

UDOSKONALONA METODA BEZPOŚREDNIA ROZWIĄZANIA ZADANIA TRAFIENIA CELU DLA TACHOMETRYCZNYCH SYSTEMÓW KIEROWANIA OGNIEM ARTYLERII PRZECIWLOTNICZEJ

Streszczenie:W artykule przedstawiono analizy bezpośredniej metody wyliczania kąta wyprzedzenia celu (punktu spotkania pocisku z celem) dla tachometrycznych celowników używanych w artylerii przeciwlotniczej. Aktualna metoda jest odpowiednia dla armat o zasięgu około 2 km. Autor proponuje nową, udoskonaloną metodę, która przeznaczona jest dla broni o większym zasięgu. Symulacje numeryczne pracy tachometrycznego systemu kierowania ogniem wskazują na dużą efektywność nowego algorytmu. Może on być wykorzystany przy projektowaniu nowoczesnego celownika tachometrycznego dla armat przeciwlotniczych

1. Wstęp

W małokalibrowych przeciwlotniczych zestawach artyleryjskich i raketowo-artyleryjskich powszechnie stosowane są tachometryczne systemy kierowania ogniem. Zaletą tych systemów jest prosta budowa i zdolność szybkiego reagowania na zmieniającą się sytuację na polu walki. O efektywności tachometrycznego systemu kierowania ogniem decyduje możliwość wprowadzania dokładnych danych wejściowych to jest prędkości kątowej celu oraz odległości do celu a także zastosowane algorytmy wyznaczania kąta wyprzedzenia celu. Problemy związane z wprowadzaniem prędkości kątowej celu omawiane były w szeregu publikacji [1], [6], [7]. W niniejszej pracy omówiono dotychczas stosowaną w celownikach tachometrycznych metodę wyznaczania kąta wyprzedzenia celu oraz zaproponowaną przez autora udoskonaloną metodę bezpośrednią, która pozwala na zwiększenie dokładności wyliczanego kąta wyprzedzenia zwłaszcza w systemach pracujących w zestawach o zasięgu do 4000 m.

2. Metoda bezpośrednia rozwiązania zadania trafienia celu

Metodę bezpośrednią wyznaczania kąta wyprzedzenia celu stosować można w systemach, w których możliwe jest określenie prędkości kątowej celu. Jako prędkość kątową celu przyjmuje się prędkość kątową urządzenia śledzącego. Obliczenia przeprowadza się w układzie współrzędnych związanych z celem.

Zależności między położeniem celu A_s , punktem trafienia A_w i stanowiskiem ogniowym O w płaszczyźnie ruchu celu przedstawia rys.1. Płaszczyzna ruchu celu określona jest przez punkt O oraz wektor prędkości celu V_c . W chwili strzału cel poruszający się z prędkością V_c znajduje się w punkcie A_s , w odległości d od stanowiska ogniowego O . Punkt trafienia A_w znajduje się w płaszczyźnie ruchu celu i spełnia warunek:

$$\frac{A_s A_w}{V_c} = \tau_p = f(d_w, \varepsilon).$$

Dla armat małego kalibru i dużej prędkości początkowej pocisku przyjąć można, że czas lotu pocisku jest niezależny od kąta położenia celu ε , a więc zależność powyższa przyjmie postać:

$$\frac{A_s A_w}{V_c} = \tau_p = f(d_w, \varepsilon_{sr}).$$

Z rys. 2 wynika, że kąt wyprzedzenia σ jest różnicą kątów :

$$\sigma = q_w - q_s,$$

gdzie:

q_w - kąt kursu w punkcie trafienia,
 q_s - kąt kursu w punkcie strzału.

Jeżeli przestrzenny kąt kursu rozwinię się w szereg Taylora otrzyma się wyrażenie:

$$q_w(t) = q(t_0) + \frac{1}{1!} \dot{q} \Delta t + \frac{1}{2!} \ddot{q} \Delta t^2 + \dots$$

Uwzględniając, że pierwsza pochodna kąta kursu dla chwili strzału jest prędkością kątową śledzenia celu i przyjmując przyrost czasu równy czasowi lotu pocisku τ_p , otrzymać można :

$$q_w - q_s = \sigma = \omega \tau_p + \frac{1}{2} \dot{\omega} \tau_p^2 + \dots$$

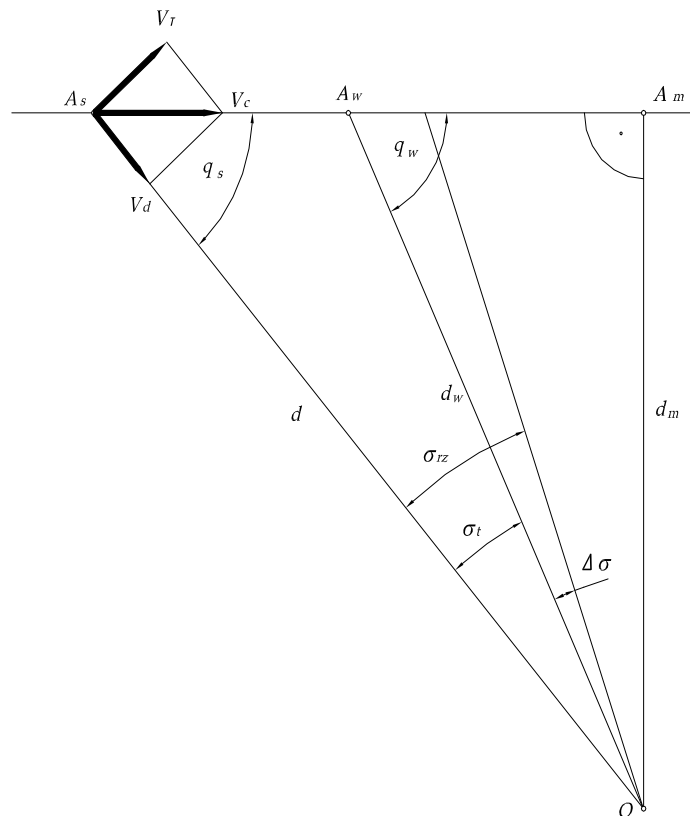
Pomijając dalsze wyrazy szeregu Taylora przyjmuje się liniowe przybliżenie wartości kąta wyprzedzenia σ w postaci:

$$\sigma = \omega \tau,$$

gdzie:

ω - prędkość kątowa celu,
 τ - poprawiony czas lotu pocisku.

Jak wynika z wyżej przytoczonych zależności, do przelicznika obliczającego kąt wyprzedzenia, muszą być wprowadzone co najmniej dwie wielkości: ω oraz τ .



Rys.1. Zależności kątowe w płaszczyźnie ruchu celu.

Pomiar i następnie wprowadzenie do przelicznika aktualnej prędkości kątowej realizowane jest przez pomiar prędkości kątowej urządzenia śledzącego cel ω_c i przyjęciu, że prędkość ta jest równa prędkości kątowej celu ω . Dokładność określenia prędkości kątowej celu zależy zatem od jakości procesu śledzenia celu przez głowicę śledzącą. W przypadku gdy urządzenie śledzące służy jedynie do określania prędkości kątowej celu, pomiar ten jest dość dokładny, jednak gdy urządzenie to jest włączone do procesu wycelowania armaty do celu z uwzględnieniem kąta wyprzedzenia, pomiar prędkości kątowej jest zakłócany przez dodatkowe ruchy armaty, wynikające z naprowadzania luf w żądane położenie.

Poprawiony czas lotu pocisku τ uwzględnia błędy systematyczne wynikające z odrzucenia dalszych wyrazów rozwinięcia w szereg kąta σ oraz z przyjęcia do wyznaczania czasu lotu pocisku odległości do celu w czasie strzału d a nie odległości do punktu trafienia d_w .

Rzeczywistą odległość do celu d , przy strzelaniu z małokalibrowej artylerii przeciwlotniczej, można mierzyć przy pomocy dalmierza lub też szacować „na oko”. Aktualnie w wojskach obrony przeciwlotniczej stosuje się dalmierze radarowe, laserowe i optyczne. Najbardziej rozpowszechnione dalmierze radarowe, użytkowane w systemach kierowania ogniem broni przeciwlotniczej mają maksymalny zasięg od 6 do 15 km, a średni błąd pomiaru nie przekracza 0,5-1,0% mierzonej odległości.

Wyższą dokładnością cechują się dalmierze laserowe. Średni błąd pomiaru odległości nie przekracza w ich przypadku 5-10 metrów. Dalmierze laserowe znalazły zastosowanie głównie w systemach kierowania ogniem broni przeciwpancernej. W artylerii przeciwlotniczej do niedawna były rzadziej stosowane, z uwagi na konieczność mierzenia odległości w krótkich odstępach czasu. Aktualnie produkowane dalmierze laserowe posiadają

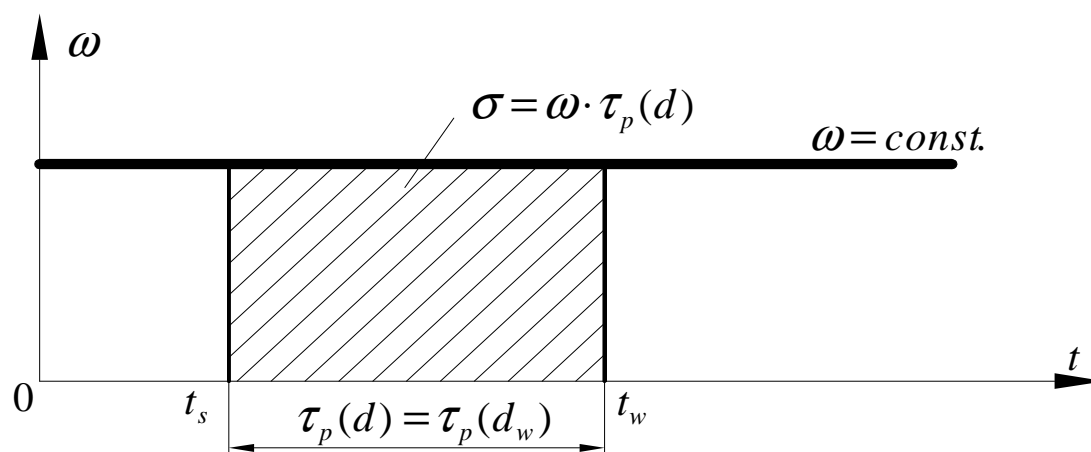
już wysoką częstotliwość powtarzania pomiarów i niewielkie gabaryty co powoduje, że są coraz częściej użytkowane w SKO małokalibrowej broni obrony powietrznej. Dalmierze optyczne, które są obecnie wycofywane z uzbrojenia cechują się średnim błędem pomiaru odległości rzędu 3 do 7% odległości.

W przeciwlotniczej broni maszynowej i artylerii małego kalibru stosuje się także metodę szacowania odległości „na oko”. W zależności od stopnia wyszkolenia celowniczego, średnie błędy wynoszą od 10 do 15% ocenianej odległości, co w niektórych przypadkach jest wystarczające do prowadzenia celnego ognia.

Poniżej przedstawione zostaną sposoby wyznaczania czasu lotu pocisku do celu τ , który jest funkcją odległości do celu d . Odległość do celu d może być mierzona i wprowadzana automatycznie do przelicznika bezpośrednio z dalmierza optycznego, laserowego lub radarowego, może być założona przed otwarciem ognia jako stała, średnia odległość strzelania, może być także wyznaczana na podstawie wprowadzonych przed rozpoczęciem strzelania różnych parametrów ruchu celu. Są to tzw. metody pośredniego określania odległości. We współczesnych tachometrycznych systemach kierowania ogniem armat małokalibrowych, pośrednie metody określania odległości są często stosowane i jak się okazuje, zapewniają wysoką efektywność przy zwalczaniu celów powietrznych poruszających się na niskich wysokościach.

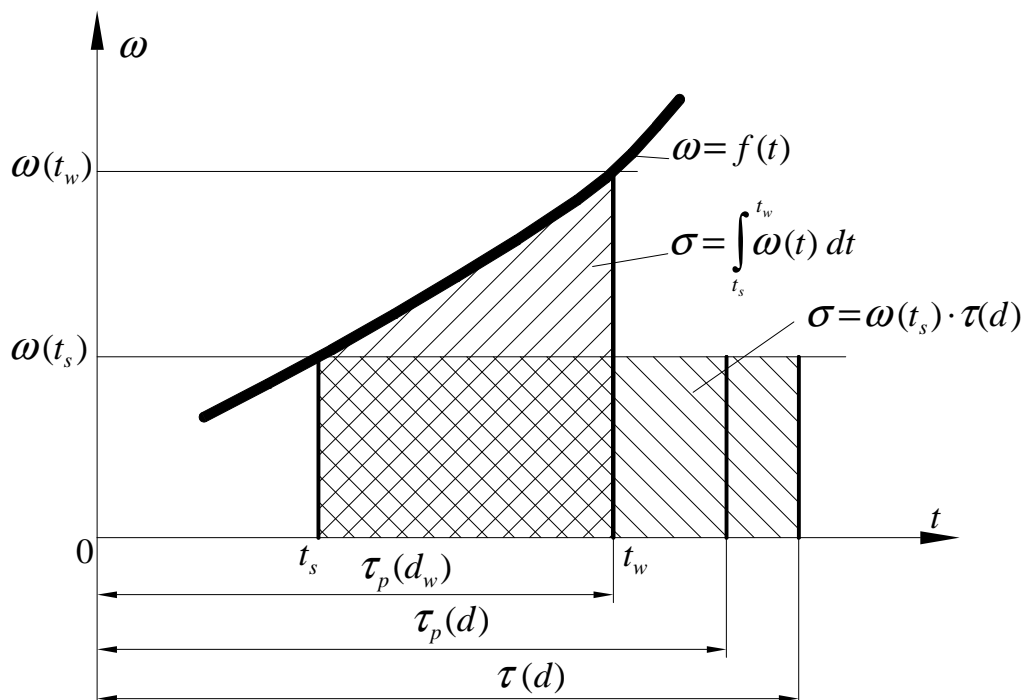
Przed omówieniem problemów związanych z określaniem odległości do celu d , należy wyjaśnić sposób wyznaczania poprawionego czasu lotu pocisku τ jako funkcji odległości do celu w momencie strzału d .

Założmy, że cel porusza się po okręgu o promieniu d ze stałą prędkością kątową ω . Kąt wyprzedzenia σ , może być w tym przypadku określony jako pole prostokąta S (rys. 3). Zauważmy, że przy takiej trajektorii ruchu celu prędkość kątowa w chwili strzału ω , jest równa prędkości kątowej celu w momencie, gdy znajdzie się on w punkcie trafienia oraz, że odległość do celu w chwili strzału jest równa odległości do punktu trafienia. Czas lotu pocisku τ_p przyjęty do obliczeń kąta wyprzedzenia σ jest zatem funkcją odległości do celu d , określoną wyłącznie własnościami balistycznymi pocisku.



Rys.2. Kąt wyprzedzenia w przypadku lotu celu po okręgu.

Wszelkie zmiany prędkości kątowej ω , w czasie lotu pocisku do celu, jak i zmiany odległości, powodują błędy w wyznaczaniu kąta wyprzedzenia σ . W celu zmniejszenia wartości błędu kąta wyprzedzenia modyfikuje się zależność określającą czas lotu pocisku, przyjmując do obliczeń tzw. poprawiony czas lotu. Rysunek 4 ilustruje wyznaczanie kąta wyprzedzenia σ , dla zmieniającej się, w trakcie lotu pocisku, prędkości kątowej celu ω i odległości celu od stanowiska ogniowego d . W chwili oddania strzału t_s , cel porusza się z prędkością kątową ω_s i znajduje się w odległości d . Czas lotu pocisku na odległość d wynosi $\tau_p(d)$. Odległość do celu nieprzerwanie maleje. Trafienie celu może nastąpić jedynie w momencie t_w , to jest po czasie lotu pocisku na odległość wyprzedzoną $\tau_p(d_w)$. W tym samym czasie prędkość kątowa ω wzrosnie do wartości ω_w .



Rys.3. Graficzna ilustracja określenia poprawionego czasu lotu pocisku.

Jak zatem wynika z rysunku 3 kąt wyprzedzenia σ określić można zależnością:

$$\sigma = \int_{t_s}^{t_w} \omega(t) dt$$

Poprawiony czas lotu pocisku w funkcji odległości do celu w chwili strzału d wyrazi się wzorem:

$$\tau(d) = \frac{\int_{t_s}^{t_w} \omega(t) dt}{\omega_{t=t_s}}$$

Zależność ta jest podstawą do wyznaczania poprawionego czasu lotu pocisku. Dla zmieniających się parametrów ruchu celu: prędkości liniowej - V i odległości minimalnej przelotu celu obok stanowiska ogniowego - d_m funkcja $\tau(d)$ także się zmienia.

Z powyższych analiz wynika, że w praktyce określenie funkcji $\tau(d)$ należy przeprowadzać w sposób następujący.

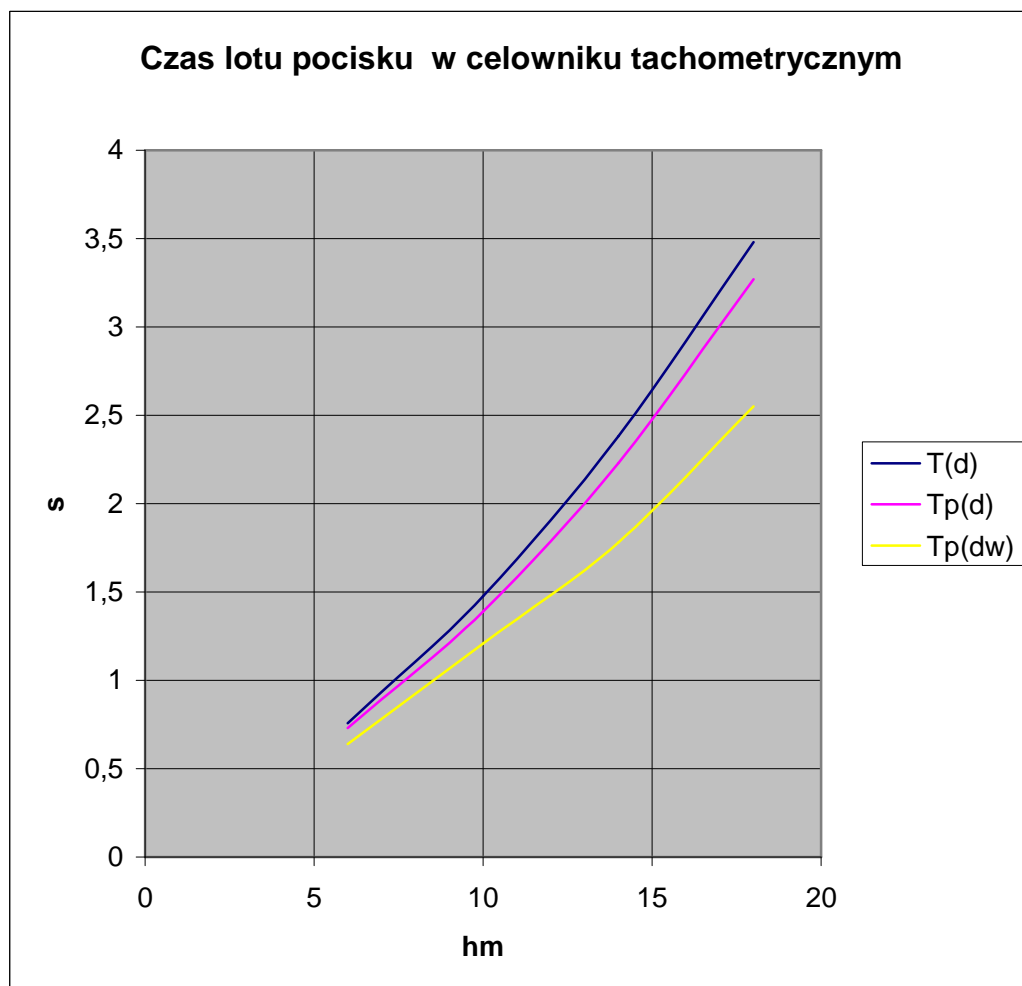
Dla najbardziej typowych, przewidywanych w warunkach bojowych trajektorii lotu celu oraz parametrów lotu: prędkości liniowej - V i odległości minimalnej od stanowiska ogniowego - d_m wylicza się funkcje $\tau = f(d)$ przy $d_m = \text{const}$ i $V = \text{const}$, a następnie wyznacza się średnią $\tau = f(d)$, którą przyjmuje się jako podstawę do wyznaczania czasu lotu pocisku w przeliczniku celownika tachometrycznego. Funkcja opisująca poprawiony czas lotu pocisku może być przedstawiona w postaci wielomianu drugiego rzędu:

$$\tau(d)_{\varepsilon=\varepsilon_{sr}} = Ad + Bd^2$$

gdzie:

A i B – parametry zależne od balistycznych charakterystyk pocisku, przyjętych założeń o ruchu celu i własności dynamicznych celownika.

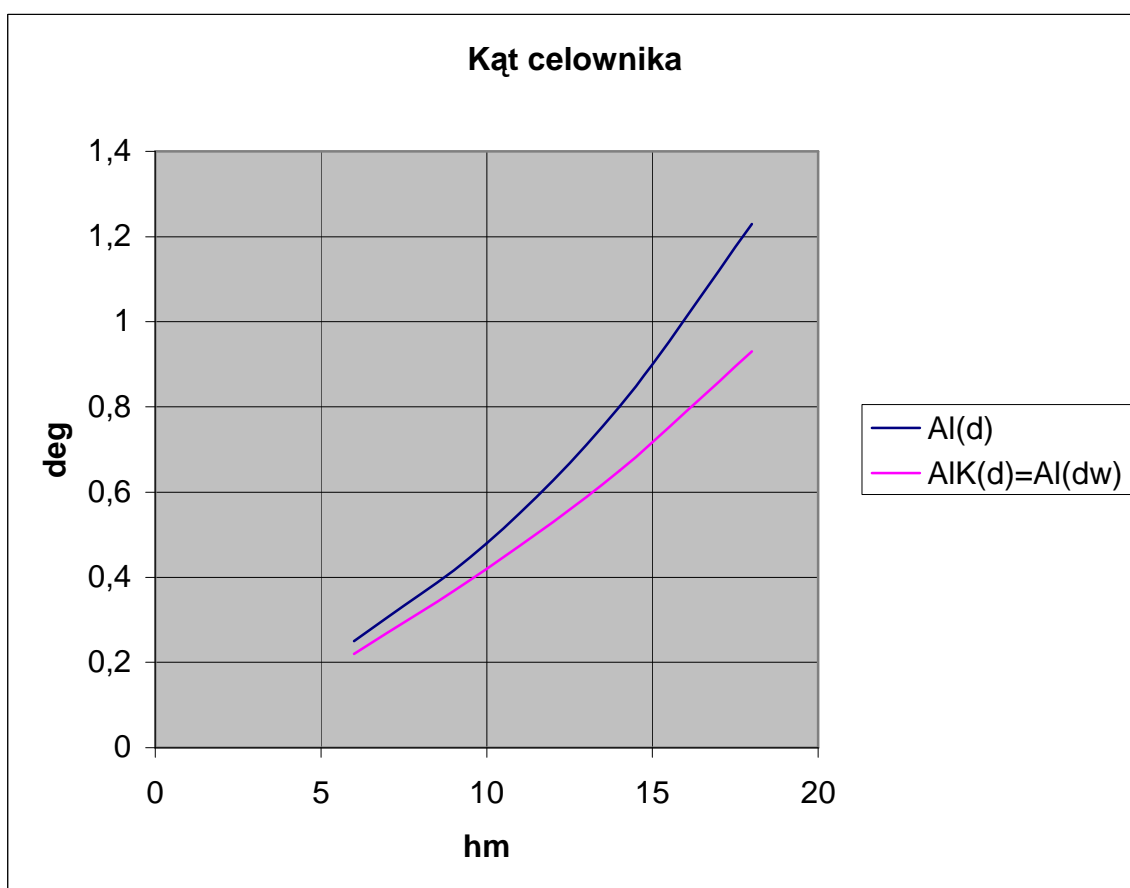
Wyznaczone funkcje czasów lotu pocisku: $\tau_p(d_w)$, $\tau_p(d)$, $\tau = f(d)$, dla 23 mm armaty przeciwlotniczej ZU-23-2 zobrazowane są na rys.4.



Rys.4. Wykresy czasów lotu pocisku $\tau_p(d_w)$, $\tau_p(d)$, $\tau = f(d)$, dla 23 mm armaty przeciwlotniczej ZU-23-2.

Przedstawione na rys.4 wykresy pokazują, że wraz ze zwiększaniem się odległości zwalczanego celu różnice pomiędzy $\tau_p(d_w)$, $\tau_p(d)$, $\tau = f(d)$ rosną wykładniczo. Powoduje to zwiększanie się błędów wypracowywanego kąta wyprzedzenia dla innych niż złożone trajektorie lotu celu. Można przyjąć, że do odległości 15-18 hm dokładność wypracowywanego kąta wyprzedzenia jest wystarczająca, ponieważ będzie porównywalna z rozrzutem 23 mm armaty (promień koła obejmującego 80% pocisków wynosi 7,5 mrad).

W systemie kierowania ogniem zestawu przeciwlotniczego oprócz określenia funkcji czasu lotu pocisku, wymaganego do obliczenia kąta wyprzedzenia, należy także określić funkcję kąta celownika. Wielkość ta zależy od odległości do punktu trafienia d_w . Jak wyżej wspomniano w systemie dostępna jest jedynie informacja o odległości do celu w chwili strzału d . Należy zatem uwzględniając typowe trajektorie ruchu celu wyznaczyć najbardziej prawdopodobne odległości punktu wyprzedzonego dla poszczególnych odległości strzału, określić dla nich kąty celownika $\alpha(d_w)$ na podstawie tabel strzelniczych i przypisać je poprzednio założonym odległościom strzału d otrzymując kąt celownika skorygowany $\alpha_K(d)$.



Rys.5. Wykresy tabelarycznego kąta celownika $\alpha(d)$ i skorygowanego kąta celownika $\alpha_K(d) = \alpha(d_w)$ dla 23 mm armaty ZU 23-2.

Powyższe analizy wskazują, że dla armat kalibru 23 mm, dla których odległość skutecznego ognia wynosi ok. 20 hm a odpowiadający tej odległości czas lotu pocisku poprawiony jest mniejszy od 3 sekund, bezpośrednia metoda wyznaczania kąta wyprzedzenia σ opierająca się na iloczynie prędkości kątowej śledzenia celu i poprawionego czasu lotu pocisku do celu $\tau = f(d)$ zapewnia wystarczającą dokładność pracy systemu kierowania ogniem z zależnym pomiarem prędkości kątowej celu i elementami korekcyjnymi w

przeliczniku i układzie napędowym armaty. Także wprowadzana wartość kąta celownika $\alpha_K(d) = \alpha(d_w)$ odpowiada wielkości zapewniającej trafienie celu w punkcie wyprzedzonym .

3. Rozwiązanie zadania trafienia celu udoskonaloną metodą bezpośrednią

Produkowane w Polsce na licencji szwajcarskiej przez HSW Stalowa Wola armaty automatyczne KDA kalibru 35 mm posiadają donośność skuteczną około 4000 m. Czas lotu pocisku odłamkowo-burzącego na tą odległość wynosi około 6 sekund. W związku z tym zastosowanie w module wyliczającym kąt wyprzedzenia celu metody bezpośredniej w jej najprostszej postaci omówionej w poprzednim rozdziale jest będzie mało efektywne, gdyż błędy teoretyczne gwałtownie rosnące wraz ze zwiększaniem się czasu lotu pocisku nie pozwolą w pełni wykorzystać możliwości zwiększenia zasięgu prowadzenia strzelania.

Poniżej przedstawiona jest udoskonalona metoda bezpośrednia wyznaczania kąta wyprzedzenia przeznaczona do wykorzystania w artyleryjskich zestawach przeciwlotniczych o zasięgu 4-5 km. W metodzie tej wykorzystuje się pomiar prędkości kątowej celu (podobnie jak w celownikach tachometrycznych omówionych poprzednio) oraz prędkość zbliżania się celu do stanowiska ogniowego, mierzoną w dowolnych momentach lotu celu. Proponowana metoda pozwala na wprowadzanie poprawek wynikających z warunków balistycznych (odchyłki prędkości początkowej pocisku) oraz z aktualnych warunków meteorologicznych.

Schemat obliczeń kąta wyprzedzenia wg udoskonalonej metody bezpośredniej

Danymi wejściowymi są:

- prędkość kątowa urządzenia śledzącego cel w płaszczyźnie poziomej ω_β ,
- prędkość kątowa urządzenia śledzącego cel w płaszczyźnie pionowej ω_ε ,
- kąt położenia celu w momencie strzału ε_s ,
- odległość do celu d .

Wielkościami wyjściowymi będą:

- kąt wyprzedzenia celu względem linii celowania w płaszczyźnie poziomej σ_H ,
- kąt wyprzedzenia celu względem linii celowania w płaszczyźnie pionowej łącznie z kątem celownika $\Delta\varepsilon = \sigma_V + \alpha$.

Kolejność obliczeń:

1. Prędkość kątowa w pł. ruchu celu

$$\omega = \sqrt{(\omega_\beta \cos \varepsilon_s)^2 + \omega_\varepsilon^2}$$

2. Określenie odległości do celu w przypadku gdy brak jest aktualnej wartości z pomiaru

$$d = d_o \sqrt{\frac{\omega_o}{\omega}}$$

gdzie:

d_o - odległość do celu wg ostatniego pomiaru,

ω_o - prędkość kątowa w momencie ostatniego pomiaru odległości

do celu,

ω - aktualna prędkość kątowa celu.

3. Składowa promieniowa prędkości celu

$$V_d = \frac{\Delta d}{\Delta t}$$

gdzie:

Δt - czas pomiędzy kolejnymi wiarygodnymi pomiarami odległości do celu,

Δd - różnica odległości według kolejnych pomiarów.

4. Czas lotu pocisku

$$\tau_p = A(e^{Bd} - 1)$$

lub

$$\tau_p = Ad + Bd^2 + Hd^3$$

gdzie:

A,B,H - stałe wyznaczone wg danych zawartych w tabelach strzelniczych.

5. Odległość poprawiona

$$d_{red} = d + K_p V_d \tau_p$$

gdzie:

K_p - współcz. poprawkowy

6. Czas lotu pocisku poprawiony

$$\tau_l = A(e^{Bd_{red}} - 1)$$

lub

$$\tau_l = Ad_{red} + Bd_{red}^2 + Hd_{red}^3$$

gdzie:

A,B,H - stałe wyznaczone wg danych zawartych w tabelach strzelniczych.

7. Czas lotu pocisku poprawiony z uwzględnieniem korekcji na warunki meteorologiczne

$$\tau = \tau_l + \Delta\tau$$

gdzie:

$\Delta\tau$ - poprawka czasu lotu wyliczona wg zależności korekcyjnych.

8. Składowa pionowa kąta wyprzedzenia

$$\sigma_v = \omega_\epsilon \tau$$

9. Obliczenie kąta położenia punktu wyprzedzonego

$$\epsilon_w = \epsilon_s + \sigma_v$$

10. Obliczenie odległości wyprzedzonej

$$d_w = d + K_C V_d \tau_p$$

gdzie:

K_C - współcz. zbliżania się celu.

11. Kąt celownika dla odległości wyprzedzonej

$$\alpha_0 = \left(Cd_w + Dd_w^2 + Ed_w^3 + F \right) + \Delta\alpha_0$$

gdzie:

$\Delta\alpha_0$ - poprawka kąta celownika wyliczona wg zależności korekcyjnych

$$\alpha = \alpha_0 \cos \varepsilon_w$$

12. Obliczenie kąta wyprzedzenia celu względem linii celowania w pł. pionowej z uwzględnieniem kąta celownika

$$\Delta\varepsilon = \sigma_V + \alpha$$

13. Składowa pozioma kąta wyprzedzenia

$$\sigma_H = \omega_\beta \tau + \Delta\beta$$

gdzie: $\Delta\beta$ - poprawka azymutu wyliczona wg zależności korekcyjnych.

Wartości stałych wynikające z przeprowadzonej aproksymacji tabel strzelniczych do 35 mm armaty przeciwlotniczej:

$$A = 1/12; B = 1/700$$

$$K_P = - 1/4$$

$$K_C = - 0,66$$

$$C = 0,22; D = 0,008; E = 0,00017; F = 0,7.$$

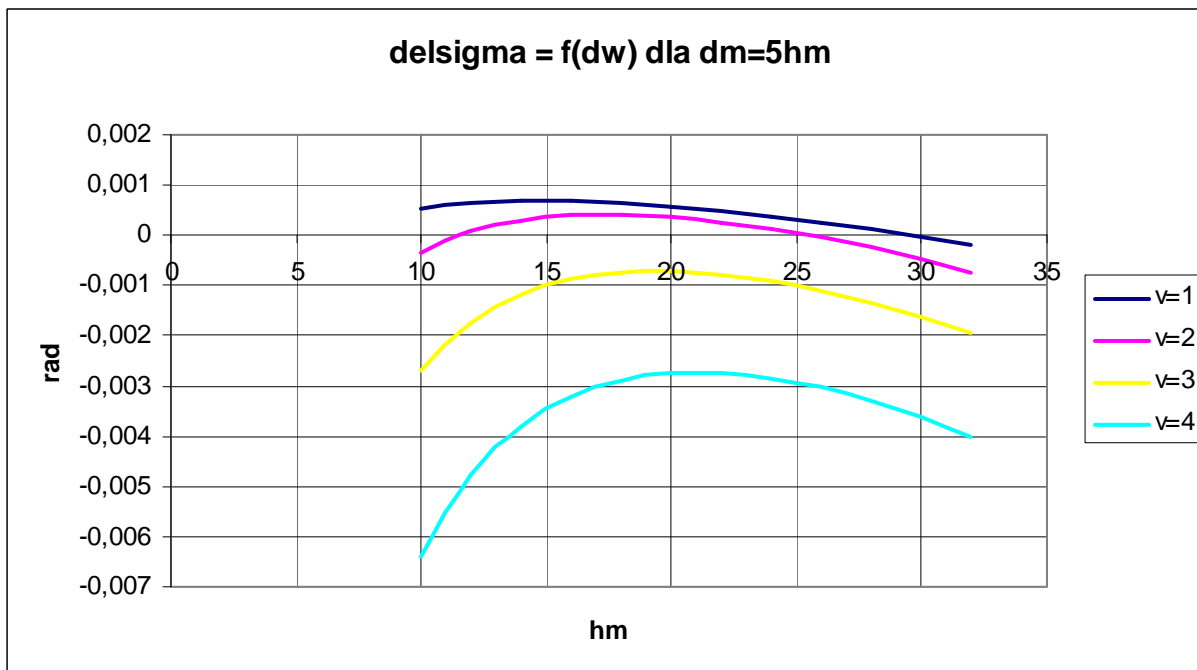
4. Symulacja pracy przelicznika zbudowanego na bazie udoskonalonej metody bezpośredniej w tachometrycznym systemie kierowania ogniem

Wykorzystując przedstawiony powyżej schemat obliczeń kąta wyprzedzenia według udoskonalonej metody bezpośredniej przeprowadzono symulację pracy przelicznika w tachometrycznym systemie kierowania ogniem.

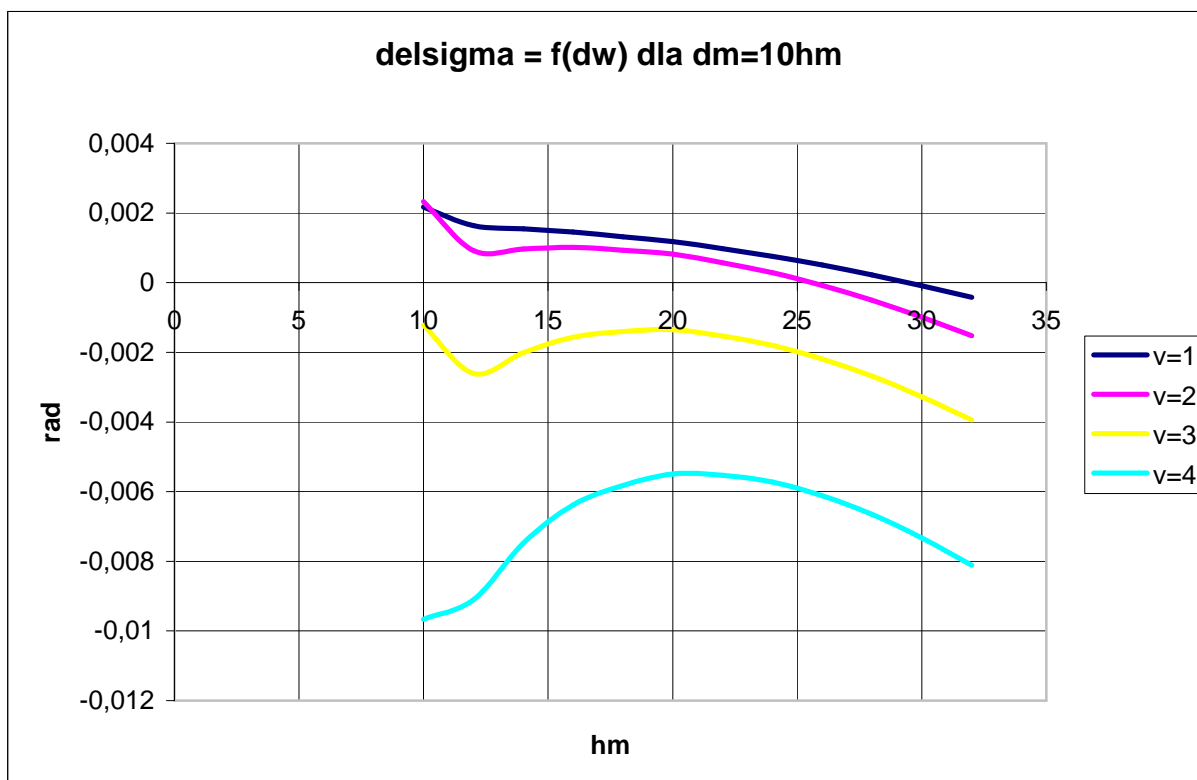
Obliczenia wykonano przyjmując następujące założenia:

- cel porusza się ruchem prostoliniowym ze stałą prędkością V ,
- odległość minimalna przelotu celu obok stanowiska ogniowego wynosi d_M
- dane balistyczne odpowiadają danym pocisku wystrzeliwanego z 35 mm armaty przeciwlotniczej KDA.

Wartości błędów wyliczonego kąta wyprzedzenia celu w odniesieniu do teoretycznego kąta wyprzedzenia otrzymane w badaniach symulacyjnych przedstawiono na wykresach rys. 6 i rys. 7. Rys. 6 przedstawia krzywe obrazujące błędy kąta wyprzedzenia dla trajektorii celu o odległości minimalnej $d_M = 5$ hm i prędkości celu od 1 do 4 hm/s, natomiast rys. 7 dla $d_M = 10$ hm/s i tych samych prędkości celu.



Rys.6. Błędy kąta wyprzedzenia celu wypracowywanego w przeliczniku w funkcji odległości punktu trafienia dla $d_M=5$ hm.



Rys.7. Błędy kąta wyprzedzenia celu wypracowywanego w przeliczniku w funkcji odległości punktu trafienia dla $d_M=10$ hm.

Przedstawione powyżej wyniki liczbowe symulacji pracy przelicznika celownika zbudowanego na bazie zaproponowanej w niniejszym opracowaniu udoskonalonej metody bezpośredniej rozwiązania zadania trafienia wskazują na wysoką efektywność metody.

Na przeważającej części trajektorii lotu błędy wypracowywanego kąta wyprzedzenia nie przekraczają wartości 2 mrad. Jedynie dla prędkości lotu wynoszącej $V = 4$ hm/s błędy rosną do $6 \div 8$ mrad (dla odległości minimalnej równej 10 hm). Jeżeli uwzględnimy, że uchylenie prawdopodobne 35 mm pocisków wynosi $4 \div 5$ mrad, to można twierdzić, że dokładność metody zapewnia trafienie w czasie przelotu celu w zasięgu skutecznego ognia armaty KDA.

5. Wnioski

1. Przeprowadzone w ramach niniejszej pracy analizy i badania symulacyjne wskazują, że małokalibrowe zestawy przeciwlotnicze z tachometrycznymi systemami kierowania ogniem z korekcją w przeliczniku i układzie napędowym mogą zapewnić wysoką efektywność zwalczania celów powietrznych poruszających się z dużymi prędkościami na niskich wysokościach.
2. Tachometryczne systemy kierowania ogniem dla zestawów uzbrojonych w 23 mm armaty mogą wykorzystywać dla wyznaczania kąta wyprzedzenia celu metodę bezpośrednią.
3. W tachometrycznych systemach kierowania ogniem przeznaczonych dla zestawów uzbrojonych w 35 mm armaty należy pożądanym jest wykorzystanie zaproponowanej w niniejszej pracy, udoskonalonej metody wyznaczania kąta wyprzedzenia w celu pełnego wykorzystania własności balistycznych broni.

Literatura

- [1] Pankowski Z.: Zagadnienie stabilności układu operator-celownik tachometryczny „sztywno” połączony z armatą – PROBL. TECH. UZBR. I RADIOL. 29/1977
- [2] Pankowski Z.: Tachometryczne układy kierowania ogniem – WOJSK. PRZ. TECH. Nr 12/1987
- [3] Pankowski Z., Kuśnierz T., Magier M.,--:Urządzenie szkolno-treningowe do zestawu przeciwlotniczego - PROBL. TECH. UZBR. 79/2001
- [4] Pankowski Z.: Wpływ parametrów dynamicznych celownika tachometrycznego na efektywność zestawu przeciwlotniczego z „zależnym” pomiarem prędkości kątowej celu - PROBL. TECH. UZBR. 85/2002
- [5] Pankowski Z.: Optymalizacja parametrów dynamicznych celownika tachometrycznego w zależności od prędkości kątowej celu –PROBL. TECH. UZBR.3/2003.
- [6] Pankowski Z.: Tachometryczny system kierowania ogniem z zależnym pomiarem prędkości kątowej i elementami korekcyjnymi w przeliczniku i układzie napędowym – PROBL. TECH. UZBR.4/2006.
- [7] Pankowski Z.: Badania symulacyjne tachometrycznego systemu kierowania ogniem z zależnym pomiarem prędkości kątowej z korekcją w przeliczniku i układzie napędowym-PROBL. TECH. UZBR. 2/2007.

THE IMPROVE DIRECT CALCULATION METHOD OF LEAD ANGLE FOR TACHOMETRIC FIRE CONTROL SYSTEMS OF ANTI-AIRCRAFT ARTILLERY

Abstract: The paper presents analysis of direct calculation method of lead angle (point of meeting a projectile and target) for tachometric sight used in anti-aircraft artillery. The present method is appropriate for guns with a range about 2 km. The author proposes new improved calculation method which is intended for weapons with longer range. The numerical simulation of tachometric fire control system work shows good effectiveness of new method. It could be the base for design of modern tachometric sights for anti-aircraft guns.