діапазон кутів від φ_{\min} до φ_{\max} розбиваємо на ділянки (наприклад, -4^0 , 0^0 , 5^0 , 10^0 , 15^0 тощо).

Для зменшення часу розрахунку розроблена комп'ютерна програма. Її блок-схема наведена на рис. 4.

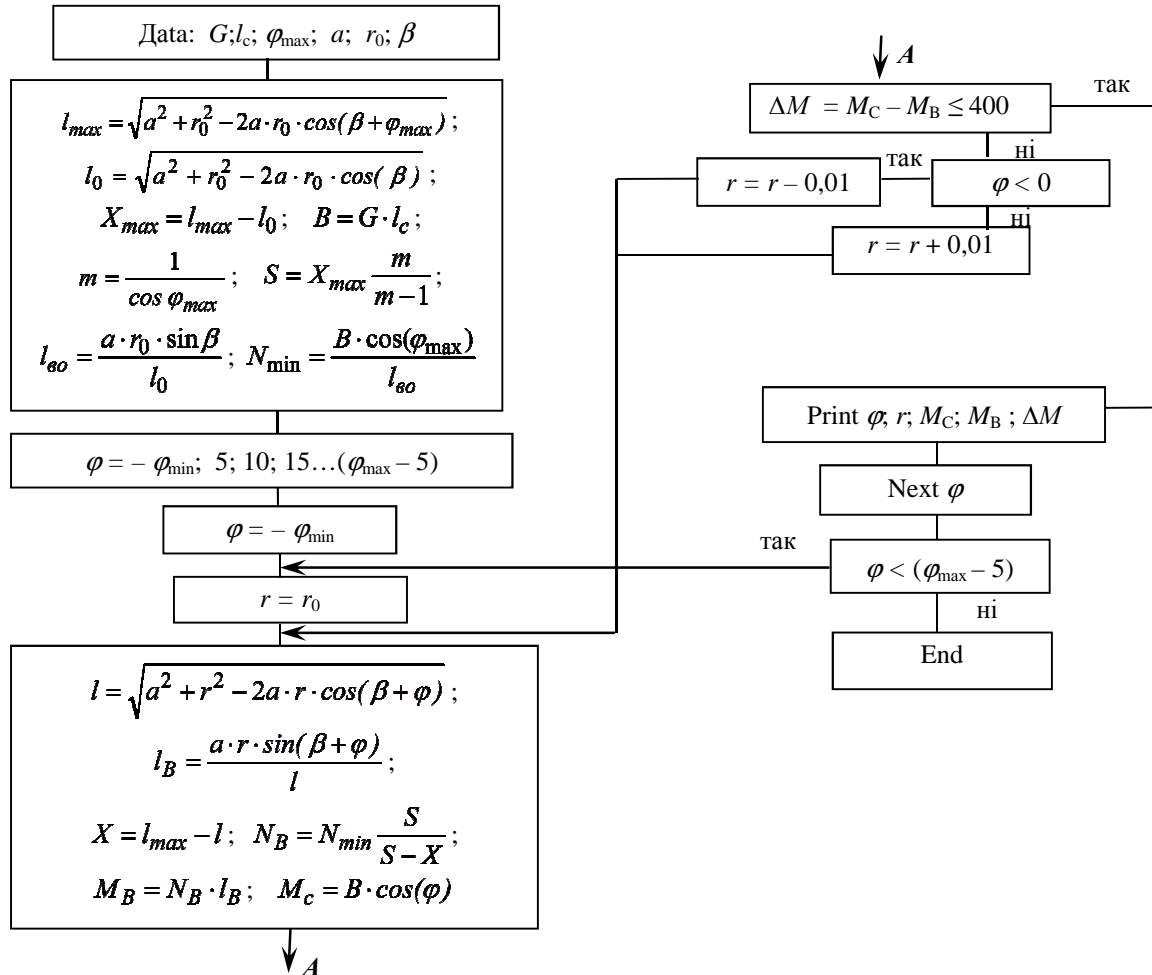


Рис. 4. Блок-схема розрахунку врівноважуючого механізму

На ньому позначені такі параметри:

$X_{\max} = l_{\max} - l_0$; $X = l_{\max} - l$ – максимальний і біжучий хід зовнішнього циліндра;

$m = N_{\max} / N_{\min}$ – ступінь стиснення повітря у зовнішньому циліндрі, де N_{\max} і N_{\min} – найбільша і найменша сили врівноважуючого механізму відповідно при кутах φ_0 і φ_{\max} . Враховуємо, що сила дорівнює моменту, поділеному на плече, тому

$$m = \frac{M_{Bo}}{l_{Bo}} \cdot \frac{l_{Bm}}{M_{Bm}} = \frac{M_{Co}}{M_{Cm}} = \frac{G \cdot l_c \cdot \cos 0^0}{G \cdot l_c \cdot \cos \varphi_{\max}} = \frac{1}{\cos \varphi_{\max}}. \quad (5)$$

Оскільки $r_0 = r_m$, то $l_{B0} = l_{Bm}$. Враховуємо також, що $M_B = M_C = G \cdot l_c \cdot \cos \varphi$.

S – висота об'єму повітря у механізмі при найбільшому куті φ .

Метою розрахунку є визначення моментів сил ствола M_C і врівноважуючого механізму M_B , різниці

моментів $\Delta M = M_C - M_B$, відстані $OA = r$ при умові $\Delta M \leq 400$ Н·м для різних кутів φ підйому ствола від φ_{\min} до φ_{\max} . Результати розрахунку наведені в таблиці.

Моменти потрібні для побудови графіка залежностей моментів сил ствола M_C і врівноважуючих механізмів існуючого типу M_B й запропонованої конструкції M_3 (рис. 5), а значення $r = f(\varphi)$ – для побудови профілю копіра (рис. 6).

З рис. 5 видно, що моменти сил M_3 врівноважуючого механізму запропонованої конструкції відрізняються від моментів ствола M_C на величину ΔM менше 400 Н·м.

На рис. 6 показаний профіль прорізи копіра: в полярних координатах наведені кути φ від 0^0 до 70^0 . На кожному з цих променів відкладена відповідна відстань r . Кінці цих відстаней з'єднані плавною кривою лінією, яка і є профілем прорізи копіра.

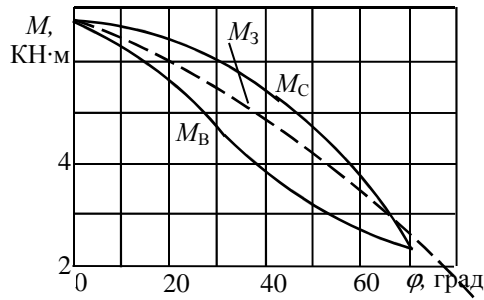


Рис. 5. Моменти сил:
 M_C – ствола;
 Врівноважуючих механізмів:
 M_B – існуючого типу,
 M_3 – запропонованої конструкції

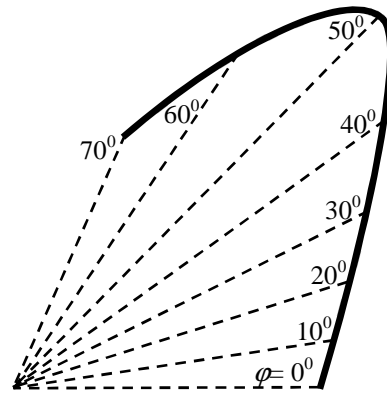


Рис. 6. Профіль прорізи копіра

Таблиця

Результати розрахунку врівноважуючого механізму

Кут ϕ	Неврівноваженість ΔM , Н·м, при відстані r , м												
	$r = 0,27$	0,28	0,29	0,30	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,42	0,44	0,47	0,50
0	$\Delta M = 0$												
5	322												
10	423	339											
15	842	712	416	118									
20	1167	1009	773	540	309								
25	1387	1223	1035	850	670	325							
30	1502	1357	1205	1058	915	645	398						
35	1598	1412	1289	1170	1056	843	651	479	329				
40	1520	1395	1294	1197	1105	935	783	649	533	392			
45	1486	1309	1226	1147	1072	935	814	708	617	508	452	390	
50	1254	1162	1093	1028	967	855	757	672	601	515	472	425	398
55	1090	959	902	848	797	705	625	557	500	432	398		
60	852	706	658	613	571	495	430	374					
65	584	410	370										
70	0												

Копір виконаний у вигляді металевої дошки, у якій вирізана криволінійна прорізь. Два копіра встановлені нерухомо на лафеті по обидва боки від ствола. На люльці паралельно осі ствола закріплені дві напрямні. На напрямних з можливістю ковзання розташовані два верхні шарніри. На них закріплені штирі, які входять в прорізи. При підйомі-опусканні ствола від маховика механізму вертикального наведення залежно від кута ϕ при взаємодії штирів з прорізью копіра довжини r і l змінюються (див. рис. 3). Довжина l забезпечує такі об'єм і тиск в циліндрі врівноважуючого механізму, щоб неврівноваження моментів ΔM було менше за 400 Н·м, при якому навідник вільно обертає маховик механізму вертикального наведення.

Внутрішній діаметр зовнішнього циліндра вибирається конструктивно виходячи з розмірів лафета гармати. Для даної гармати його можна прийняти $d_{\text{вн}} = 100$ мм. Тоді його площа

$$F = 0,785d_{\text{вн}}^2 = 0,785 \cdot 0,1^2 = 0,00785 \text{ м}^2. \quad (6)$$

Площа двох колонок врівноважуючого механізму $F_{\text{ВМ}} = 0,0157 \text{ м}^2$.

Тиск повітря у зовнішньому циліндрі при $\phi = 70^\circ$ (найменший)

$$p_{\text{min}} = \frac{N_{\text{min}}}{F_{\text{ВМ}}} = \frac{10271}{0,0157} = 654 \text{ кПа}, \quad (7)$$

а при $\phi = 0^\circ$ (найбільший)

$$p_{\text{max}} = m \cdot p_{\text{min}} = 2,924 \cdot 654 = 1912 \text{ кПа} \quad (8)$$

Висновки

1. Для пневматичного врівноважуючого механізму гармати запропоновано встановити верхній шарнір ковзаючим по напрямній паралельно осі ствола.

2. Фіксацію положення цього шарніра у певній точці забезпечує спеціальний копир, профіль якого розрахований з умови рівності моментів сил ствола і врівноважуючого механізму.

3. Розроблена комп'ютерна програма розрахунку цих моментів і параметрів врівноважуючого механізму.

4. Дана пропозиція забезпечує суттєве зменшення зусилля на маховику механізму вертикального наведення ствола.

Список літератури

1. Жуков И.И. Артиллерийское вооружение. Основы устройства и конструирование. Учебник / И.И. Жуков. – М.: Машиностроение, 1975. – С. 296.

2. Баранов А.А. Основы теории и расчет уравнивающих механизмов. Учебное пособие / А.А. Баранов. – Л.: Ленинградское высшее артиллерийское училище, 1989. – С. 64.

3. Дерев'яничук А.Й. Основы будови артилерійських гармат: Лафети артилерійських гармат. Навчальний посібник / А.Й. Дерев'яничук – Суми: ВІА, 2001. – С. 82.

4. Корольков Н.Н. Основания устройства и конструкция орудий и боеприпасов наземной артиллерии / Н.Н. Корольков – М.: Воениздат, 1976. – С. 459.

Рецензент: д.т.н., проф. Б.І. Сокіл, Академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, Львів.

Совершенствование пневматического уравнивающего механизма пушки

В.И. Мандрус, Б.О. Середиук, П.В. Савчук, С. В. Бондаренко

Для пневматического уравнивающего механизма пушки предложено установить верхний шарнир скользящим по направляющей параллельно оси ствола. Фиксацию положения этого шарнира в определенной точке обеспечивает специальный копир, профиль которого рассчитан из условия равенства моментов сил ствола и уравнивающего механизма. Приведена блок-схема компьютерной программы расчета этих моментов и параметров уравнивающего механизма. Данное предложение обеспечивает существенное уменьшение усилия на маховике механизма вертикального наведения ствола.

Ключевые слова: пушка, уравнивающий механизм, усилие вертикального наведения ствола.

Perfection of pneumatic equilibrator of a cannon

V. Mandrus, B. Serediuk, P. Savchuk, S. Bondarenko

For the pneumatic equilibration of the cannon it is suggested to set the over head joint sliding along the axis of barrel. Fixing of position of this joint in a certain point is provided by a special cam, the profile of which is expected from the condition of the equalization of the momentums of forces of the barrel and the equilibration mechanism. A block-diagram of the resulted computer program of the calculation of these momentums and parameters of the equilibration mechanism is outlined. This suggestion provides a substantial decrease of the effort on at the fly-wheel of the mechanism of the vertical aiming of the barrel.

Key words: cannon, equilibration mechanism, effort of the vertical aiming of the barrel.