

Grey Scale #13



DANES-PICTA.COM

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19



AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO  
im. gen. broni K. Swierczewskiego

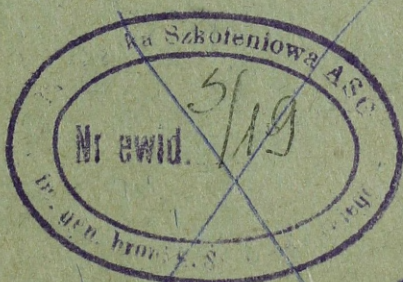
KATEDRA Nr 7

52

mjr dypl. Józef ZABŁOTNI

Temat: TEORETYCZNE PODSTAWY REALIZACJI  
SPOSOBÓW STRZELANIA ARTYLERII  
PRZECIWLOTNICZEJ

(Skrypt)



4288

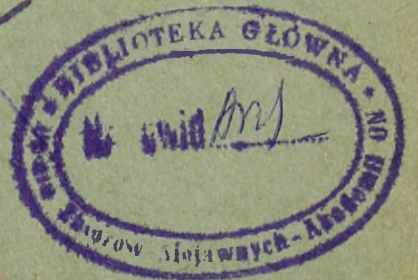
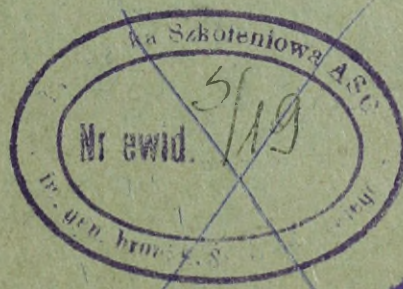
1961



mjr dypl. Józef ZABŁOTNI

**Temat: TEORETYCZNE PODSTAWY REALIZACJI  
SPOSOBÓW STRZELANIA ARTYLERII  
PRZECIWLOTNICZEJ**

(Skrypt)



4288

A K A D E M I A   S Z T A B U   G E N E R A L N E G O

im. gen. broni K. Swierozewskiego

KATEDRA NR 7

52

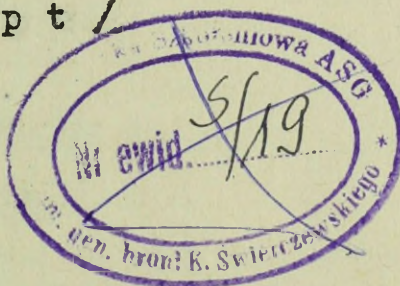
"ZATWIERDZAM"  
SZEF KATEDRY NR 7

płk dypl.prof. Józef DAC

mjr dypl. Józef ZABŁOTNI

Temat: TEORETYCZNE PODSTAWY REALIZACJI SPOSOBOW.  
STRZELANIA ARTYLERII PRZECIWLOTNICZEJ.

/ s k r y p t /



"ZGADZAM SIE"  
ZASTEPCA SZEFA KATEDRY NR 7

Ppłk dypl. Stefan MAKOWSKI



REMBERTOW

- l u t y -

1961r.

T R E Ś Ć      S K R Y P T U

1. Istota strzelania artylerii przeciwlotniczej do celów powietrznych.
2. Przygotowanie strzału / salwy/
3. Współrzędne celu.
4. Czynniki ruchu celu.
5. Zależność między układami czynników ruchu celu.
6. Prawa zmiany współrzędnych celu ruchomego.
7. Hipotezy ruchu celu.
8. Sposoby i metody rozwiązania zadania spotkania pocisku z celem.
9. Wycelowanie dział.
10. Możliwości dział przeciwlotniczych.

Literatura wykorzystana do opracowania skryptu:

Podręcznik: Teoria strzelania art.plot.- 1954r.

Podręcznik: N.G. Razorienow. Osnowy ustrojstwa i eksploatacji PUAZO

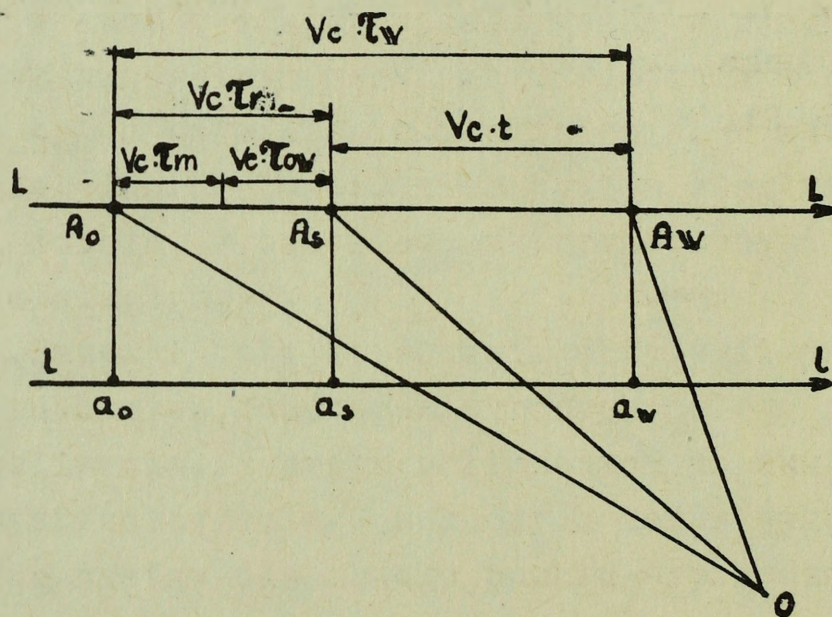
Podręcznik: Strielba zenitnej artylerii.

1. Istota strzelania artylerii przeciwlotniczej do celów powietrznych.

Strzelanie do celów powietrznych poruszających się w przestrzeni z dużą prędkością i posiadających duże możliwości manewrowe, zasadniczo różni się od strzelania do celów nieruchomych.

Przy strzelaniu do celów nieruchomych działo wycelowuje się w cel przez nastawienie na nim takich wartości azymutu i kąta podniesienia, przy których tor pocisku przejdzie przez cel.

Przy strzelaniu do celów powietrznych poruszających się z dużymi prędkościami należy uwzględnić wyprzedzenia odpowiadające przesunięciu celu w czasie potrzebnym na przygotowanie działa do wystrzału i w czasie lotu pocisku do celu.



Rys. 1.1. Trójkąt wyprzedzenia

W celu zrozumienia powyższego zagadnienia rozpatrzmy niektóre określenia / rys. 1.1/.

- O - miejsce znajdowania się działa przyjęte za punkt,
- Ao - początkowe położenie celu - punkt w przestrzeni, w którym znajduje się cel ruchomy w chwili ostatniego określenia współrzędnych wykorzystanych do przygotowania strzału/salwy/;

- $A_s$  - punkt strzału - punkt w przestrzeni, w którym znajduje się cel ruchomy w chwili oddania strzału salwy;
- $A_w$  - punkt wyprzedzony - punkt w przestrzeni, w którym według obliczeń pocisk powinien spotkać się z ruchomym celem;
- $T_m$  - Czas przelicznika / martwy / odstęp czasu między momentem początkowym / odpowiadającym pkt  $A_0$  / a momentem ukończenia przekazywania danych z przelicznika na działą;
- $T_{ow}$  - czas opóźnienia wystrzału - odstęp czasu między momentem przekazania ostatniej nastawy na działą a momentem gotowości dział do odpalenia;
- $T_r$  - Czas roboczy - odstęp czasu między momentem początkowym a momentem odpalenia:  $T = T_r + T_{ow}$ ;
- $T_w$  - czas wyprzedzenia - odstęp czasu między momentem początkowym a obliczonym momentem spotkania się pocisku z celami:  $T_w = T_r + t$ , gdzie  $t$  - czas lotu pocisku do punktu wyprzedzonego.

Z określeń i rys.1.1. wynika że działą wyceLOWUJE się nie w pkt  $A_0$ , ani też w punkt  $A_s$  lecz w punkt wyprzedzony -  $A_w$ . Odcinek  $A_0 A_s$  cel przebywa w czasie roboczym -  $T_r$ . Przy obecnych automatycznych przelicznikach z elektromaszynowym napędem synchronicznym przekazywania danych na działą baterii czas roboczy  $T_r$  równy jest zeru, a punkt  $A_0$  pokrywa się z punktem  $A_s$ . Tylko w niektórych sposobach strzelania bez przelicznika / ogień zaporowy / czas roboczy jest różny do zera.

Odcinek  $A_s A_w$  cel przebywa w czasie lotu pocisku -  $t$  do punktu wyprzedzonego. Odcinek ten nosi nazwę wektora wyprzedzenia lub wyprzedzenia liniowego -  $\Delta S$ , innymi słowy odcinek  $\Delta S = A_s A_w = V_c \cdot t$  - odległość między punktem strzału a punktem wyprzedzonym mierzona wzdłuż kursu celu.

Aby skierować pocisk w punkt wyprzedzony -  $A_w$  trzeba znać jego geometryczne współrzędne w oparciu, o które określa się nastawy na działa i zapalnik.

Do wyznaczenia współrzędnych punktu  $A_w$ /rozwiązanie zadania spotkania należy znać bieżące współrzędne celu, wielkość i kierunek wektora prędkości celu- $V_c$ , a także charakter ruchu celu w czasie lotu pocisku do punktu wyprzedzonego.

Bieżące współrzędne celu określa się w wyniku sledzenia go przez RSA lub przyrządy optyczne. Określenie wielkości i kierunku wektora prędkości celu, rozwiązanie zadania spotkania oraz określenia nastaw na działa i nastawy zapalnika dokonuje w sposób ciągły przelicznik. Wypracowane nastawy: azymut wyprzedzony, kąt podniesienia i zapalnik/ w mk bez nastawy zapalnika/ są przekazywane synchronicznie w sposób ciągły na działa, a ponieważ czas roboczy  $T_r=0$ , działa są w sposób ciągły wycelowywane w punkt wyprzedzony i gotowe w dowolnym momencie do oddania strzału. Pozostaje tylko załadowanie i odpalenie. W art.plot sk strzela się albo salwami, albo ogniem ciągłym w miarę gotowości działa, w bateriach mk wyznaczonymi seriami lub ogniem ciągłym.

Zatem istota strzelania artylerii przeciwlotniczej do ruchomych celów powietrznych polega na oddaniu, bez wstrzeliwania, szeregu obliczonych na skuteczne rażenie wystrzałów/salw/, z których każdy wykonany jest według nastaw dla nowego punktu wyprzedzonego.

## 2. Przygotowanie strzału/salwy/

Przygotowanie strzału/ salwy/ przeprowadzã się w celu określenia nastaw dla działa, nastawy zapalnika i wyniku tego otrzymania rozprysków w punkcie wyprzedzonym.

Spotkanie się pocisku z celem w punkcie wyprzedzonym jest możliwe tylko w tym wypadku, gdy tor pocisku

przejdzie przez ten punkt i gdy czas lotu celu do punktu wyprzedzonego/licząc go od momentu wystrzału/ będzie równy czasowi lotu pocisku.

Przygotowanie pierwszego strzału/ salwy/ rozpoczyna się od momentu uchwycenia celu przez przyrządy optyczne /dalmierz/ przezierniki itp/ lub od momentu rozpoczęcia sledzenia go przez RSA i kończy się w momencie zakończenia wycelowania dział. W czas niezbędny na przygotowanie strzału/ salwy/ wlicza się czas stabilizacji pracy przelicznika, który wynosi dla przelicznika PUAZO-6 około 7 sek. Kolejne strzały /salwy/ przy strzelaniu z przelicznikiem przygotowywane są w sposób ciągły.

Cały proces przygotowania pierwszego i kolejnych strzałów można podzielić na następujące etapy:

1. Określenie współrzędnych bieżącego położenia celu i jego czynników ruchu;
2. Określenie położenia celu w momencie strzału;
3. rozwiązanie zadania spotkania, które obejmuje:
  - a/ określenie współrzędnych punktu wyprzedzonego,
  - b/ określenie nastaw dla działka i nastawy zapalnika,
  - c/ przekazanie i odbiór nastaw / wycelowanie działka/, załadowanie i odpalenie.

### 3. Współrzędne celu.

#### A. Współrzędne na płaszczyźnie i ich układy.

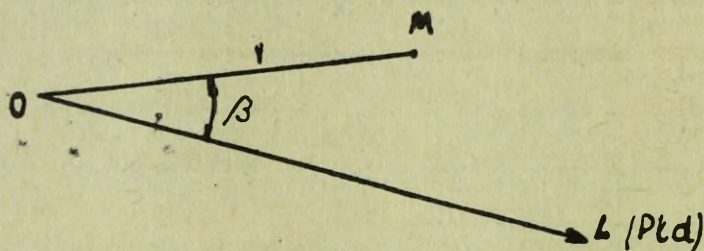
Wielkości określające położenie celu na płaszczyźnie względem działka /przelicznika, RSA itp/ nazywamy współrzędnymi celu na płaszczyźnie.

Punkt przyjmowany za początek odczytu nazywany jest początkiem układu współrzędnych / w teoretycznych rozważaniach cel, działko, przelicznik, RSA przyjmujemy jako punkty, ponieważ w porównaniu z odległością do celu ich wymiary są bardzo małe/.

Położenie celu na płaszczyźnie względem działa lub jakiegoś przyrządu określają dwie współrzędne zazwyczaj w biegunowym lub prostokątnym układzie współrzędnych.

### Biegunowy układ współrzędnych

Biegunowy układ współrzędnych tworzą dwie współrzędne  $r$  i  $\beta$ , pierwsza jest promieniem - wektorem określonego punktu/ na rys. 3.1 punkt M/, a druga - kątem biegunowym.

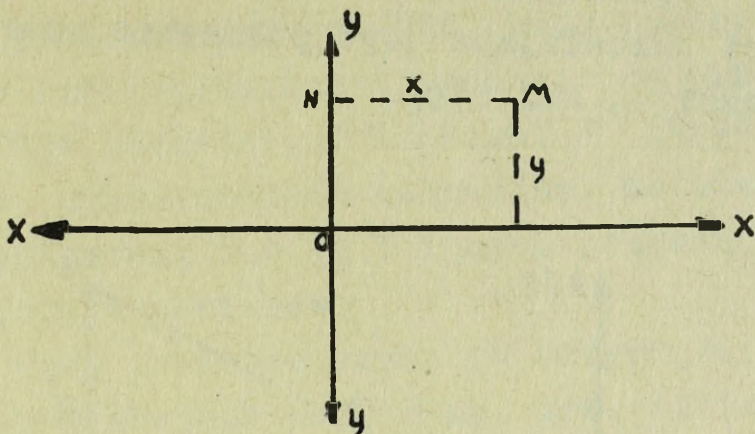


Rys.3.1. Biegunowy układ współrzędnych

Prosta OL jest osią biegunową układu, a punkt O - biegunem. Każdemu punktowi na płaszczyźnie odpowiada jedna para liczb  $r$  i  $\beta$ , a każdej parze  $r$  i  $\beta$  odpowiadać będzie tylko jeden punkt. Wyjątek stanowi biegun, dla którego  $r = 0$ , a  $\beta$  jest nieograniczony. Ośią biegunową OL /rys. 3.1. może być dowolny kierunek/ w art. plot przyjęto południe magnetyczne, a kąt  $\beta$  odczytuje się w kierunku przeciwnym ruchowi wskazówek zegra/.

### Prostokątny układ współrzędnych

Prostokątny układ współrzędnych na płaszczyźnie /rys. 3,2/ tworzą dwie wzajemnie prostopadłe osie X i Y przecinające się w punkcie O, będącym początkiem układu.



Rys. 3.2. Prostokątny układ współrzędnych.

Oś X nazywana jest osią odciętych, a oś Y - osią rzędnych.

W geometrii analitycznej przyjęto dodatnie kierunki dla osi X w prawo/ wschód/, a dla osi Y w górę /północ/ od początku układu współrzędnych.

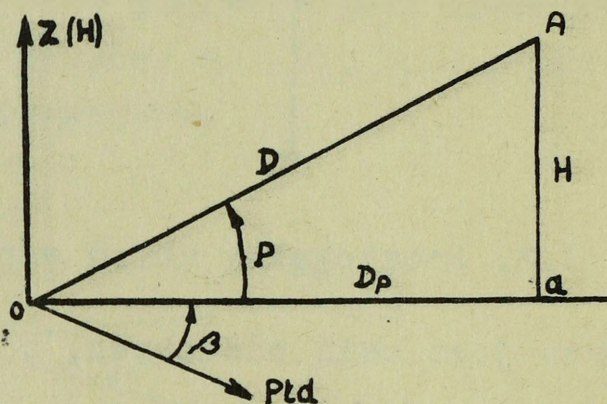
Położenie punktu M na płaszczyźnie określają dwie współrzędne odcięta  $x$  / odcinek OF/ i rzędna  $y$  /odcinek ON/. Stąd wynika, że każdemu punktowi na płaszczyźnie odpowiada para współrzędnych, a każdej parze współrzędnych  $x$  i  $y$  odpowiada tylko jeden punkt na płaszczyźnie.

Należy pamiętać, że w topografii za dodatni kierunek osi X przyjęto północ, a osi Y - wschód.

Początek prostokątnego układu współrzędnych dowiązuje się do takiego punktu, z którego dane zagadnienie najdogodniej rozpatrywać / w art.plot. pkt. stawia RSA, przelicznika działa, środek SO itp/. Prostokątny układ współrzędnych ma szerokie zastosowanie w pracach topograficznych, określaniu położenia celu naziemnego, wskazywanie celów powietrznych, sporządzania wykresów itp.

### B. Współrzędne celu powietrznego

Współrzędnymi celu powietrznego nazywamy wielkości określające jego położenie względem działła /przelicznika, RSA itp/.



Rys. 3.3. Współrzędne celu powietrznego.

Do współrzędnych celu powietrznego zaliczamy:

$D$  - odległość rzeczywista - odległość od działła / RSA, przelicznika itp/ do celu;

$D_p$  - odległość pozioma - odległość od działła/RSA, przelicznika itp/ do rzutu celu na poziom działła;

$H$  - wysokość celu - odległość od celu do jego rzutu na poziom działła;

$p$  - kąt położenia celu - kąt zawarty między poziomem działła / RSA, przelicznika itp/ a odległością rzeczywistą;

$\beta$  - azymut przeciwlotniczy kąt w płaszczyźnie poziomej zawarty między kierunkiem zasadniczym na południe magnetyczne, a danym kierunkiem, mierzony odwrotnie w stosunku do ruchu wskazówek zegara,

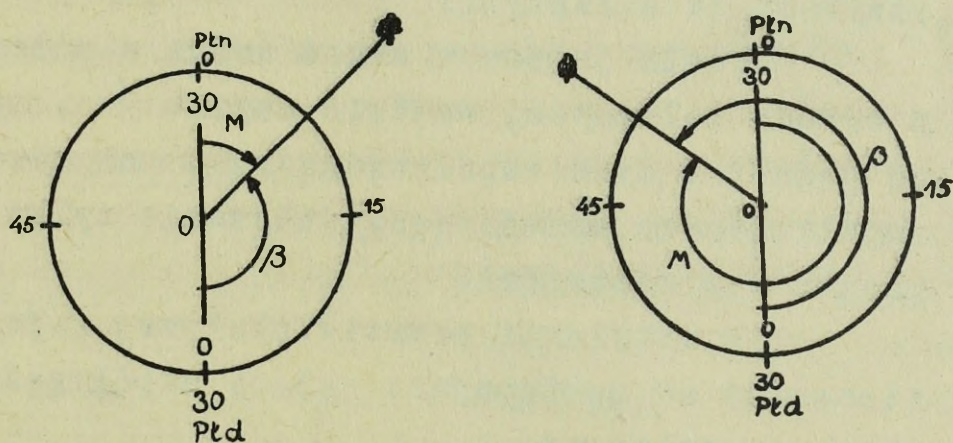
Rzeczywistą i poziomą odległość oraz wysokość zalicza się do współrzędnych liniowych, a kąt położenia i azymut - do kątowych.

Odległość rzeczywistą określa się przy pomocy RSA lub dalmierza.

Odległość pozioma i wysokość określana jest w przeliczaczu współrzędnych RSA, przy pomocy dalmierzy optycznych lub odpowiednich mechanizmów przeliczników.

Kąt położenia  $p$  i azymut  $\beta$  określone są przy pomocy RSA, przezierników celownika, dalmierzy optycznych, kątomierzem, busolą i innych przyrządów służących do obserwacji i pomiarów.

Przy pomiarze azymutów przyrządami stosowanymi w innych rodzajach wojsk/ np. art. naziemnej/, azymut przeciwlotniczy możemy obliczyć wykorzystując zależność między azymutem magnetycznym  $M$  i przeciwlotniczym  $\beta$ .



Rys. 3.4. Zależność między azymutem przeciwlotniczym i magnetycznym.

Z rys. 3.4. wynika, że jeżeli dany kierunek znajduje się na wschodniej części horyzontu / w prawo od linii północ-południe/ to suma kątów  $\beta + M$  zawsze równa się 30-00, a kąt  $\beta$  i  $M$  dla dowolnego kierunku nie będą większe od 30-00, stąd

$$\beta = 30-00 - M \rightarrow$$

Jeżeli dany kierunek znajduje się w zachodniej części horyzontu / w lewo od linii północ-południe/, to  $\beta + M = 90-00$  a kąty  $\beta$  i  $M$  dla dowolnego kierunku nie będą większe od  $60-00$ , stąd

$$\beta = 90 - 00 - M$$

Położenie punktu /celu/ w przestrzeni w stosunku do działła / przelicznika, RSA/ określają trzy współrzędne, tworzące układ współrzędnych. Układ współrzędnych tworzą współrzędne niezależne, to znaczy współrzędne nie związane ze sobą matematycznie, z których żadna nie może być wyznaczona przy pomocy dwóch pozostałych. Jeżeli którąkolwiek współrzędną można wyrazić matematycznie przy pomocy dwóch pozostałych, to nie tworzą one układu współrzędnych i nazywamy je zależnymi.

Jeżeli jednak w układ dwóch współrzędnych, z trzech zależnych, wejdzie azymut  $\beta$ , niezależny ani od jednej z tych współrzędnych, to otrzymamy układ współrzędnych określający położenie tylko jednego punktu w przestrzeni.

W artylerii przeciwlotniczej najczęściej stosowane są następujące układy współrzędnych:

- walcowy;
- stożkowy;
- sferyczny;
- prostokątny.

Aby rozpatrzeć poszczególne układy współrzędnych przypomnijmy sobie niektóre pojęcia z geometrii analitycznej o płaszczyznach, liniach i osiach.

Miejscem geometrycznym punktów wyznaczonym przez stałą wartość współrzędnej jest płaszczyzna /powierzchnia/ danej współrzędnej.

I tak wszystkie punkty w przestrzeni posiadające azymut  $\beta$  znajdują się na płaszczyźnie azymutu  $B$ , która przedstawia pionową półpłaszczyznę

przechodzącą przez początek układu i tworzącą kąt  $\beta$  z kierunkiem zasadniczym.

Miejscem geometrycznym punktów o jednakowej wysokości jest płaszczyzna wysokości, położona poziomo w odległości  $H$  od początku układu.

Przecięcie się dwóch płaszczyzn współrzędnych, wyznaczonych przez stałe wartości współrzędnych, jest miejscem geometrycznym punktów trzeciej współrzędnej zwanym linią tej współrzędnej.

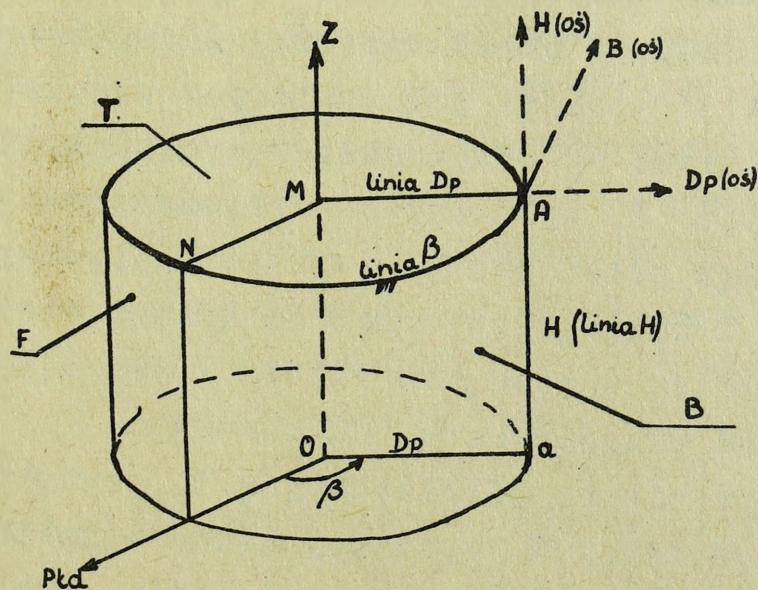
I tak, przecięcie płaszczyzny azymutu z płaszczyzną wysokości wyznacza linię odległości poziomej.

Styczne do poszczególnych linii współrzędnych w wyznaczonym punkcie przestrzeni i skierowane w kierunku wzrastania wartości współrzędnych są osiami współrzędnych. Osie współrzędnych oznaczone są tak samo jak i współrzędne.

Rozpatrzmy z kolei poszczególne układy współrzędnych.

#### Walcowy układ współrzędnych.

Walcowy układ współrzędnych tworzą współrzędne: azymut  $\beta$ , odległość pozioma  $D_p$  i wysokość  $H$ .



Rys. 3.5. Walcowy układ współrzędnych.

Współrzędne wyznaczają trzy płaszczyzny w przestrzeni: azymut  $\beta$  - płaszczyznę azymutu B, wysokość H - płaszczyznę wysokości T i odległość pozioma Dp - powierzchnię odległości poziomej F, będącą powierzchnią boczną walca, od której układ przyjął nazwę układu walcowego.

Przecięcie półpłaszczyzną azymutu B płaszczyzny wysokości T wyznacza linię odległości poziomej /na rys. 3.5. prosta MA/, a przecięcie powierzchni odległości F - linię wysokości /prosta aA/. Przecięcie powierzchni F z płaszczyzną T wyznacza linię azymutu /łuk NA/.

Przecięcie się tych trzech linii wyznacza punkt położenia celu A.

Styczne do poszczególnych linii w punkcie A będą osiami walcowego układu współrzędnych. Osie te posiadają różne kierunki w różnych punktach przestrzeni lecz zawsze zachowują wzajemną prostopadłość.

Walcowy układ współrzędnych ma zastosowanie przy rozwiązywaniu zadania spotkania w niektórych starszych typach przeliczników.

#### Stożkowy układ współrzędnych

Stożkowy układ współrzędnych tworzą współrzędne: azymut  $\beta$ , kąt położenia p i wysokość H.

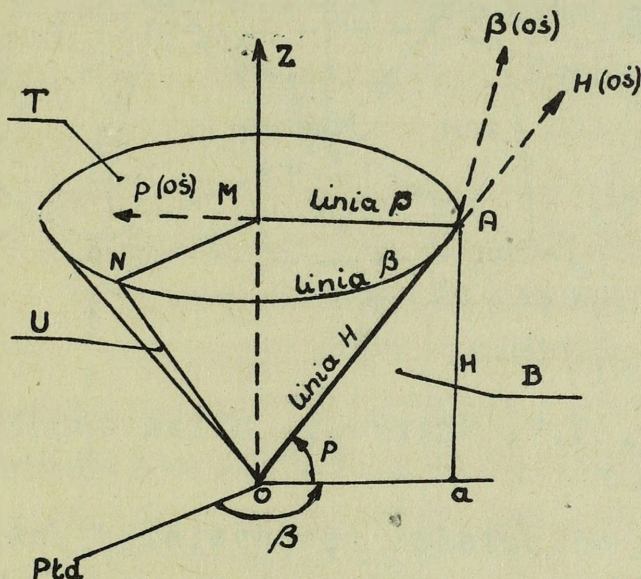
Azymut  $\beta$  - wyznacza w przestrzeni półpłaszczyznę azymutu B, wysokość H - płaszczyznę wysokości T.

Kąt położenia p - wyznacza powierzchnię kąta położenia, U będącą powierzchnią boczną stożka prostego z wierzchołkiem w początku układu /rys. 3.6/, od której układ przyjął nazwę stożkowego.

Przecięcie półpłaszczyzną B, powierzchni kąta położenia /stożka/ U wyznaczy linię wysokości /prosta OA/ a z płaszczyzną T linię kąta położenia /prosta MA/,. Przecięcie się płaszczyzny wysokości T z powierzchnią U wyznacza linię azymutu / łuk NA/.

Przecięcie się tych ~~dwóch~~ <sup>trzech</sup> linii wyznacza punkt położenia celu A.

Ośie współrzędnych tego układu, dla różnych punktów w przestrzeni posiadają różne położenie w przestrzeni i nie są prostopadłe względem siebie.



Rys. 3. 6. Stożkowy układ współrzędnych.

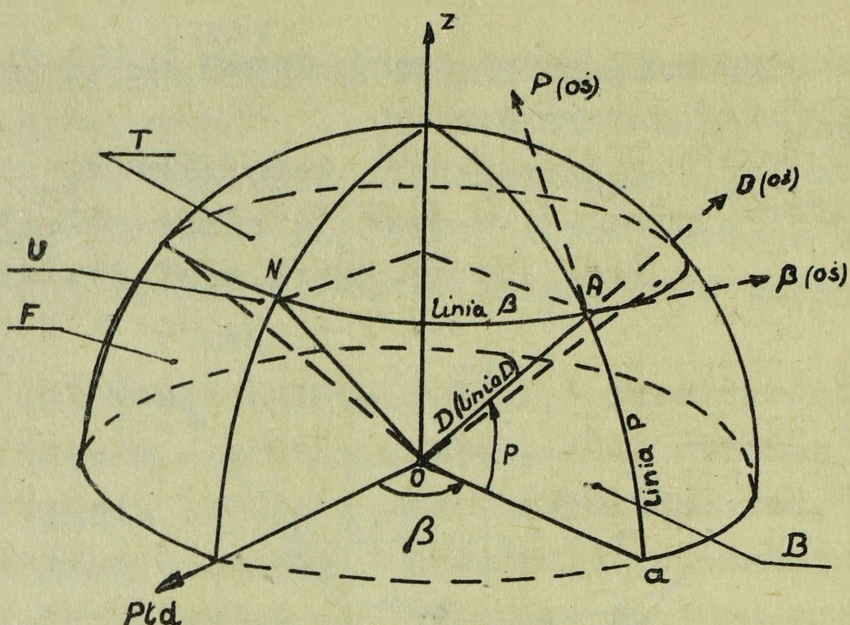
Stożkowy układ współrzędnych jest stosowany jako układ wejściowy w niektórych przelicznikach /np. PUAZO-3/.

#### Sferyczny układ współrzędnych

Sferyczny układ współrzędnych tworzą współrzędne azymut  $\beta$ , kąt położenia  $p$  i odległość rzeczywista  $D$ .

Azymut  $\beta$  wyznacza półpłaszczyznę azymutu  $B$ , kąt położenia - powierzchnię kąta  $p$  / boczna stożka /  $U$ , a odległość rzeczywista  $D$  wyznacza powierzchnię półkuli - sferę  $F$  ze środkiem w początku układu i o promieniu równym odległości rzeczywistej.

Od tej powierzchni układ nazywa się układem sferycznym.



Rys. 3.7. Sferyczny układ współrzędnych.

Linie odległości rzeczywistej / $OA$ / wyznacza przecięcie się płaszczyzny azymutu  $B$  z powierzchnią kąta położenia  $U$ , linię azymutu  $NA$  wyznacza płaszczyzna wysokości  $T$  przecinając powierzchnię  $U$ , a linia kąta położenia / $aA$ / -płaszczyzna azymutu z powierzchnią odległości rzeczywistej /sferą/.

Przecięcie się tych trzech linii wyznacza punkt położenia celu  $A$ .

Osie współrzędnych tego układu, dla różnych punktów posiadają różne położenie w przestrzeni, lecz zawsze zachowują wzajemną prostopadłość.

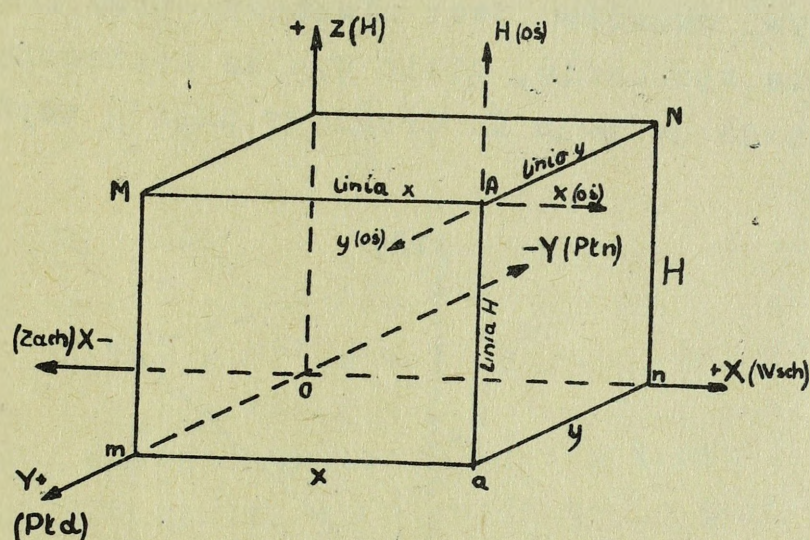
Sferyczny układ współrzędnych jest zasadniczym, początkowym układem stosowanym we współczesnych przeliczeniach. W układzie tym odległość rzeczywista  $D$  jest określana bezpośrednio przez RSA lub dalmierz, a azymut  $\beta$  i kąt położenia  $p$  przez RSA, dalmierz lub inne przyrządy optyczne.

#### Prostokątny układ współrzędnych

Prostokątny układ współrzędnych tworzą trzy niezależne wzajemnie prostopadłe osie  $X, Y, Z$  przecinające się w początku układu  $O$ .

Kierunki poszczególnych osi współrzędnych są następujące:

- X - wschód -zachód /kierunek wschód-dodatni/;
- Y - południe -północ/kierunek południe - dodatni/;
- Z - pokrywa się z kierunkiem wysokości H.



Rys. 3.8. Prostokątny układ współrzędnych

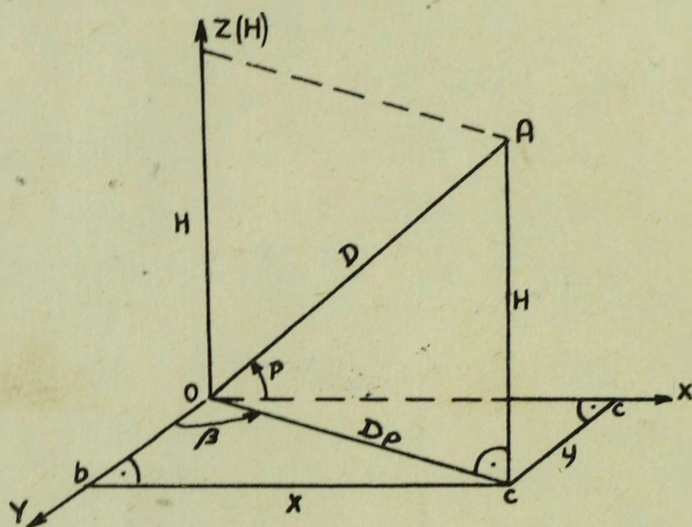
Wszystkie płaszczyzny /osi X, osi Y i osi Z/ wyznaczone przez wartości X, Y i Z są płaszczyznami równoległymi do płaszczyzn XOY, XOZ i YOZ. Linie współrzędnych pokrywają się z osiami współrzędnych i we wszystkich punktach przestrzeni zachowują stały kierunek i wzajemną prostokątność /tym też układ ten przewyższa wszystkie układy uprzednio wymienione/.

Przecięcie się linii /osi/ x, y i z wyznacza w przestrzeni punkt położenia celu A.

Prostokątny układ współrzędnych ma szerokie zastosowanie we współczesnych przelicznikach jako układ wtórny wykorzystany do rozwiązania zadania spotkania.

C. Zależność między układami współrzędnych

Położenie tego samego punktu w przestrzeni można określić w jednym z wymienionych układów współrzędnych. Między współrzędnymi punktu, w różnych układach współrzędnych istnieje wzajemna zależność matematyczna. Znajomość zależności między poszczególnymi współrzędnymi układów jest niezbędna przy rozwiązywaniu zadania spotkania, gdzie wynika konieczność przechodzenia od jednego do drugiego układu współrzędnych.



Rys. 3.9. Zależność matematyczna współrzędnych

Rozpatrzmy zależność między współrzędnymi punktu A w prostokątnym i innych układach współrzędnych /rys. 3.9/.

Przejdźmy do układu prostokątnego do innych układów można dokonać posługując się wzorami wynikającymi z rozpatrzenia następujących trójkątów:  
z trójkąta aOb

$$\beta = \text{arc tg } \frac{x}{y} \quad /3.1./$$

$$D_p = \sqrt{x^2 + y^2} \quad /3.2/$$

z trójkąta aOA

$$D = \sqrt{x^2 + y^2 + H^2} \quad /3.3./$$

$$p = \text{arc sin } \frac{H}{\sqrt{x^2 + y^2 + H^2}} \quad /3.4/$$

Należy jednak pamiętać, że wzór na obliczenie  $\beta$  daje dwa kąty, ponieważ tej samej wartości tangensa odpowiadają dwa kąty, różniące się o  $180^\circ$ . Dlatego też, do jednoznacznego określenia według wartości  $x$  i  $y$  należy brać pod uwagę znaki tych współrzędnych.

Przejęcia od dowolnego układu do układu prostokątnego możemy dokonać posługując się wzorami wynikającymi z trójkątów:

z trójkąta  $aOB$

$$x = Dp \cdot \sin \beta \quad /3.5/$$

$$y = Dp \cdot \cos \beta \quad /3.6/$$

z trójkąta  $aOb$  i  $CAa$

$$x = D \cdot \cos p \cdot \sin \beta \quad /3.7/$$

$$y = D \cdot \cos p \cdot \cos \beta \quad /3.8/$$

$$H = D \cdot \sin p$$

Aby dokonać obliczeń wartości współrzędnych dowolnego układu należy znać współrzędne punktu w jednym układzie.

Przykład: Położenie celu powietrznego wyznacząją współrzędne w układzie prostokątnym  $x = -3000m$ ,  $y = 4000m$ ,  $z = 5000m$ . Wyznaczyć położenie celu w układzie sferycznym.

Rozwiązanie

$$\beta = \arctg \frac{x}{y} = \arctg / -0,75 / = 60-00 = 6-15-53-35$$

$$D = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = \sqrt{50000} = 7071 \text{ m}$$

$$p = \arcsin \frac{H}{D} = \arcsin 0,7071 = 7-50$$

#### 4. Czynniki ruchu celu

Współrzędne celu określają jego położenie w przestrzeni w stosunku do działania / przelicznika, RSA/. Przy rozwiązywaniu zadania spotkania należy znać oprócz współrzędnych jeszcze i charakter ruchu celu oraz umieć go wyrazić w formie wielkości, z którymi można przeprowadzić działania matematyczne.

Charakter ruchu celu można wyrazić różnymi sposobami:

- wektorem prędkości celu/ jego długością i kierunkiem/;
- rzutami wektora prędkości celu na osie współrzędnych,
- prędkościami zmiany współrzędnych.

Bezpośrednie określenie wektora prędkości celu stosuje się tylko przy strzelaniu z celownikiem/mk/ z zasady według typu samolotu. Przy strzelaniu z przelicznikiem charakter celu wyraża się rzutami wektora prędkości na osie współrzędnych lub prędkościami zmiany współrzędnych.

Ponieważ określenie charakteru ruchu celu w ostateczności sprowadza się do wyznaczenia wektora prędkości celu  $V_c$  możemy napisać, że "wielkości określające długość i kierunek wektora prędkości celu w danym momencie są czynnikami ruchu celu".

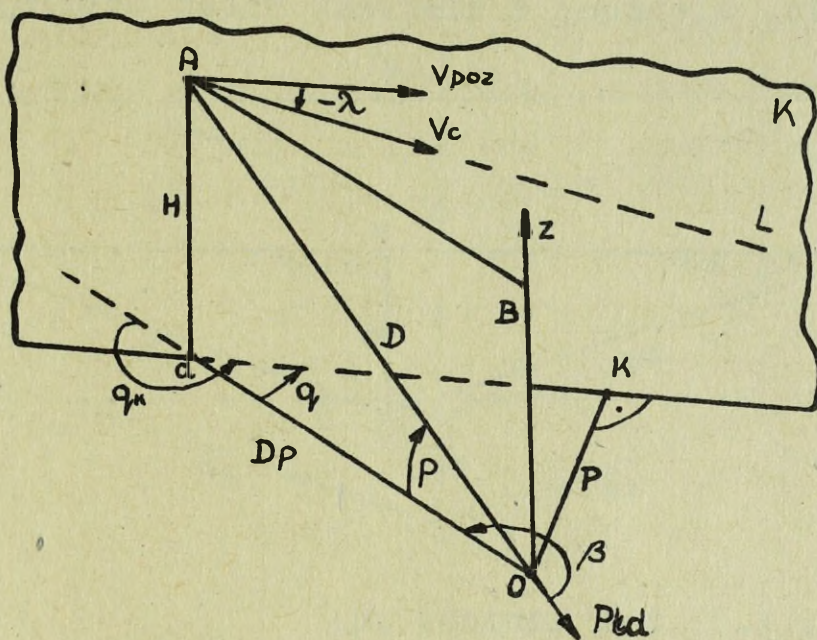
Dla określenia wektora prędkości celu w przestrzeni wystarczy znać trzy niezależne czynniki ruchu celu.

Trzy niezależne czynniki ruchu określające wielkość i kierunek wektora prędkości celu nazywamy układem czynników ruchu celu,

Układ czynników ruchu celu  $V_{poz}$ ,  $q$  / $P$  lub  $q_k$  / $\lambda$ /,

Układ tworzą następujące czynniki ruchu celu:

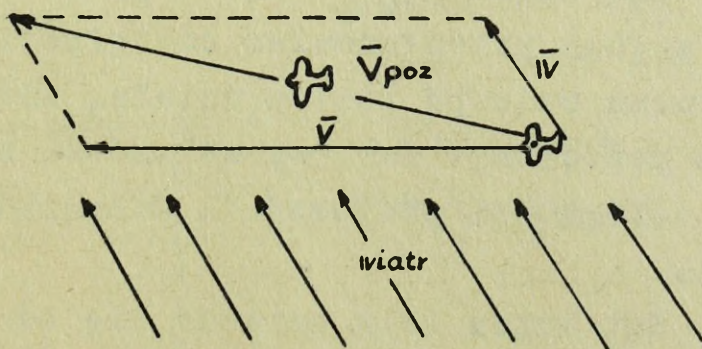
- pozioma składowa prędkości celu -  $V_{poz}$ ;
- kąt kursowy -  $q$  lub parametr kursu  $P$ , lub kąt kursu celu -  $q_k$ ,
- kąt nachylenia kursu celu -  $\lambda$ .



Rys. 4.1. Układ czynników ruchu celu  $V_{poz}, \alpha / P$  lub  $\alpha_k / \lambda$

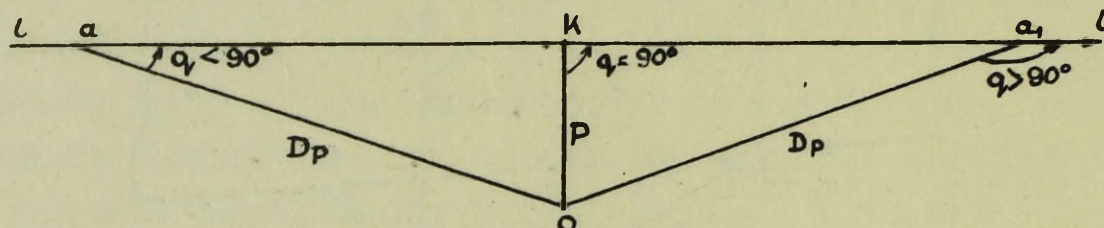
Pozioma składowa prędkości celu /  $V_{poz}$  / - prędkość pozioma celu względem ziemi, równa się sumie geometrycznej prędkości celu względem powietrza -  $V$  i prędkości wiatru  $W$ :

$$\bar{V}_{poz} = \bar{V} + \bar{W}$$



Rys.4.2. Prędkość pozioma celu.

Kąt kursowy /q/ - kąt w płaszczyźnie poziomej zawarty między rzutem kursu celu na poziom działa a kierunkiem na działo, mierzony w kierunku ruchu celu/rys. 4.3./.



Rys. 4.3. Kąt kursowy /q/

Kąt kursowy zmienia się od  $0^\circ$  do  $180^\circ$ .  
Gdy cel leci na baterię  $q = 0^\circ$ , od baterii  $q = 180^\circ$ .

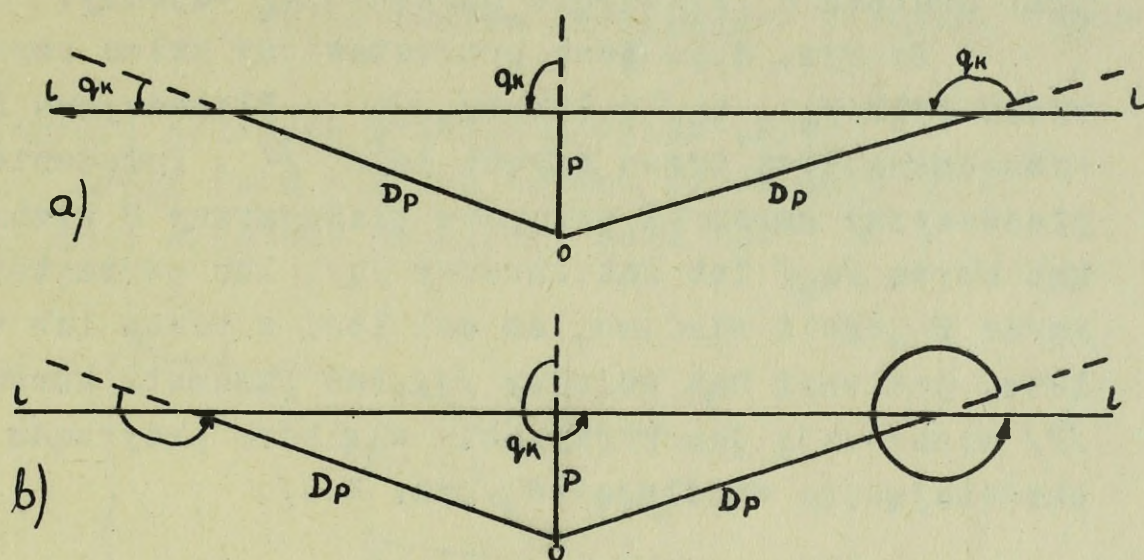
Parametr kursu celu/P/ - najkrótsza odległość od działa do rzutu kursu celu na poziom działa, innymi słowy parametr kursu celu/P/ określa oddalenie płaszczyzny kursu celu od działa, przelicznika /rys.1.1/.

Między parametrem kursu P, kątem kursowym q a odległością poziomą istnieje zależność matematyczna wynikająca z rozpatrzenia trójkąta Oak:

$$P = D_p \cdot \sin q \quad /4.1/$$

Kąt kursu / $q_k$ / - kąt w płaszczyźnie poziomej zawarty między przedłużeniem odległości poziomej a rzutem kursu celu na poziom działa, mierzony w kierunku przeciwnym ruchowi wskazówek zegara od przedłużenia odległości poziomej do kierunku, w którym leci cel.

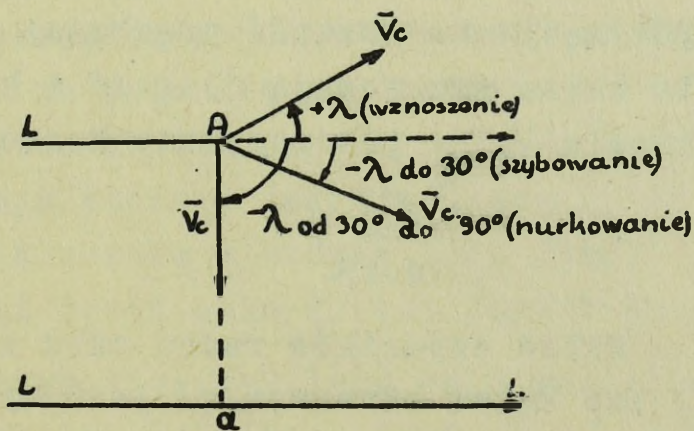
Kąt kursu celu zmienia się od  $0$  do  $360^\circ$ /rys.4.4/.



Rys. 4.4. Zmiana kąta kursu: a/ przy locie celu w lewo, b/ przy locie celu w prawo.

Jak z rys. 4.4, wynika, przy ruchu celu w lewo kąt kursu zmienia się od  $180^\circ$  do  $0^\circ$  i na parametrze kursu wynosi  $90^\circ$ , przy locie celu w prawo - od  $180^\circ$  do  $360^\circ$  i na parametrze kursu wynosi  $270^\circ$ .

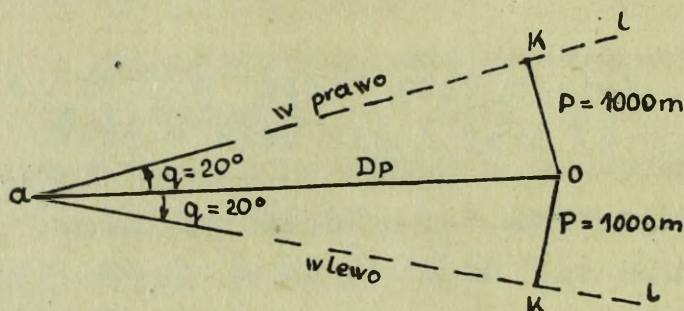
Kąt nachylenia kursu  $/ \lambda /$  - kąt nachylenia wektora prędkości celu względem poziomu /rys. 4.5/.



Rys. 4.5. Kąt nachylenia kursu  $/ \lambda /$ .

Przy wznoszeniu się celu kąt  $\lambda$  jest dodatni, przy obniżaniu /wykonaniu nurkowania/ -ujemny.

Na rys. 4.1. Jest przedstawiony układ czynników ruchu celu  $V_{poz}$ ,  $q_k/q$  lub  $P$ ,  $\lambda$ . Płaszczyzna B wyznaczona jest przez azymut celu  $\beta$ . Położenie płaszczyzny kursu -K względem płaszczyzny B wyznacza kąt kursu  $q_k$  lub kąt kursowy  $q$ , lub parameter kursu  $P$  jeżeli wiadomo, że cel leci w prawo lub w lewo, ponieważ kąt kursowy  $q$  lub parametr kursu  $P$  wyznaczają dwa kursy celu względem przyrządu określającego współrzędne /rys. 4.6/.



Rys.4.6. Kurs celu wyznaczony na podstawie kąta kursowego lub parametru kursu.

Punkt przyłożenia wektora prędkości A wyznacza układ współrzędnych. Wartość prędkości  $V_{poz}$  z kątem nachylenia kursu wyznaczają długość i kierunek wektora prędkości celu  $V_c$  na płaszczyźnie kursu - K.

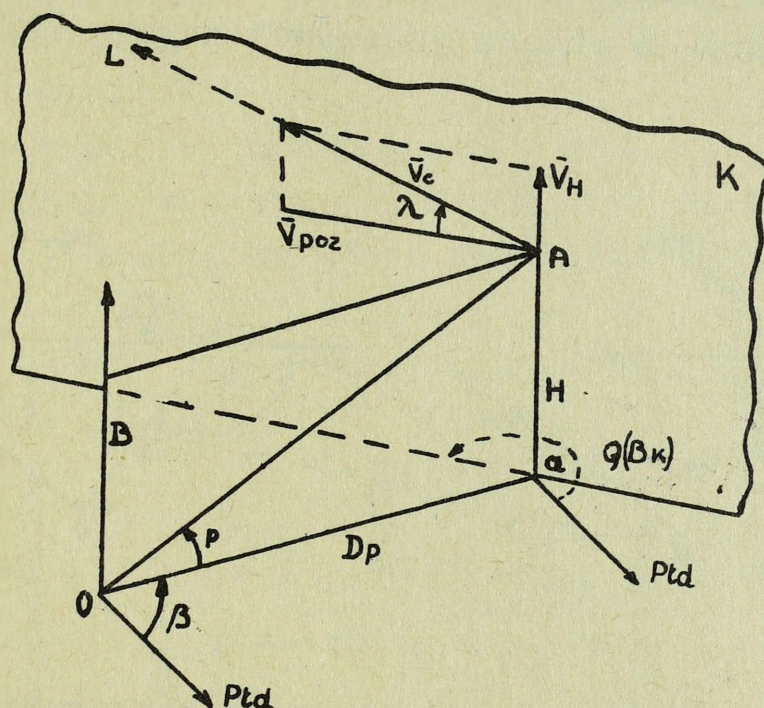
$$V_c = \frac{V_{poz}}{\cos \lambda} \quad /4.2./$$

Układ czynników ruchu celu z kątem kursu  $q_k$  lub kątem kursowym  $q$  jest wykorzystywany przy konstrukcji automatycznych celowników art.plot. małego kalibru, a z parametrem kursu  $P$  - do wskazywania celów oraz do opracowania i kontroli strzelań poligonowych. W konstrukcji przeliczników układy te nie mają zastosowania.

Układ czynników ruchu celu  $V_{\text{poz.}}$ ,  $Q/\beta_{k/}$ ,  $V_H$

Układ tworzą następujące czynniki ruchu celu:

- poziome składowe prędkości celu -  $V_{\text{poz}}$ ;
- kąt drogi celu -  $Q$  lub azymut kursu celu  $\beta_{k/}$ ;
- pionowe składowe prędkości celu  $V_H$ .



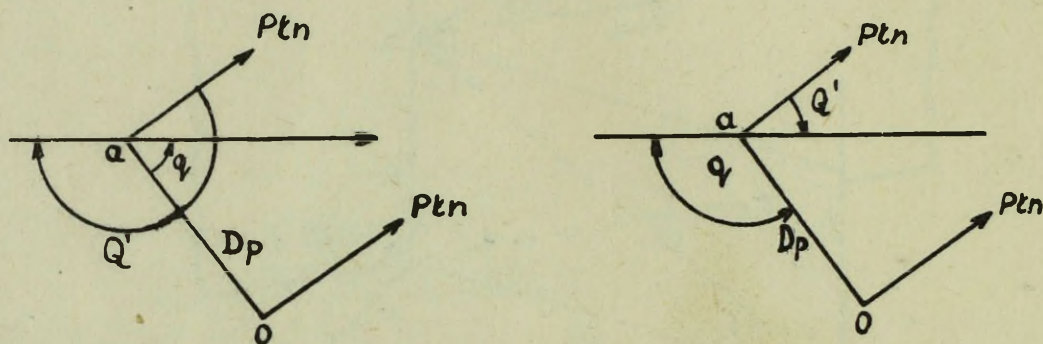
Rys. 4.7. Układ czynników ruchu celu  $V_{\text{poz.}}$ ,  $Q/\beta_{k/}$ ,  $V_H$

Kąt drogi celu/  $Q$ / lub azymut kursu celu/  $\beta_{k/}$  - kąt w płaszczyźnie poziomej zawarty między kierunkiem zasadniczym na południe magnetyczne a rzutem kursu celu na poziom działa/przelicznika/, mierzony w kierunku przeciwnym ruchowi wskazówek zegara od kierunku zasadniczego do kierunku w którym leci cel..

Kąt drogi celu/  $Q$ / lub azymut kursu celu/  $\beta_{k/}$  charakteryzuje kierunek lotu celu względem stron świata. Gdy cel leci na południe, to  $Q / \beta_{k/} = 0^\circ$ , na wschód-  $Q / \beta_{k/} = 90^\circ$ , na północ  $-Q / \beta_{k/} = 180^\circ$ , a na zachód-  $Q / \beta_{k/} = 270^\circ$ .

Oprócz powyższego pojęcia kąta drogi/azymutu kursu/ stosowanego w konstrukcji współczesnych przeliczników /celowników/ jest również drugie pojęcie stosowane w konstrukcji celownika armaty 37 mm, które brzmi:

Kąt drogi celu /Q'/ - kąt w płaszczyźnie poziomej zawarty między kierunkiem zasadniczym na północ magnetyczną a kierunkiem skąd leci cel, mierzony w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara /rys.4.8/.



Rys.4.8. Kąt drogi celu stosowany w konstrukcji celownika 37 mm armaty plot.

Pionowa składowa prędkości / $V_H$ / - rzut prędkości celu  $V_C$  na kierunek wysokości.

Rzut wektora prędkości celu na wysokość  $V_H$  wspólnie z wektorem prędkości poziomej -  $V_{poz}$  wyznaczają wielkość i kierunek wektora prędkości celu  $V_C$ , tzn. wyznaczają wielkość wektora  $V_C$  i kąt nachylenia kursu  $\lambda$  w płaszczyźnie K /rys. 4.7/:

$$V_C = \sqrt{V_{poz}^2 + V_H^2} \quad / 4.3/.$$

$$\lambda = \text{arc tg} \frac{V_H}{V_{poz}} \quad / 4.4/$$

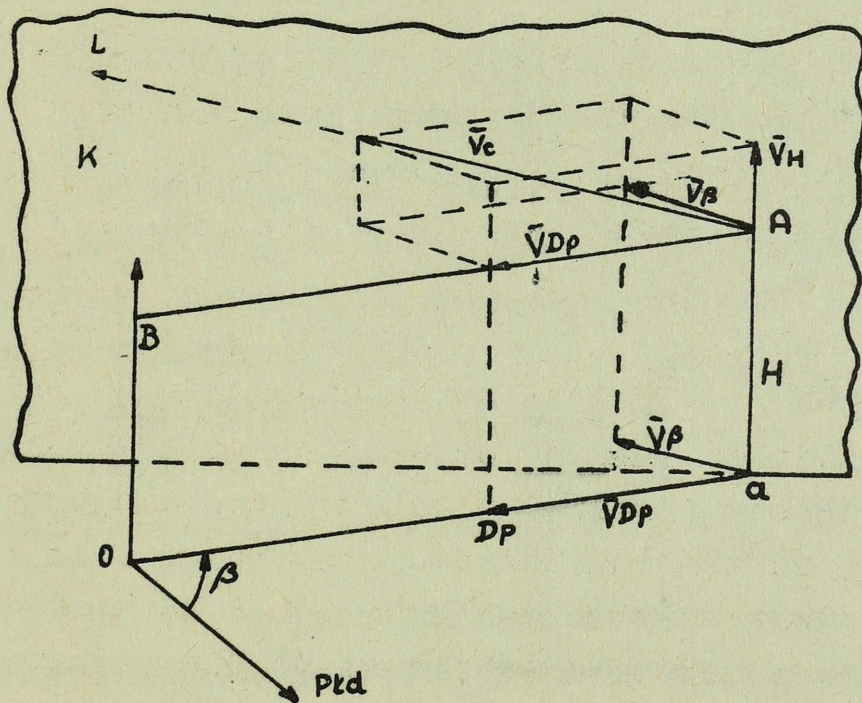
Położenie płaszczyzny B wyznacza azymut celu  $\beta$ , a położenie płaszczyzny kursu K względem płaszczyzny B wyznacza kąt drogi/Q/ lub azymut kursu / $\beta_K$ /. Punkt przyłożenia A wektora prędkości celu  $V_C$  określa przyjęty układ współrzędnych.

Omówiony wyżej układ czynników ruchu celu wspólnie z innymi układami ma szerokie zastosowanie w konstrukcjach współczesnych przeliczników i pracach teoretycznych.

Układ czynników ruchu celu  $V_{Dp}$ ,  $V_{\beta}$ ,  $V_H$

Układ tworzą rzuty wektora prędkości celu  $V_c$  na osie walcowego układu współrzędnych:

- $V_{Dp}$  - rzut wektora prędkości celu na oś odległości poziomej;
- $V_{\beta}$  - rzut wektora prędkości celu na oś azymutu,
- $V_H$  - rzut wektora prędkości celu na oś wysokości /pionowa składowa prędkości celu/.



Rys. 4.9. Układ czynników ruchu celu  $V_{Dp}$ ,  $V_{\beta}$ ,  $V_H$

Punkt przyłożenia wektora prędkości celu może być określony przez różne układy współrzędnych, lecz wyznaczenie wielkości i kierunku wektora prędkości  $V_c$  na płaszczyźnie  $K$  odbywa się w układzie walcowym, a czynniki ruchu celu  $V_{Dp}$ ,  $V_{\beta}$  i  $V_H$  są prędkościami zmiany współrzędnych tego układu tzn.  $Dp$ ,  $\beta$  i  $H$ , zatem możemy napisać, że:

$$V_{Dp} = \frac{dDp}{dt} \quad /4.5/.$$

$$V_{\beta} = Dp \frac{d\beta}{dt} \quad /4.6/.$$

$$V_H = -\frac{dH}{dt} \quad /4.7/.$$

Przy poziomym ruchu celu  $/V_H = 0/$  składowa  $V_{Dp}$  i  $V_{\beta}$  wyznaczają poziomą składową prędkości celu.

$$V_{\text{poz}} = \sqrt{V_{Dp}^2 + V_{\beta}^2} \quad /4.8./$$

pochyłym

Przy ~~poziomym~~ ruchu celu  $/V_H = 0/$  wyznaczony jest wektor prędkości celu  $V_c$  w płaszczyźnie K jako wypadkowa trzech składowych

$$V_c = \sqrt{V_{Dp}^2 + V^2 + V_H^2} \quad /4.9/$$

Przy prostoliniowym i jednostajnym ruchu celu wartości  $V_{Dp}$  i  $V_{\beta}$  zmieniają się ciągle w zależności od położenia celu na kursie, za wyjątkiem przypadku, gdy parametr kursu równy jest zeru  $/P=0/$ . W tym przypadku  $V_{Dp} = V_{\text{poz}}$  a  $V_{\beta} = 0$ .

Znaki  $V_{Dp}$ ,  $V_{\beta}$  i  $V_H$  wynikają ze wzorów  $/4.5/$ ,  $4.6/$  /  $4.7/$ .  $V_{Dp}$  jest wartością dodatnią przy ruchu celu od baterii, a ujemną - na baterię  $V_{\beta}$  jest wartością dodatnią przy ruchu celu w lewo a ujemną - w prawo;  $V_H$  jest wartością dodatnią przy ruchu celu w górę, a ujemną - w dół.

Powyższy układ czynników ruchu celu stosowany jest w przeliczniku PUAZO - 3.

Układ czynników ruchu  $V_D$ ,  $V_{\beta}$ ,  $V_p$

Układ tworzą rzuty wektora prędkości celu  $V_c$  na osie sferycznego układu współrzędnych:

- $V_D$  - rzut wektora prędkości celu na oś odległości rzeczywistej;
- $V_{\beta}$  - rzut wektora prędkości celu na oś azymutu,
- $V_p$  - rzut wektora prędkości celu na oś kąta położenia.



Powyższy układ czynników ruchu celu ma zastosowanie we współczesnych przelicznikach.

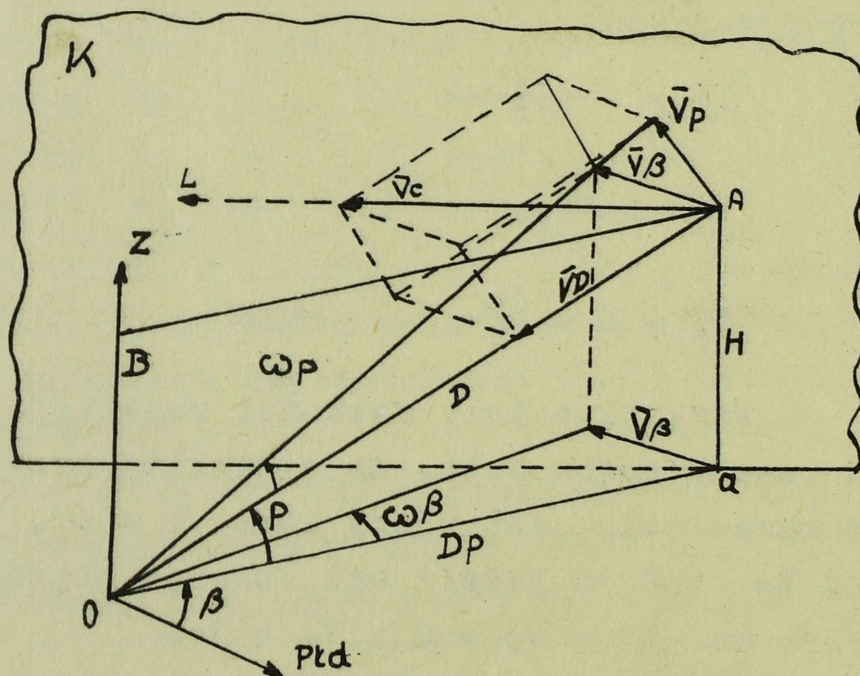
Układ czynników ruchu celu  $\omega_\beta, \omega_p, \dots, V_D$

Układ tworzą prędkości kątowne zmiany azymutu i kąta położenia oraz prędkość zmiany odległości rzeczywistej, tzn. prędkości zmiany współrzędnych układu sferycznego:

$$\omega_\beta = \frac{d\beta}{dt} \quad - \text{prędkość kątowa azymutu, /4.14/}$$

$$\omega_p = \frac{dp}{dt} \quad - \text{prędkość kątowa zmiany kąta położenia, /4.15/}$$

$$V_D = \frac{dD}{dt} \quad - \text{prędkość zmiany odległości rzeczywistej /rzut wektora prędkości celu na oś odległości rzeczywistej/. /4.16-$$



Rys. 4.11. Układ czynników  $\omega_\beta, \omega_p, V_D$



Czynniki ruchu celu  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_H$  wspólnie z prostokątnym układem współrzędnych wyznaczają położenie wektora prędkości celu w przestrzeni, który można obliczyć ze wzoru

$$V_c = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_H^2} \quad /4,20/$$

Przy jednostajnym i prostoliniowym ruchu celu wartości  $V_x$ ,  $V_y$  i  $V_H$  są stałe. Znaki czynników ruchu są następujące:  $V_x$  jest wielkością dodatnią przy ruchu celu na wschód, ujemną na zachód;

$V_y$  - dodatnia przy ruchu celu na południe, ujemna - na północ;

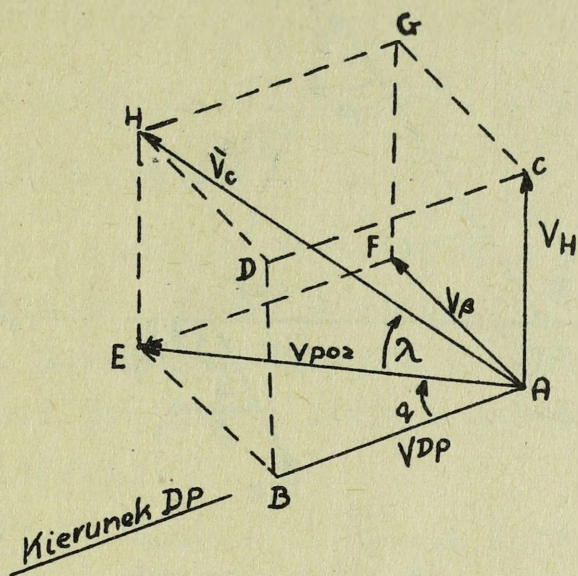
$V_H$  - dodatnia przy wznoszeniu celu, ujemna - przy szybowaniu lub nurkowaniu.

Powyższy układ czynników ruchu celu ma szerokie zastosowanie we współczesnych przelicznikach ze względu na zachowanie stałych kierunków i wartości  $V_x$ ,  $V_y$  i  $V_H$  przy ruchu prostoliniowym i jednostajnym i z reguły jest wykorzystany jako układ wtórny /np. w PUAZO-6/.

5. Zależność między układami czynników ruchu celu.

Zależność między układem  $V_{Dp}$ ,  $V/\beta$ ,  $V_H$  a układem  $V_{poz}, q, \lambda$

Ponieważ wielkości wchodzące w obydwa układy są różne, należy znaleźć zależność między wszystkimi wielkościami jednego układu z jednej strony i wszystkimi wielkościami drugiego układu z drugiej strony  
/rys. 5.1./



Rys. 5.1. Zależność między układem  $V_{poz}, q, \lambda$  i  $V_{Dp}, V_{\beta}, V_H$ .

Z trójkąta BAE wynika, że :

$$V_{Dp} = V_{poz} \cdot \cos q \quad / 5.1./$$

$$a \quad V_{\beta} = V_{poz} \cdot \sin q \quad / 5.2 /.$$

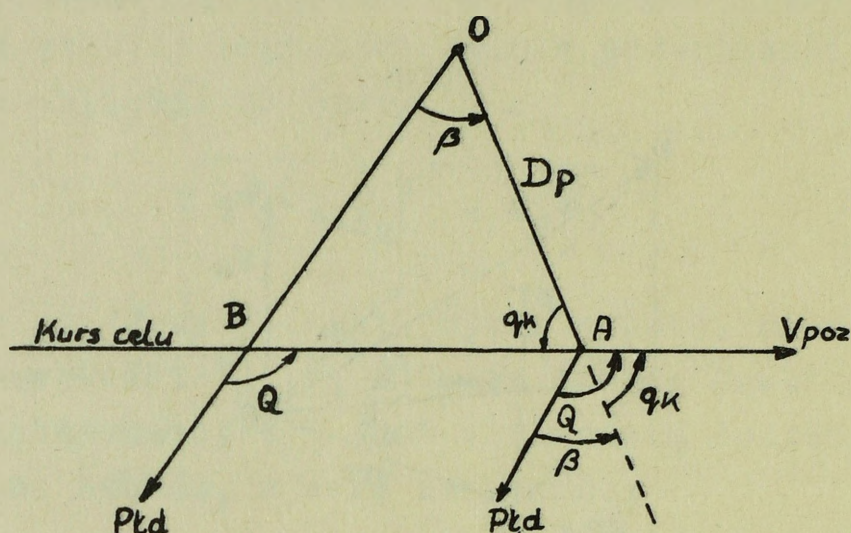
z trójkąta EAH:

$$V_H = V_{poz} \cdot \operatorname{tg} \lambda \quad /5.3/.$$

Zależności powyższe są słuszne dla dowolnych wartości  $q$  i  $\lambda$ , przy czym wyznaczają one i znak wielkości  $V_{\beta}$ ,  $V_{Dp}$ ,  $V_H$ .

Zależność między układem  $V_{poz}, q_k, \lambda$  a układem  $V_{poz}, Q, V_H$ .

Ponieważ  $V_{poz}$  jest wielkością wchodzącą w obydwa układy, a zależność między  $\lambda$  i  $V_H$  przedstawiona jest wzorem /5.3/ należy znaleźć tylko zależność między  $q_k$  i  $Q$ , do czego wykorzystamy rys. 5.2.



Rys.5.2. Zależność między  $Q$  i  $q_k$

Kąt  $Q$  jest kątem zewnętrznym względem trójkąta OBA. Ponieważ kąt zewnętrzny trójkąta równa się sumie kątów wewnętrznych do niego nieprzyległych, możemy napisać:

$$Q = q_k + \beta \quad /5.4/$$

to znaczy, że kąt drogi równa się sumie kąta kursu i azymutu celu. Wzór ten jest właściwy dla dowolnie położonego kursu celu względem kierunku zasadniczego.

Zależność między układem  $\omega\beta$ ,  $\omega\rho$ ,  $V_D$  i układem

$V_x, V_y, V_H$ .

Wzory / 3.7/, /3.8/, i / 3.9/ przedstawiają zależność między prostokątnym i sferycznym układem współrzędnych celu. Jeżeli wyznaczymy pochodne tych równań, względem czasu, to otrzymamy szukane zależności między czynnikami ruchu celu.

Wyznaczając pochodną równania  $x = D \cdot \cos p \cdot \sin \beta$  /3.7/ otrzymamy:

$$V_x = \frac{dx}{dt} = \frac{dDp}{dt} \cos p \sin \beta - \frac{dp}{dt} D \sin p \sin \beta + \frac{d\beta}{dt} D \cos p \cos \beta.$$

stąd:

$$V_x = V_D \cdot \cos p \cdot \sin \beta - \omega p D \sin p \sin \beta + \omega \beta D \cos p \cos \beta \quad /5.5/$$

Wyznaczając pochodną równania:  $y = D \cos p \cos \beta \quad /3.8/$

$$i H = D \sin p \quad /3.9/ \text{ otrzymamy:}$$

$$V_y = V_D \cos p \cos \beta - \omega p D \sin p \cos \beta - \omega \beta D \cos p \sin \beta \quad /5.6/$$

$$V_H = V_D \sin p = \omega p D \cos \omega p \quad /5.7/$$

Przykład 1. Samolot nurkuje na baterię z prędkością  $V_c = 350 \text{ m/sek}$ , wytracając po 300 m wysokości w każdej sekundzie swego samolotu. Wyrazić wielkość i kierunek wektora prędkości celu w układzie  $V_{poz}, q, \lambda$  ;

Rozwiązanie:

$$\sin \lambda = \frac{V_H}{V_c} = \frac{300}{350} = 0,857; \lambda = 9.93$$

$$\cos \lambda = 0,5153; V_{poz} = V_c \cdot \cos \lambda = 350 \cdot 0,5153 \approx 180 \text{ m/sek}$$

Przykład 2. Samolot leci z prędkością  $V_c = 200 \text{ m/sek}$ ,  $q_k = 15-00$ ,  $\lambda = 7-50$ . Wyrazić czynniki ruchu celu w układzie  $V_{poz}, Q, V_H$ , jeżeli cel leci w kierunku południowym.

Rozwiązanie:

$$\beta = 0-00; Q = q_k + \beta = 15-00$$

$$V_H = V_{poz} \cdot \text{tg} \lambda = 200 \cdot 11 = 200 \text{ m/sek.}$$

$$V_{poz} = 200 \text{ m/sek}; Q = 15-00; V_H = 200 \text{ m/sek.}$$

Przykład 3. Wektor prędkości celu powietrznego wyznacza układ współrzędnych  $X = 5000 \text{ m}$ ,  $Y = -4000 \text{ m}$ ,  $H_z = 3000 \text{ m}$ ; oraz czynniki ruchu celu:  $V_{poz} = 250 \text{ m/sek}$ ,  $P = 1000 \text{ m}$ ,  $\lambda = 30^\circ$ . Cel leci w prawo. Wyrazić punkt przyłożenia wektora prędkości w walcowym układzie współrzędnych a jego wielkość i kierunek -za pomocą prędkości zmiany tych współrzędnych  $V_\beta$ ,  $V_{Dp}$  i  $V_H$  /.

Rozwiązanie:

$$\beta = \text{arc tg } \frac{x}{y} = \text{arc tg } -1,25/ = 30+00 -8-55 = 21-45$$

$$D_p = \sqrt{25 + 16} = \sqrt{41} = 6,403 \text{ km} = 6403 \text{ m}$$

$$H = 3000 \text{ m}; \sin q = \frac{1000}{6403} = 0,1562; \cos q = 0,9877$$

$$V_{Dp} = - V_{\text{poz}} \cdot \cos q = - 250 \cdot 0,9877 = - 247 \text{ m/sek}$$

$$V = - V_{\text{poz}} \cdot \sin q = - 250 \cdot 0,1562 = - 39 \text{ m/sek}$$

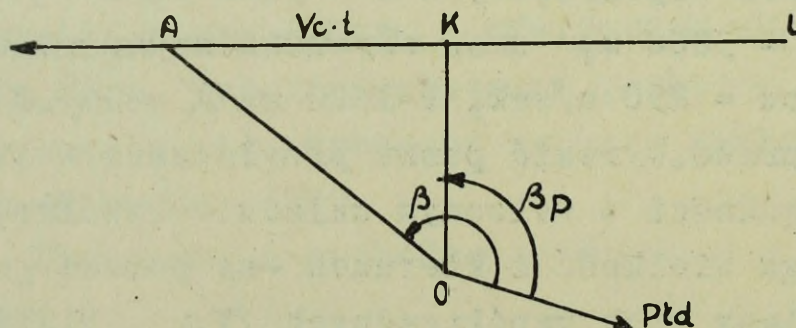
$$V_H = V_{\text{poz}} \cdot \text{tg } \lambda = 250 \cdot 0,5774 = 144 \text{ m/sek}$$

### 6. Prawa zmiany współrzędnych celu ruchomego.

Jeżeli cel porusza się według określonego założenia np. jednostajnie i prostoliniowe, to współrzędne celu będą zmieniały się według określonego prawa. Rozpatrzmy prawa zmiany współrzędnych celu dla ruchu jednostajnego, prostoliniowego i poziomego.

#### Azymut celu

Na rys. /6.1/ prosta ll przedstawia rzut kursu celu na poziom działa. Do rozpatrywania prawa zmiany azymutu założymy, że cel porusza się z prawa na lewo ze stałą prędkością  $V_c \cdot t$ . Czas bieżący oznaczmy literą  $t$ , a za moment początkowy odczytywania czasu przyjmijmy punkt  $k$ , leżący na parametrze kursu.



Rys. 6.1. Zależność azymutu od czasu bieżącego.

Z rys. 6.1. wynika że :

$$\beta = \beta_p + \text{arc tg } \frac{V_c \cdot t}{P} \quad /6.1./$$

Oznaczamy  $\frac{V_c}{P} = a$  i podstawmy do wzoru /6.1/ wtedy

$$\beta = \beta_p + \text{arc tg } / a t / \quad /6.2./$$

gdzie:  $a$  - wielkość stała dla danego kursu celu.

Wzór /6.2/ jest słuszny tylko dla przypadku ruchu celu w lewo, gdzie dodatniemu przyrostowi czasu  $t$  odpowiada dodatni przyrost azymutu.

Przy ruchu celu w prawo i tym samym sposobie odczytywania czasu bieżącego  $t$  do parametru kursu  $t$  - dodatni, za paramaterem - ujemny/ zamiast wzoru /6.2/ otrzymamy:

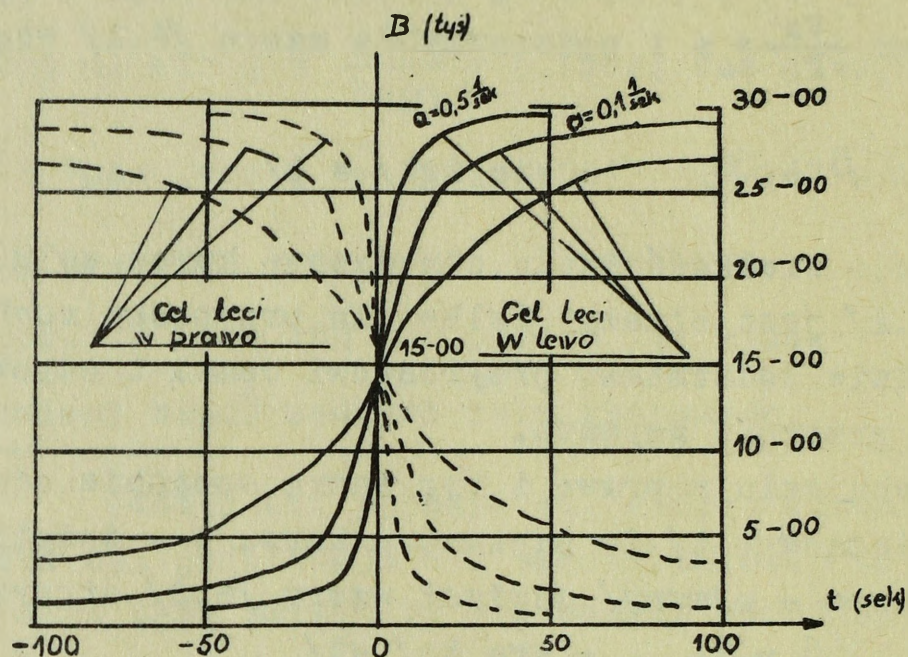
$$\beta = \beta_p - \text{arc tg } / a t / \quad /6.3./$$

Łącząc wzory /6.2/ i /6.3/ otrzymamy równanie ogólne:

$$\beta = \beta_p \pm \text{arc tg } / a t / \quad /6.4./$$

gdzie "+" odnosi się do ruchu celu w lewo, a "-" - ruchu celu w prawo. W obydwu przypadkach wartość kąta określonego na podstawie tangensa zawarta jest w granicach  $180^\circ$ .

Wykres zmiany azymutu celu dla różnych wartości  $a = \frac{V_c}{P}$  i  $\beta_p = 15-00$  przedstawia rys. 6.2.



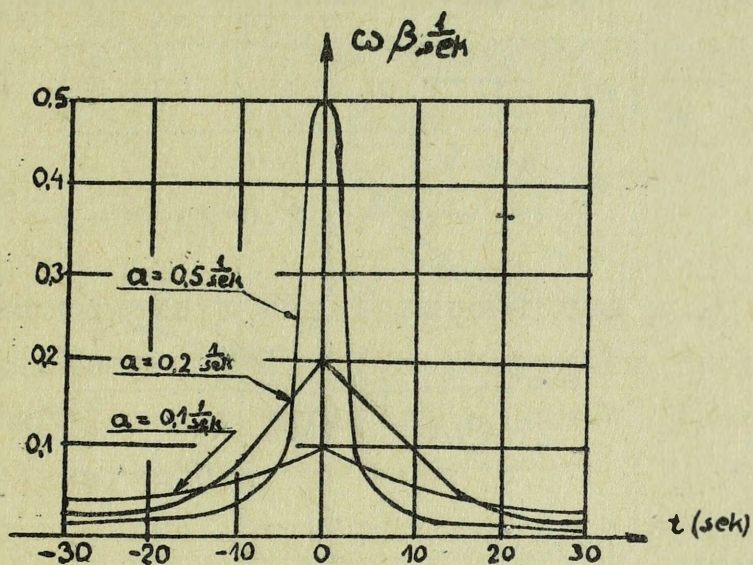
Rys. 6.2. Wykres zmiany azymutu celu przy  $\beta_p = 15-00$ .

Przy innych wartościach  $\beta_p$  krzywe przesuną się w dół lub w górę nie zmieniając swego kształtu.

Wyznaczając pochodną wyrażenia /6.4/ względem czasu otrzymamy prędkość zmiany azymutu

$$\omega_\beta = -\frac{d\beta}{dt} = \pm \frac{a}{1 + a^2 t^2} \quad /6.5/$$

Z równania /6,5/ wynika, że przy  $t = 0$  prędkość zmiany azymutu osiąga największą wartość równą,  $a$ , a przy  $t \rightarrow \pm \infty$  dąży do zera. Innymi słowy, na końcach kursu celu azymut zmienia się wolno, a na parametrze - bardzo szybko /rys. 6.3/.



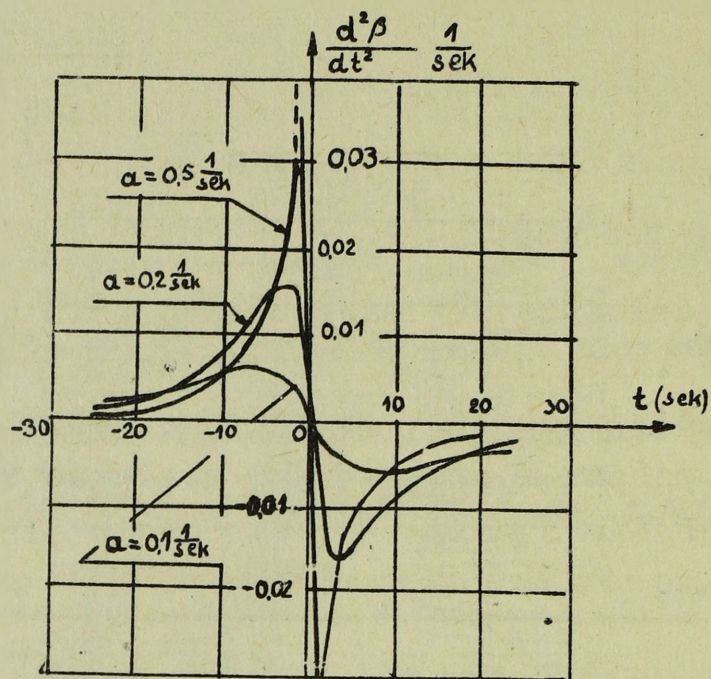
Rys. 6.3. Wykres prędkości zmiany azymutu przy ruchu w lewo dla różnych wartości  $a$ .

Przy ruchu celu w prawo  $\omega\beta$  posiada takie same wartości bezwzględne, lecz ze znakiem minus. Z powyższego wynika, że im większa wartość  $a = -\frac{V_c}{p}$  tym krzywa jest bardziej stroma w pobliżu parametru, w wyniku czego celowanie w azymucie jest poważnie utrudnione szczególnie przy dużych prędkościach i małych parametrach kursu.

Wyznaczając pochodną wyrażenia /6.5/ względem czasu otrzymamy przyspieszenie azymutu:

$$\frac{d^2\beta}{dt^2} = \pm \frac{2a^3 t}{1 + a^2 \frac{t^2}{2}} \quad /6.6./$$

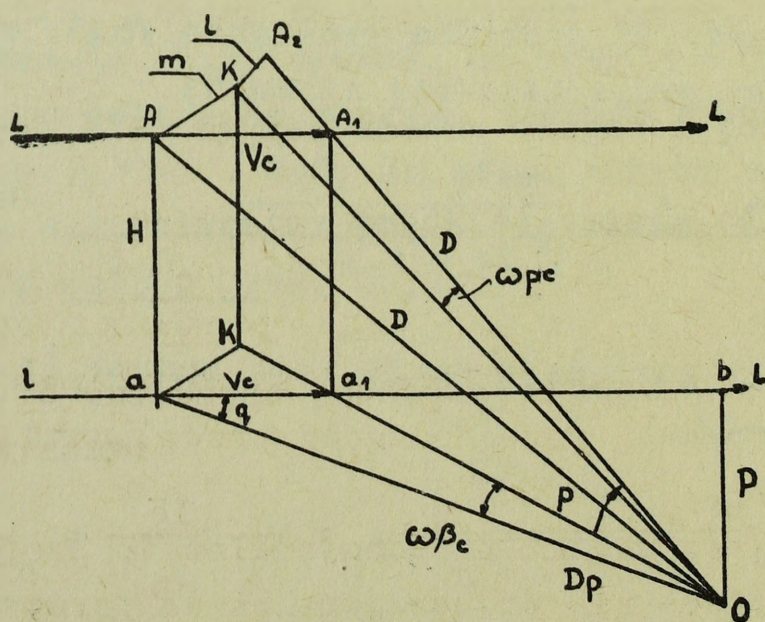
Znaki posiadają takie samo znaczenie jak przy wzorze 6-4/.



Rys. 6.4. Wykres przyspieszenia azymutu przy ruchu celu w lewo.

Na rys. 6.4. przedstawiony jest wykres zmiany przyspieszenia azymutu przy jednostajnym i prostoliniowym ruchu celu z prawa w lewo.

Często zachodzi konieczność rozpatrzenia prędkości zmiany azymutu względem kąta kursowego. W tym celu rozpatrzmy rysunek 6.5.



Rys. 6.5. Prędkości kątowe celu.

Założmy, że wektor  $\vec{V}_c = AA_1$  przedstawia prędkość celu w jednej sekundzie. Poziomą prędkość kątową celu wyrażać będzie zmiana azymutu w jednostce czasu odpowiadająca przesunięciu celu z punktu A do  $A_1$

Z trójkąta  $Oka$   $\omega/\beta_c$  w tysięcznych wyniesie:

$$\omega/\beta_c = 1000 \frac{m}{Oa} = 1000 \frac{m}{D_p}$$

gdzie z trójkąta  $oka_1$ :  $m = V_c \sin q_s$

$$\text{czyli } \omega/\beta_c = \frac{1000 \cdot V_c \cdot \sin q}{D_p} \quad / 6.7/$$

Najdogodniej jednak do obliczeń  $\omega/\beta_c$  wykorzystywać parametr kursu celu P. Z trójkąta  $Oab$ ,  $D_p$  można wyrazić

$$D_p = \frac{P}{\sin q}$$

Podstawiając tę wartość do wzoru otrzymamy:

$$\omega/\beta_c = \frac{1000 \cdot V_c \cdot \sin^2 q}{P} \quad / 6.8/$$

Z analizy wzoru / 6.8/ wynikają następujące wnioski:

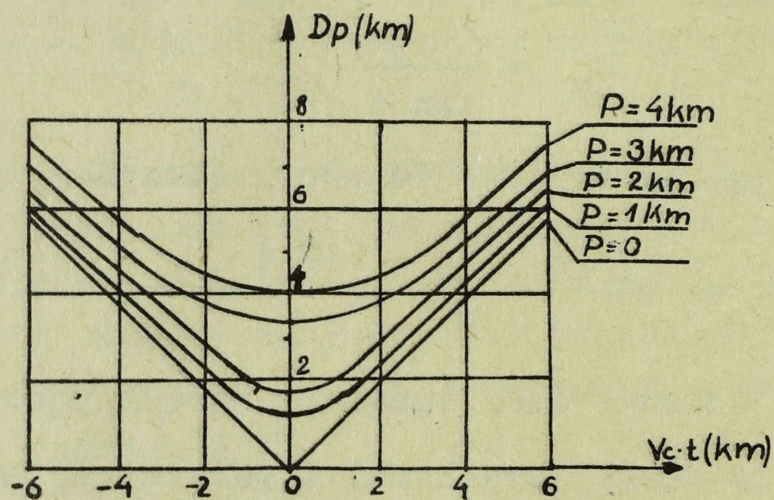
- przy stałej prędkości i parametrze kursu pozioma prędkość kątowa celu  $\omega/\beta_c$  należy wyłącznie od kąta kursowego  $q$ ;
- ze wzrostem kąta kursowego od  $0$  -  $90^\circ$   $\omega/\beta_c$  wzrasta, osiągając maksimum przy  $q = 90^\circ / \sin 90^\circ = 1$ ;  
 $\sin^2 q = 1$ ;
- w punktach jednakowo odległych od podstawy parametru kursu /  $q_1 + q_2 = 180^\circ$  / prędkościątowe są jednakowe, tzn. krzywa jest symetryczna względem linii pionowej przechodzącej przez punkt na parametrze;
- $\omega/\beta_c$  jest wprost proporcjonalna do prędkości celu i odwrotnie proporcjonalna do parametru kursu.

Odległość pozioma

Z rys. 6.1. wynika, że odległość pozioma równa się

$$D_p = \sqrt{P^2 + \frac{v_c^2 \cdot t^2}{2}} \quad /6.9/$$

Rys. 6.6. przedstawia wykres zmiany DP przy jednostajnym i prostoliniowym ruchu celu. Wykres przedstawia sobą rodzinę hiperbol /ich dodatnie gałęzie/, której oś rzeczywista pokrywa się z rzędną. Asymptoty przecinają się w punkcie początkowym układu w przypadku gdy  $P = 0$ .



Rys. 6.6. wykres zmiany długości poziomej.

Obliczmy prędkość zmiany odległości poziomej

$$v_{D_p} = \frac{d D_p}{dt}$$

Wyznaczając pochodną równania /6.9/ względem czasu otrzymamy:

$$v_{D_p} = \frac{dD_p}{dt} = \frac{v_c^2 t}{\sqrt{P^2 + \frac{v_c^2 \cdot t^2}{2}}} = \frac{v_c^2 t}{D_p} \quad /6.10/$$

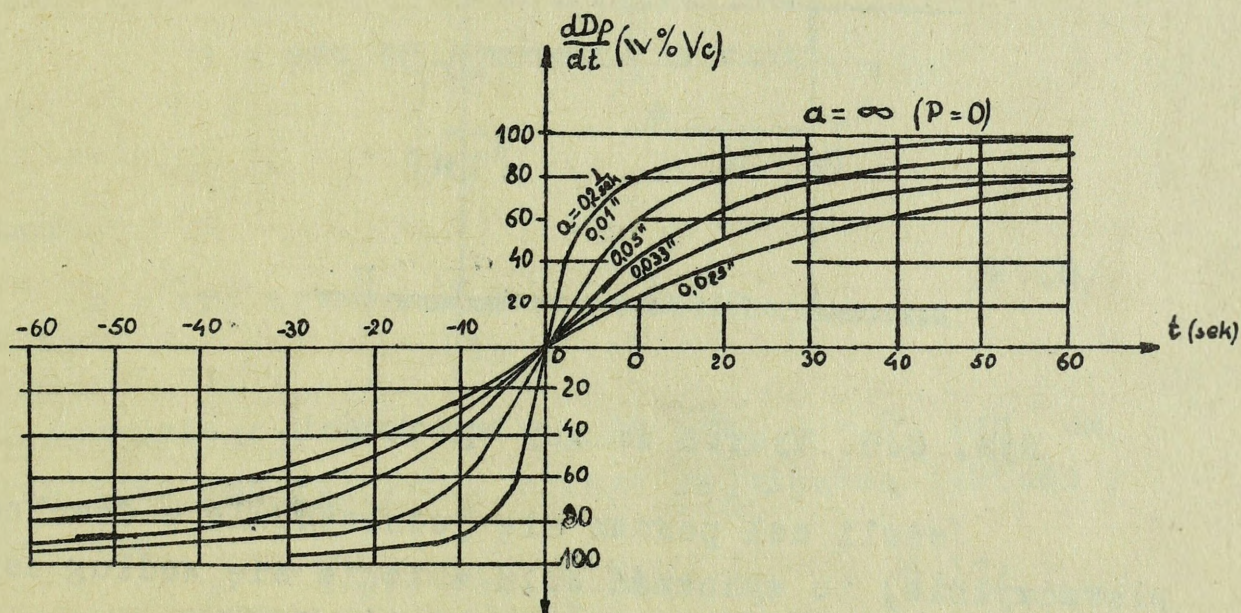
Dzieląc licznik i mianownik równania /6.10/ przez P otrzymamy inną postać równania

$$V_{D_p} = V_c \frac{at}{\sqrt{1 + a^2 t^2}} \quad /6.11/$$

W rys.6.7 wynika, że na parametrze  $V_{D_p} = 0$ , a na końcach kursu wartość  $V_{D_p}$  zbliżona jest do wartości  $V_c$ .

Wyznaczając pochodną wyrażenia /6.11/ względem czasu otrzymamy przyśpieszenie zmiany odległości poziomej:

$$\frac{d^2 D_p}{dt^2} = \frac{V_c a}{\sqrt{1 + a^2 t^2} \cdot \frac{3}{2}} \quad /6.12/$$



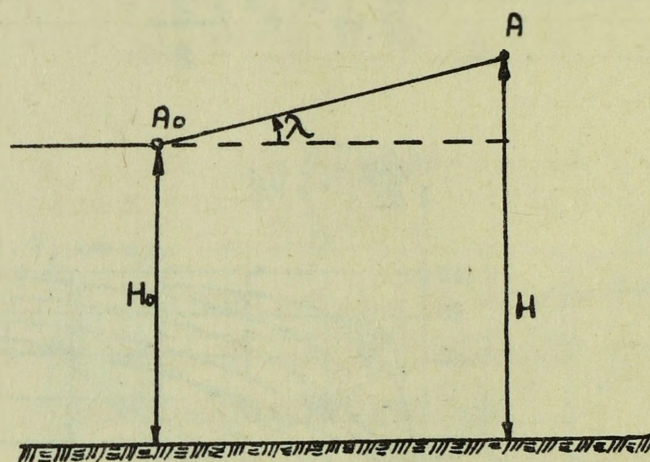
Rys.6.7. Wykres prędkości zmiany  $D_p$  dla różnych wartości  $a$ .

### Wysokość celu

W przypadku poziomego ruchu celu wysokość jest wartością stałą, tzn.  $H = \text{const}$ , a prędkość zmiany wysokości  $V_H$  równa jest zeru:

$$V_H = \frac{dH}{dt} = 0$$

Charakter zmiany wysokości przy ruchu poziomym przedstawiony jest na rys. 6.8. linią przerywaną.



Rys. 6.8. Wykres zmiany wysokości.

Jeżeli cel posuwa się jednostajnie w dowolnej płaszczyźnie, to wysokość celu zmienia się według zależności

$$H = H_0 + V_H \cdot t \quad /6.13/$$

gdzie  $H$  - bieżąca wysokość celu/wysokość w momencie  $t$ ,  
 $H_0$  - początkowa wysokość celu,  
 $t$  - czas bieżący, mierzony od momentu początkowego /od początku nurkowania lub wznoszenia/.

Prędkość zmiany wysokości w tym przypadku jest wielkością stałą

$$V_H = \frac{dH}{dt} = \text{const.}$$

a jej wykres będzie przedstawiała prosta, nachylona względem poziomu pod kątem  $\lambda$  /rys. 6.8 - linia ciągła/.

Kąt położenia celu

Znając wysokość i odległość poziomą możemy określić kąt położenia celu ze wzoru:

$$p = \text{arc tg } \frac{H}{D_p} \quad /6.14/$$

Podstawiając w miejsce  $D_p$  jej wyrażenie /6.9/, otrzymamy:

$$p = \text{arc tg } \frac{H}{\sqrt{P^2 + v_c^2 t^2}} \quad /6.15/$$

a dzieląc licznik i mianownik przez  $P$

$$p = \text{arc tg } \frac{\frac{H}{P}}{\sqrt{\frac{P^2}{P^2} + \frac{v_c^2}{P^2} t^2}}$$

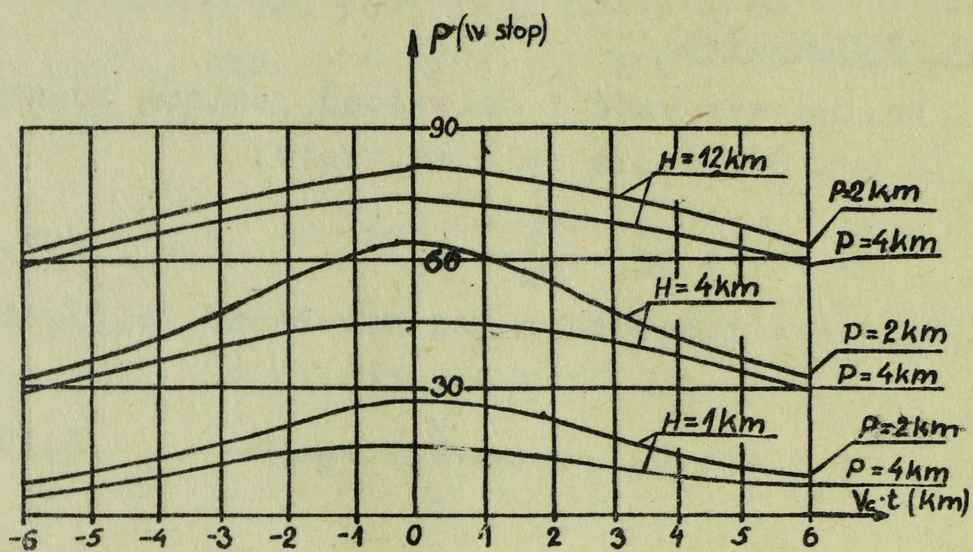
stąd

$$p = \text{arc tg } \frac{H}{P} \frac{1}{\sqrt{1 + a^2 t^2}} \quad /6.16/$$

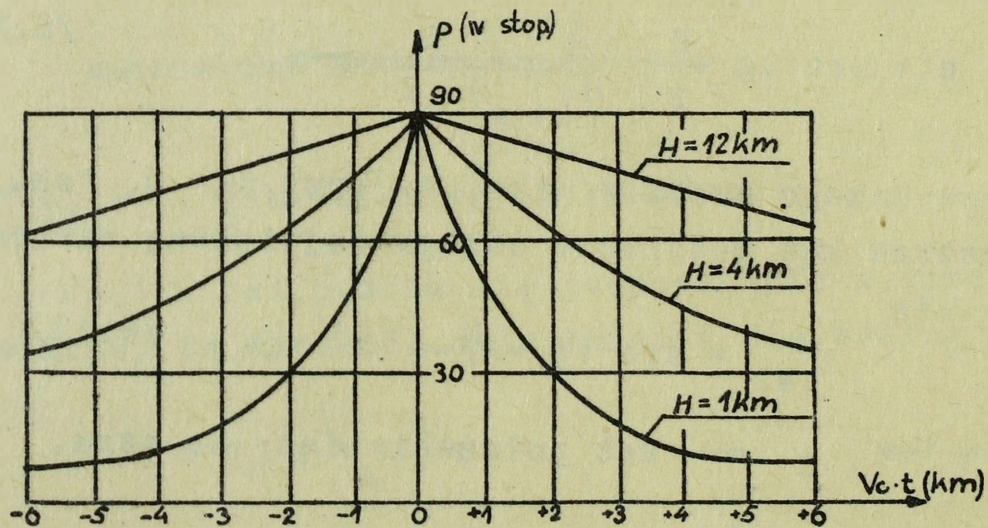
Z powyższego wzoru wynika, że przy  $t = 0$ , tzn. na parametrze kąt położenia osiąga największą wartość i równa się

$$p_{\text{max}} = \text{arc tg } \frac{H}{P} \quad /6.17/$$

Przy  $t \rightarrow \pm \infty$  kąt położenia dąży do zera.



Rys. 6.9. Wykres zmiany kąta położenia dla różnych  $H$  i  $P$



Rys. 6.10. Wykres zmiany kąta położenia dla różnych  $H$  i  $P=0$ .

Wyznaczając pochodną wyrażenia /6.12/ względem czasu przy  $H = \text{const}$  obliczymy prędkość zmiany kąta położenia:

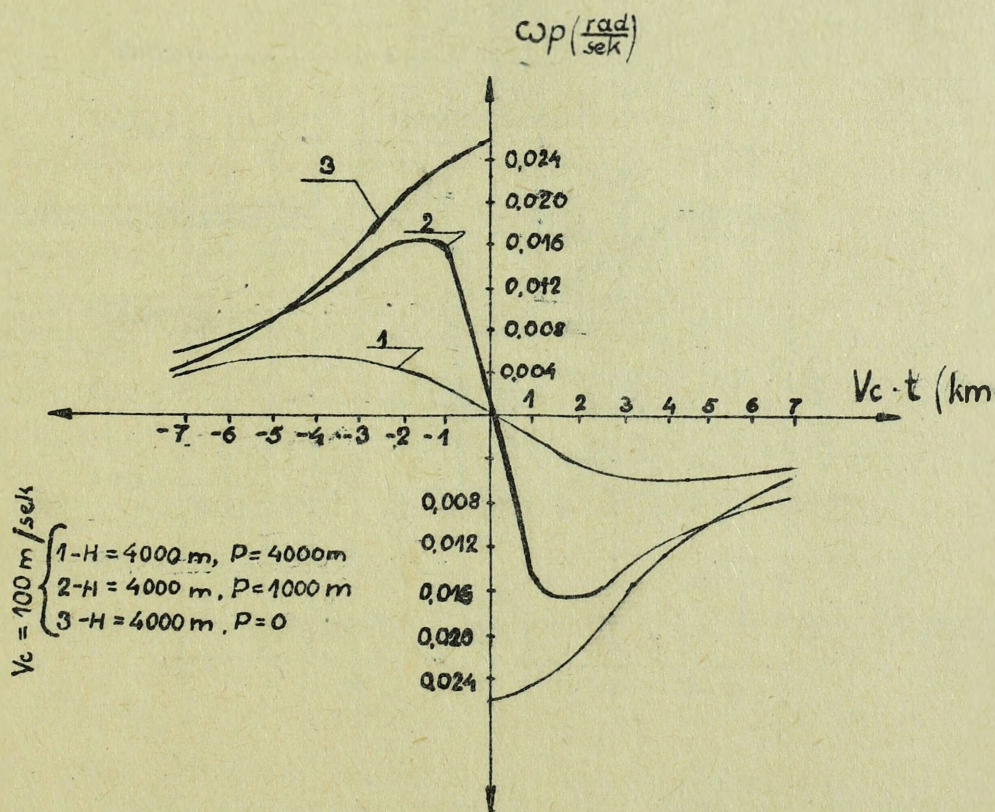
$$\omega_p = \frac{d p}{d t} \cdot \frac{1}{1 + \frac{H^2}{Dp^2}} \cdot \left( -\frac{H}{Dp^2} \right) \cdot \frac{d Dp}{d t} =$$

$$= \frac{-H}{H^2 + Dp^2} \cdot \frac{d Dp}{d t}$$

Podstawiając do powyższego równania wyrażenie /6.9/ i /6.10/ otrzymamy ostatecznie;

$$\omega_p = \frac{d p}{d t} = \frac{-H V_c^2 t}{(H^2 + P^2 + V_c^2 t^2) P^2 + V_c^2 t^2} \quad /6.18/$$

Wykres zmiany  $\omega_p$  wzdłuż kursu celu dla różnych wysokości parametrów kursu i prędkości celu 100 m/sek przedstawia rys. 6.11.

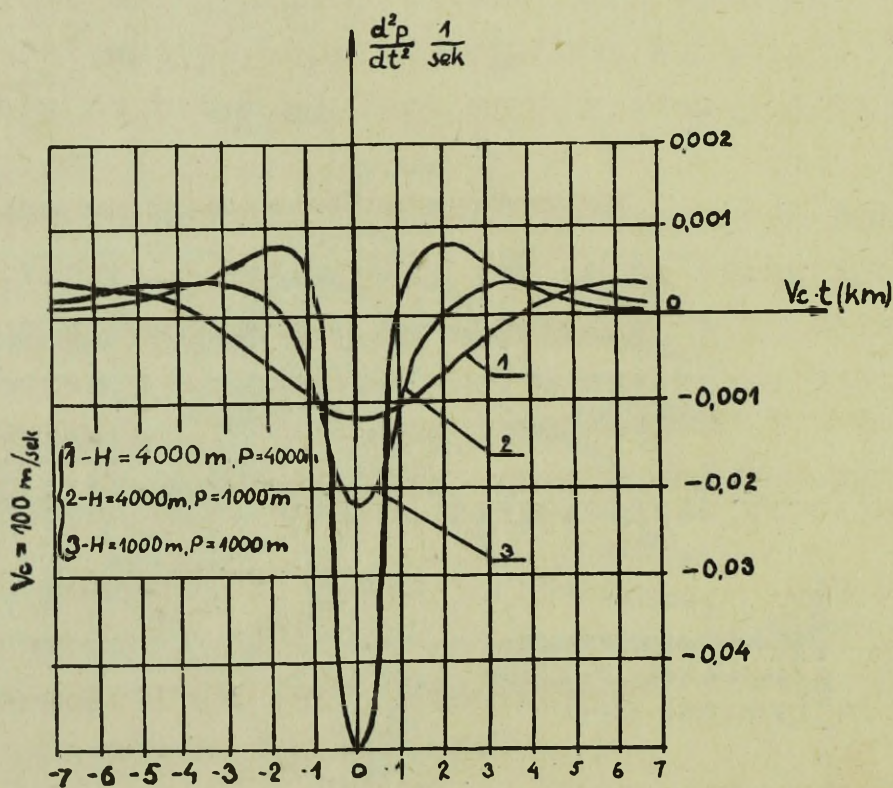


Rys. 6.11. Wykres prędkości zmiany kąta położenia.

Jak wynika z równania /6.18/ i wykresu na rys. /6.11/ prędkość zmiany kąta położenia celu  $\omega_p$  zależna jest od prędkości celu  $V_c$ , parametru kursu  $P$  i wysokości celu  $H$ .

Wpływ wymienionych wielkości na  $\omega_p$  przedstawia się następująco:

- bezwzględna wartość  $\omega_p$  wzrasta przy zwiększeniu  $V_c$ ,
- bezwzględna wartość  $\omega_p$  maleje przy zwiększeniu  $P$ ,
- zwiększenie wysokości powoduje wzrost bezwzględnej wartości  $\omega_p$  w punktach bardziej oddalonych od parametru kursu i malenie  $\omega_p$  w punktach bliskich parametru kursu/ krzywe 2 i 3 rys. 6.11/,
- równoczesna zmiana wartości  $V_c$ ,  $P$  i  $H$  w tym samym stosunku nie zmieniają wielkości  $\omega_p$ .



Rys. 6.12 Wykres przyspieszenia kąta położenia.

Wyznaczając pochodną wyrażenia /6.18/ względem czasu otrzymamy przyspieszenie kąta położenia celu:

$$\frac{d^2 p}{d t^2} = - b a^2 \frac{1 + b^2 - a^2 t^2 - 2 a^4 t^4}{(1 + b^2 + a^2 t^2) (1 + a^2 t^2)^{\frac{3}{2}}} \quad /6.19/$$

gdzie:

$$a = \frac{V_0}{P}, \quad b = \frac{H}{P}$$

Rys. 6.12 przedstawia wykres przyspieszenia kąta położenia.

Do rozpatrzenia  $\omega_{pc}$  względem kąta kursowego wykorzystamy rys. 6.5.

Z trójkąta  $Oka_1$  /rys. 6.5./ prędkość kątowna celu w tysięcznych

$$\omega_{pc} = 1000 \frac{1}{Ok} = 1000 \frac{1}{D}$$

gdzie z trójkąta  $A_1KA_2$  i  $oka_1$  :  $l = V_0 \cdot \cos q \cdot \sin p$ .

Podstawiając tę wartość do wzoru i wyrażając odległość rzeczywistą  $D$  przez  $\frac{H}{\sin p}$  otrzymamy

$$\omega_{pc} = \frac{1000 \cdot V_0 \cdot \cos q \cdot \sin^2 p}{H} \quad /6.20/$$

Wzór /6.20/ wykorzystujemy do obliczenia  $\omega_{pc}$  przy parametrze kursu  $P = 0$ . Do obliczenia  $\omega_{pc}$  dla parametrów kursu różnych od zera należy wyrażenie /6.20/ odpowiednio przekształcić, tzn. w miejsce  $\sin^2 p$  wprowadzić wartości  $P$ .

Ponieważ  $\sin p = \frac{H}{D}$  a  $D = \sqrt{H^2 + \frac{P^2}{\sin^2 q}}$ ,

to

$$\sin^2 p = \frac{H^2}{H^2 + \frac{P^2}{\sin^2 q}} = \frac{H^2 \sin^2 q}{p^2 + H^2 \sin^2 q}$$

Podstawiając do wzoru /6.20/ wyrażenie  $\frac{H^2 \sin^2 q}{P^2 + H^2 \sin^2 q}$

otrzymamy ostatecznie:

$$\omega_{pc} = \frac{1000 \cdot V_c \cdot \cos q \cdot \sin^2 q \cdot H}{P^2 + H^2 \sin^2 q} \quad /6.21/$$

Analizując wzór /6.21/ dojdziemy do wniosków:

- przy stałej prędkości celu, parametrze kursu i wysokości celu  $\omega_{pc}$  zależy od kąta kursowego  $q$  oraz kąta położenia celu  $p$ ;
- przy wzrastaniu kąta kursowego od  $0 - 90^\circ$   $\omega_{pc}$  osiąga maksimum przed dojściem do parametru, następnie maleje i na parametrze kursu  $/q = 90^\circ/$  równa jest zeru, a przy kątach kursowych od  $90^\circ - 180^\circ$  <sup>locie/</sup> krzywa  $\omega_{pc}$  jest taka sama jak przy celu na baterię, lecz współrzędne jej są ujemne,
- przy kątach kursowych  $0^\circ$  i  $180^\circ$   $/P=0/$ ,  $\omega_{pc}$  zmienia się zależnie od kąta  $p$ , z tym, że po osiągnięciu maksimum na parametrze zmienia znak na przeciwny:
- ze wzrostem wysokości celu  $\omega_{pc}$  szybko maleje.

### Odległość rzeczywista

Z rys. 3.9. wynika, że odległość rzeczywista równa się:

$$D = \sqrt{H^2 + D_p^2}$$

Podstawiając wartość  $D_p$  z /6.7/ otrzymamy:

$$D = \sqrt{H^2 + P^2 + V_c^2 t^2}$$

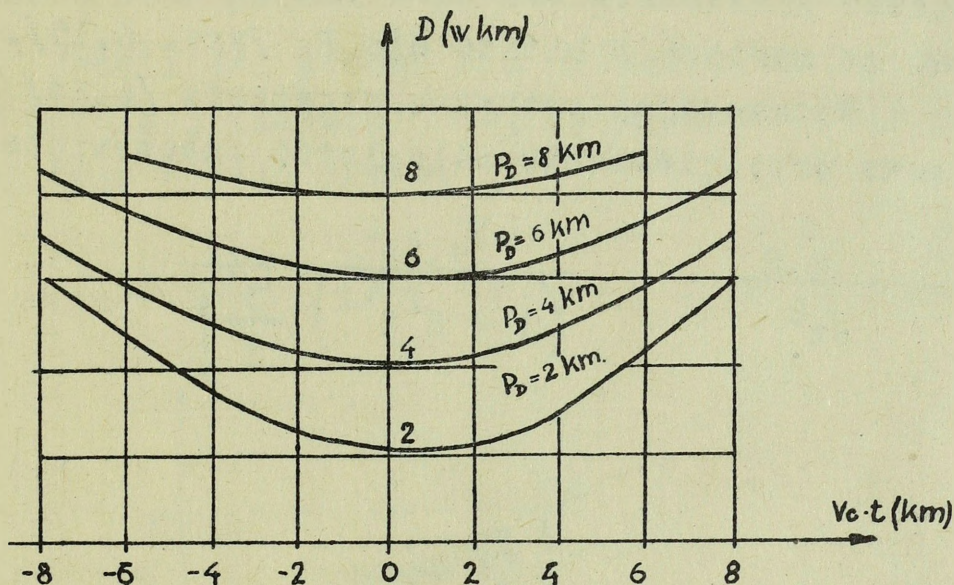
Wprowadzając oznaczenie  $P_D$ / parametr kursu w płaszczyźnie pochyłej / równy

$$P_D = \sqrt{H^2 + P^2}$$

otrzymamy:

$$D = \sqrt{P_D^2 + V_c^2 t^2} \quad /6.22/.$$

Porównując równanie /6.22/ i /6.9/ można zauważyć, że prawo zmiany odległości rzeczywistej  $D$  jest podobne do prawa zmiany odległości poziomej  $D_p$ . Różnica polega na tym, że we wzorze /6.22/ w miejsce parametru kursu  $P$  przedstawiona jest wartość parametru kursu w płaszczyźnie pochyłej /odległości rzeczywistej/  $P_D$ .



Rys. 6.13. Wykres zmiany odległości rzeczywistej.

Na rys. 6.13 jest przedstawiony wykres zmiany  $D$  przy jednostajnym, prostoliniowym i poziomym ruchu celu. Krzywe na wykresie tworzą rodzinę hiperbol.

Prędkość zmiany odległości rzeczywistej  $V_D$  można obliczyć wyznaczając pochodną wyrażenia /5.22/ względem czasu

$$V_D = \frac{d D}{d t} = \frac{V_c^2 t}{\sqrt{P_D^2 + V_c^2 t^2}} \quad /6.23/$$

Dzieląc z kolei licznik i mianownik powyższego równania przez  $P_D$  otrzymamy:

$$V_D = \frac{dD}{dt} = V_0 \frac{c \cdot t}{\sqrt{1 + c^2 t^2}} \quad /6.24/$$

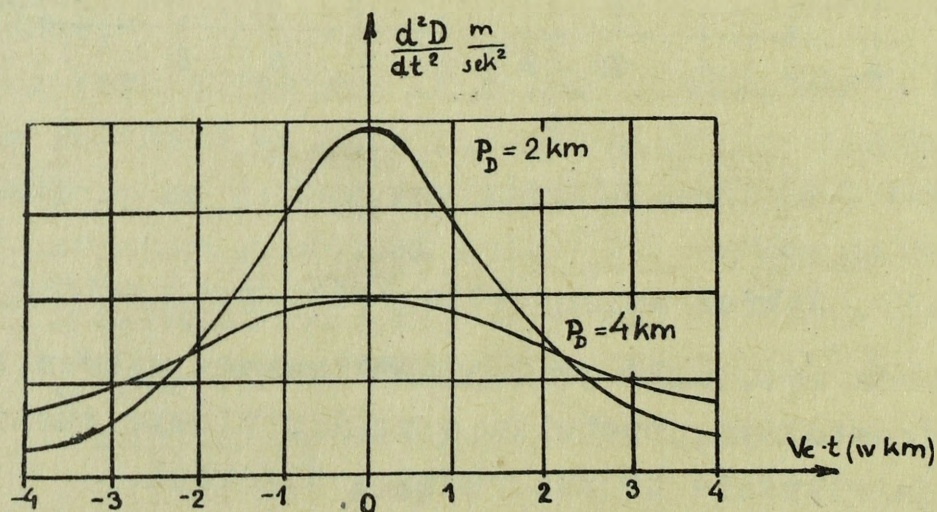
gdzie:

$$c = \frac{V_0}{P_D}$$

Otrzymane równanie / 6.24/ ma taką samą postać jak równanie /6.11/. W związku z tym równanie /6.24/ można przedstawić graficznie tak samo jak na rys. /6.6/ z tą różnicą, że zamiast P bierze się  $P_D$  /rys. 6.15/.

Wyznaczając pochodną wyrażenia /6.24/ w czasie otrzymamy przyspieszenie odległości rzeczywistej

$$\frac{d^2 D}{dt^2} = \frac{V_0 \cdot c}{(1 + c^2 t^2)^{\frac{3}{2}}} \quad /6.25/$$



Rys. 6.14 Wykres przyspieszenia zmiany odległości rzeczywistej przy  $V_0 = 200 \text{ m/sek}$ .

Współrzędne prostokątne

Założmy, że cel w momencie początkowym znajduje się w punkcie A/rys. 6.15/ leżącym na rzucie kursu celu ll. Współrzędnymi tego punktu są  $X_0$  i  $Y_0$ . Po upływie

czasu  $t$  cel przeleci drogę  $V_c \cdot t$  i znajdzie się w punkcie B. Współrzędne celu  $x$  i  $y$  przy jednostajnym ruchu będą zmieniały się jednostajnie i będą równe:

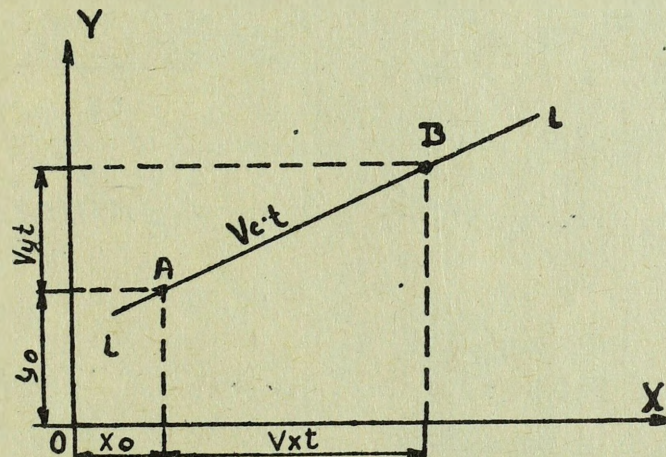
$$\left. \begin{aligned} x &= X_0 + V_x t \\ y &= Y_0 + V_y t \end{aligned} \right\} /6.26/$$

a

$$V_c \cdot t = \sqrt{(V_x t)^2 + (V_y t)^2} \quad /6.27/$$

Jeżeli cel posuwa się jednostajnie, prostoliniowo w dowolnej płaszczyźnie, to wysokość celu zmienia się wg tego samego prawa:

$$H = H_0 + V_H t \quad /6.28/$$



Rys. 6.15. Wykres zmiany współrzędnych prostokątnych przy prostoliniowym i jednostajnym ruchu celu.

Przy jednostajnym i prostoliniowym ruchu celu prędkość zmiany współrzędnych prostokątnych  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_H$  jest wartością stałą, a ich znaki określa kierunek lotu celu względem osi współrzędnych.

Przykład 1.

Cel leci prostoliniowo, jednostajnie i poziomo;  
 $V_c = 200$  m/sek,  $H = 4000$  m,  $P = 1000$  m. Obliczyć  
jaką pionową prędkość kątową  $\omega_{pc}$  posiadał  
będzie cel, gdy znajdzie się w odległości  $1000$  m  
od parametru ?.

Rozwiązanie:

$$S = V_c \cdot t : t = \frac{S}{V_c} = \frac{1000}{200} = 5 \text{ sek}$$
$$\omega_{pc} = \frac{-H^2 - V_c^2 t^2}{(H^2 + P^2 + V_c^2 t^2) \sqrt{P^2 + V_c^2 t^2}}$$
$$= \frac{16 \cdot 0,04 : 5}{(16 + 1 + 0,94 \cdot 25) \sqrt{1 + 0,04 \cdot 25}}$$
$$= \frac{3,2}{25,45} = 0,126 \frac{1}{\text{sek}}$$

$$\omega_{pc} = 0,126 \text{ radiana / sek} = 1-20/\text{sek}.$$

### Przykład 2.

Cel leci prostoliniowo, jednostajnie i poziomo:  
 $V_c = 200$  m/sek,  $P = 1000$  m. W jakiej odległo-  
ści od parametru przyrząd optyczny nie będzie  
mógł prowadzić celu ze względu na prędkość  
zmiany azymutu, gdy jego maksymalna szybkość  
kątowna celowanie  $\omega/\beta_{(prz)} = 1-50/\text{sek}$ .

Rozwiązanie:

$$\omega\beta_c = \pm \frac{a}{1 + a^2 t^2} ; \omega\beta_c + \omega\beta_c a^2 t^2 = a$$

$$\omega\beta_c a^2 t^2 = a - \omega\beta_c ; t = \sqrt{\frac{a - \omega\beta_c}{a^2 \omega\beta_c}}$$

$$a = \frac{200}{1000} = 0,2 \frac{1}{\text{sek}}$$

$$\omega\beta_c = 1-50 = 0,157 \text{ radiana}$$

$$t = \sqrt{\frac{0,2 - 0,157}{0,04 \cdot 0,157}} = \sqrt{\frac{0,043}{0,00628}} \approx 2,6 \text{ sek}$$

$$S = V_c \cdot t = 200 \cdot 2,6 = 520 \text{ m}$$

## 7. HIPOTEZY RUCHU CELU

=====

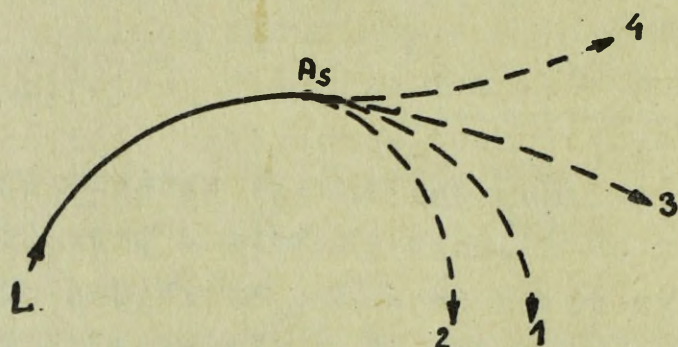
Do rozwiązania zadania spotkania pocisku z celem w określonym punkcie w przestrzeni oraz w określonym momencie czasu niezbędna jest znajomość praw ruchu obydwóch ciał i możliwość kierowania jednym z nich, w naszym przypadku prawem ruchu pocisku.

Prawo ruchu pocisku zostało opracowane przez balistykę i możemy z dowolną dokładnością znać drogę ruchu pocisku, jego prędkość w różnych punktach toru, czas lotu do różnych punktów w przestrzeni. Znany jest nam także wpływ balistycznych i meteorologicznych warunków na lot pocisku i położenie rozprysku.

Dlatego po odpowiednim wycelowaniu działa i nastawieniu na zapalniku odpowiedniego czasu działania, można otrzymać rozprysk pocisku w punkcie wyprzedzonym.

Prawo ruchu celu dla danego wystrzału może być ustalone tylko do punktu w przestrzeni, w którym cel znajdzie się w momencie oddania wystrzału - punktu  $A_S$ , przy ciągłym określaniu bieżących współrzędnych i czynników ruchu celu.

Przy dalszym ruchu, to znaczy w czasie wyprzedzonym na odcinku  $A_S A_W$ , ustalone prawo ruchu celu może być naruszone, czy to z woli pilota/ w postaci manewru/ czy też z przyczyn niezależnych od jego woli.



Rys. 7.1. Możliwe kursy celu po oddaniu wystrzału.

Na rys. 7.1. ciągłą krzywą przedstawiono drogę celu do momentu wystrzału, a przerywanymi - możliwe kursy celu/ w nieskończenie dużej ilości/ w czasie wyprzedzonym. Po jakim z nich polecą cel, trudno jest przewidzieć. Możemy jednak zakładać, że cel w czasie wyprzedzenia zachowa <sup>poprzedni</sup> ~~przekształcony~~ charakter ruchu. Im czas wyprzedzenia będzie mniejszy, tym prawdopodobiejsze, że charakter ruchu celu w tym czasie będzie mniej się różnił od charakteru jego ruchu do momentu wystrzału. Z powyższego wynika konieczność zakładania pewnych hipotez ruchu celu w czasie wyprzedzenia.

Z analizy charakteru działania bojowego lotnictwa, wykluczając działanie lotnictwa myśliwskiego w czasie walki powietrznej, wynikają następujące wnioski"

- samolot bombowy w pewnym odstępie czasu poprzedzającym moment zrzut bomb, w zależności od typu celownika bombardierskiego, winien lecieć jednostajnie, poziomo, prostoliniowo lub po łuku koła oraz w czasie bombardowania z lotu nurkowego wzdłuż prostej nachylonej pod pewnym kątem do poziomemu;

- wykonanie manewru przez grupę samolotów jest poważnie utrudnione i cel taki będzie dążył do zachowania ustalonych warunków lotu/ruchu/;
- samolot rozpoznawczy w czasie fotografowania powinien zachować /nad terenem fotografowanym / w pewnym odstępie czasu ruch jednostajny, poziomy i prostoliniowy;
- samoloty myśliwskie towarzyszące grupom bombowców będą wykonywały różnorodne manewry w celu niedopuszczenia myśliwców nieprzyjaciela;
- manewr samolotów myśliwskich, przechwytyjących będzie poważnie ograniczony z powodu dużych prędkości lotu.

Na podstawie powyższego można stwierdzić, że najbardziej ogólną i najbardziej prawdopodobną będzie następująca hipoteza:

W czasie wyprzedzenia charakter ruchu celu będzie taki sam jak do momentu wystrzału.

Oprócz tej hipotezy ruchu, może być szereg szczególnych hipotez, które wynikają i są określone w zależności od bojowej działalności lotnictwa oraz możliwości konstrukcyjnych przeliczników i celowników automatycznych.

Najczęściej stosowanymi w artylerii przeciwlotniczej hipotezami są:

1. W czasie wyprzedzania cel porusza się prostoliniowo, jednostajnie i poziomo.
2. W czasie wyprzedzania cel porusza się prostoliniowo, jednostajnie w dowolnej płaszczyźnie.
3. W czasie wyprzedzania cel porusza się prostoliniowo w płaszczyźnie pochyłej ze stałym przyspieszeniem.
4. W czasie wyprzedzania cel porusza się jednostajnie po krzywej w płaszczyźnie poziomej.

PC.  
członek tej

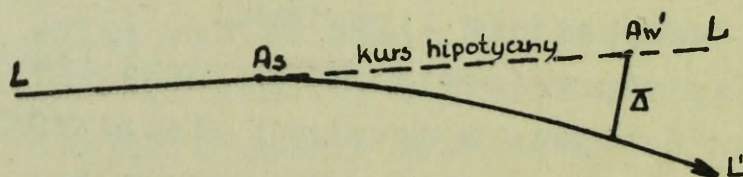
Hipotezy te nie wykluczają jeszcze innych całkowicie różnych hipotez, jak również nie wykluczają pewnych zmian tej lub innej hipotezy przy opracowywaniu nowych przeliczników lub celowników.

Wybór hipotezy dla przeliczników powinien opierać się na analizie taktyczno-technicznych właściwości lotnictwa oraz uwzględniać techniczne możliwości urządzeń liczących stosowanych w przelicznikach.

Ruch celu według przyjętej hipotezy będzie możliwy w zasadzie tylko do momentu pojawienia się pierwszych rozprysków /tras/ obok celu, po czym lotnik może wykonać manewr przeciwartyleryjski.

Jeżeli lotnik wykona manewr, w wyniku którego kurs celu odchyła się od przewidzianego hipotezą w danym przeliczniku, to rozwiąże on zadanie spotkania nie dla punktu leżącego na rzeczywistym kursie celu, a dla punktu - na kursie założonym.

Oprócz powyższego każda hipoteza ruchu celu obarczona jest błędami, ponieważ rzeczywisty ruch celu nigdy nie będzie dokładnie pokrywał się z ruchem hipotetycznym. Błędy hipotezy będą tym większe im większy będzie czas wyprzedzania.



Rys. 7.2. Błędy hipotezy ruchu.

Na przykład: przy rozwiązywaniu zadania spotkania w oparciu o hipotezę pierwszą/ w czasie wyprzedzonym cel porusza się prostoliniowo, jednostajnie i poziomo/ wypracowany punkt  $A'_w$  będzie leżał na kursie rzeczywistym celu, a na założonym hipotezą, to znaczy, że rzeczywisty punkt  $A_w$  będzie oddalony o wartość  $\bar{\Delta}$  od punktu  $A'_w$ . Wartość  $\bar{\Delta}$  będzie tym większa im większy będzie czas wyprzedzenia. Zmniejszenie błędów w wypracowaniu punktu  $A_w$ , wynikających z założeń hipotezy można osiągnąć przez zmniejszenie czasu wyprzedzenia.

Dla współczesnych przeliczników i celowników automatycznych, gdzie czas roboczy równy jest zeru, a czas wyprzedzenia - czasowi lotu pocisku, zmniejszenie czasu lotu pocisku można uzyskać tylko przez zwiększenie prędkości pocisku.

Ekstrapolacją nazywamy rozprzestrzenienie wniosków otrzymanych z doświadczeń z jednej części zjawiska na drugą jego część. Wybór hipotezy ruchu celu jest niczym innym, jak ekstrapolacją, to znaczy rozprzestrzenieniem wniosków o drodze ruchu celu do momentu wystrzału najęgo ruch w czasie wyprzedzonym.

Zatem w przeliczniku przeprowadzona jest ekstrapolacja drogi celu w czasie wyprzedzenia/na odcinku  $A_s A_w$ / zgodnie z założoną w jego konstrukcji hipotezą. W związku z tym strzelający nie ma żadnego wpływu na rozwiązanie zadania spotkania przez przelicznik, gdy cel będzie leciał według innej hipotezy, ponieważ nie może zmienić konstrukcji przelicznika.

Nie wyklucza się, w miarę osiągnięć techniki będą konstruowane przeliczniki pracujące w oparciu o kilka hipotez/prostoliniowych/ krzywoliniowych i w dowolnej płaszczyźnie/. W takim wypadku strzelający będzie mógł decydować o wyborze hipotezy ruchu

lub ocenie ich z punktu widzenia dopuszczalnych błędów.

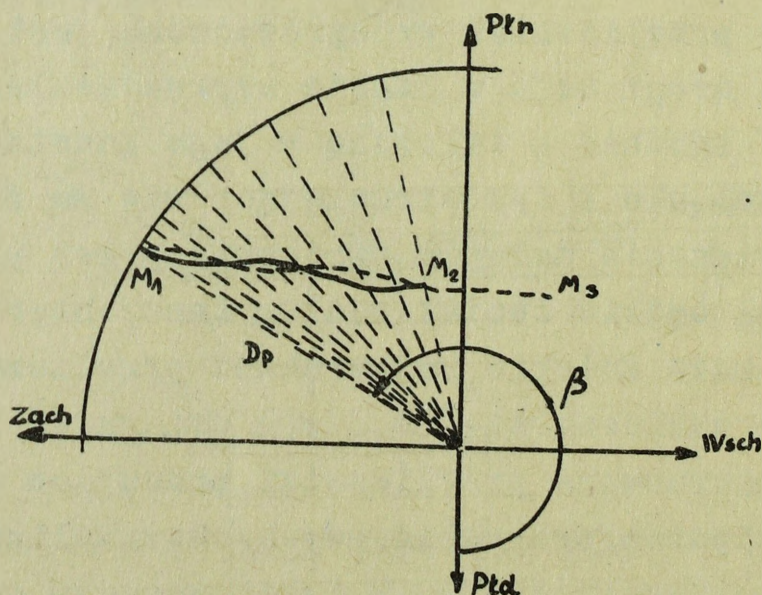
Z ekstrapolacją spotykamy się również w czasie nanoszenia kursu celu na stolik na podstawie wcięć w celu wyznaczenia przyszłego kursu celu/ ogień zaporowy/ oraz przy opracowywaniu wyników strzelań itp.

W czasie rozwiązywania zadań związanych z ekstrapolacją spotykamy się równocześnie z wypośrodkowaniem tych zależności, według których określa się ekstrapolowane wartości zmiennej wielkości. Pod pojęciem wypośrodkowania wartości zmiennej wielkości należy rozumieć wyznaczenie jej średniej wartości.

Rozpatrzmy zagadnienie ekstrapolacji i wypośrodkowania na przykładach.

Przykład 1.

Na stolik, według azymutu  $\beta$  i odległości poziomej  $D_p$ , nanoszony jest kurs celu/ rys. 7.3/. Odstęp między wcięciami - 10 sek. Od momentu wykrycia celu wykonano 11 wcięć w czasie 100 sek. Z powodu błędów pomiarów  $\beta$  i  $D_p$ , kurs celu na stoliku będzie przedstawiony w postaci linii krzywej  $M_1M_2$ . Należy określić kurs celu w najbliższym czasie 20-30 sek.

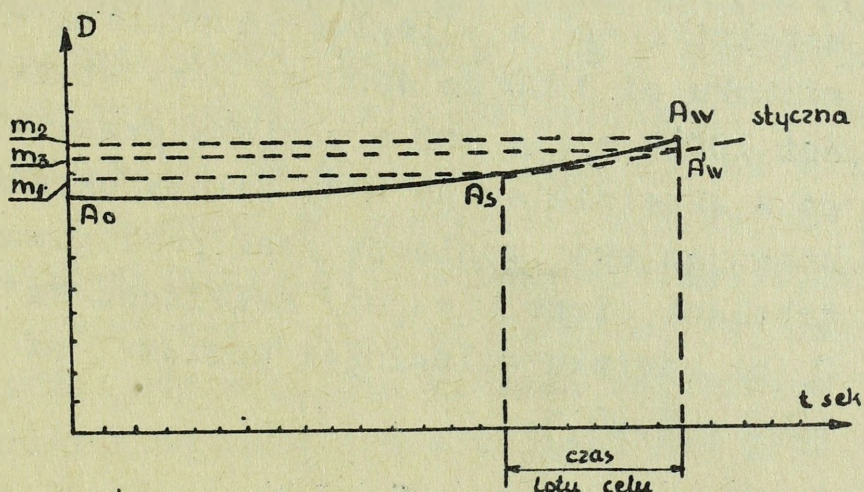


Rys. 7.3. Ekstrapolacja kursu celu.

Aby wyznaczyć najbardziej prawdopodobny kurs celu trzeba wypośredkować linię krzywą  $M_1M_2$ . Ekstrapolacja kursu dla czasu 20-30 sek wyznaczy odcinek  $M_2M_3$ , zgodny co do charakteru z odcinkiem  $M_1M_2$ .

Przykład 2.

W niektórych przelicznikach podstawową hipotezą jest hipoteza ruchu prostoliniowego, a do wypracowania poprawki na możliwy kurs krzywoliniowy posiadają one dodatkowe urządzenie określające zależność rzeczywistej odległości od czasu bieżącego. Należy określić przyrost odległości rzeczywistej w czasie lotu pocisku z uwzględnieniem krzywizny kursu, jeżeli prędkość celu jest stała.



Rys. 7.4. Ekstrapolacja zależności  $D$  i  $t$  z uwzględnieniem i bez uwzględnienia krzywizny kursu.

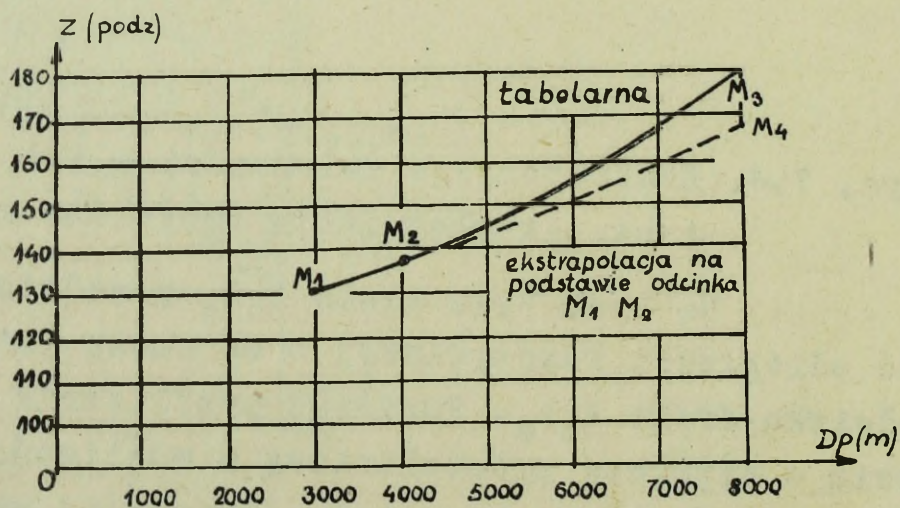
Na rys. 7.4. linia  $A_0A_s$  przedstawia zależność odległości rzeczywistej  $D$  od czasu lotu celu  $T$  na odcinku drogi  $A_0A_s$ . Ponieważ przelicznik pracuje w oparciu o hipotezę prostoliniową z możliwością uwzględnienia poprawki na krzywiznę, kursu, to przedłużając linię  $A_0A_s$  odpowiednio do czasu lotu pocisku  $t$  i

uwzględniając poprawkę na krzywiznę otrzymamy punkt  $A_w$ . Z kolei określimy przyrost odległości  $\Delta D$ , który w danym wypadku będzie równy  $m_1 m_2$ . Gdyby przelicznik nie posiadał mechanizmu do uwzględnienia poprawki na krzywiznę kursu, to ekstrapolacja linii  $A_0 A_S$  dałaby odcinek kursu  $A_S A'_w$ . Przyrost  $\Delta D$  w tym wypadku równy byłby odcinkowi  $m_1 m_3$  i dałby przy krzywoliniowym kursie błąd w odległości równy  $m_2 m_3$ .

Nie zawsze jednak ekstrapolację możemy stosować dla dowolnie dużej wartości zmiennej wielkości. Takim niewłaściwym wypadkiem zastosowania ekstrapolacji jest następujący przykład.

### Przykład 3

Na wykresie /rys. 7.5/ przedstawiono według tabel strzelniczych zależność między nastawą zapalnika "z" a odległością poziomą " $D_p$ " na odcinku od 3000 do 4000 m, przy stałej wysokości 10000 m dla 100 m pocisku przeciwlotniczego z zapalnikiem WM -30. Należy określić stosując ekstrapolację /bez posługiwania się tabelami strzelniczymi/ zależność "z" od  $D_p$  na odcinku odległości poziomej od 4000 - 8000 m.



Rys. 7.5. Ekstrapolacja wartości zapalnika dla 100 mm armaty plot i ich porównanie z wartościami tabelarnymi.

Porównajmy zestawione w tabeli /7.1/ ekstrapolowane tabelarne wartości zapalnika.

Tabela 7.1.

$D_p$ w m	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000
z	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
tabelarna	130	133	136	140	144	149	155	161	167	174	183
Ekstrapolo-	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!
wana	-	-	-	139	142	145	149	153	157	161	166
Błąd = $Z_{tab}$	-	-	-	-1	-2	-4	-6	-8	-10	-13	-15
-Z ekstr.	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!

Z wykresu i tabeli wynika, że jeżeli nie będziemy uwzględniali ogólnego charakteru zmiany nastawy zapalnika i przeprowadzimy ekstrapolację na dużym odcinku  $M_2M_4$  według małego  $M_1M_2$ , to otrzymamy krzywą  $M_1M_2M_4$  obciążoną błędami, fałszującą rzeczywisty obraz zmiany zapalnika oraz dającą duże błędy /np.  $M_3M_4$ / na końcu odcinka/. W tym konkretnym przykładzie ekstrapolację można było przeprowadzić tylko na małym odcinku np. od 4000 do 5000 m.

Z powyższych przykładów wynika, że aby przeprowadzić ekstrapolację zmiany wielkości, należy dokładnie rozpatrzyć i uwzględnić prawo jej zmiany i dobierać takie odcinki, dla których oczekiwane błędy ekstrapolacji będą małe i nie wypaczające procesu zmiany.

## 8. Sposoby i metody rozwiązania zadania spotkania pocisku z celem.

### A. Określenie punktu strzału

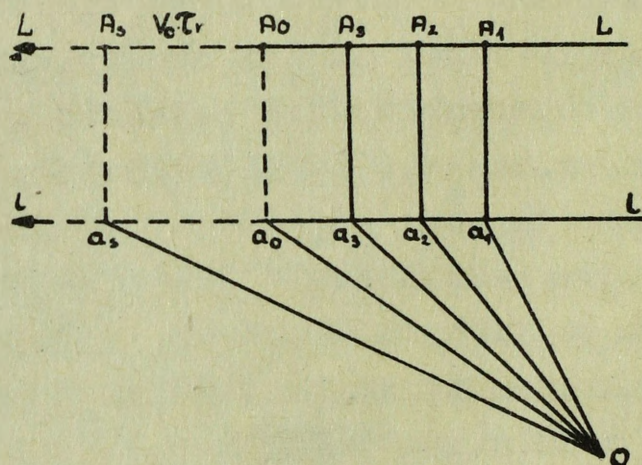
Jak już mówiliśmy, punktem strzału  $A_s$  nazywamy punkt, w którym znajdzie się cel ruchomy w momencie strzału. Rozpatrzmy sposób określenia tego punktu,

Załóżmy, że punkty  $A_1, A_2, A_3$  są bieżącymi położeniami celu, natomiast  $a_1, a_2, a_3$  - rzutami tych punktów i  $a_0$  - rzut początkowego położenia celu  $A_0$ , tj. punktu, w którym znajduje się cel ruchomy w momencie

ostatniego określenia współrzędnych / ostatniego wcięcia/ wykorzystanych do obliczenia nastaw działowych dla danego strzału/ salwy/.

Przy prostych i półautomatycznych sposobach strzelania od momentu początkowego do momentu odpalenia upływa określony odstęp czasu, nazywamy czasem roboczym  $t_r$ , niezbędny do obliczenia, przekazania i wykonania nastaw oraz załadowania działa.

Pod koniec czasu roboczego cel będzie znajdował się w punkcie strzału  $A_s$ , który należy określić.



Rys. 8.1. Określenie punktu strzału.

Podczas znajdowania się celu w punktach  $A_1, A_2, A_3$  i  $A_0$  w wyniku sledzenia go, określiliśmy charakter ruchu celu i przyjęliśmy pewną hipotezę.

Założmy, że przyjęto następującą hipotezę: w czasie wyprzedzonym cel porusza się prostoliniowo, jednostajnie i poziomo/ rys.8.1./ . Na podstawie przyjętej hipotezy ekstrapolujemy kurs celu i odkładamy od punktu  $A_0$  lub jego rzutu  $a_0$  w kierunku ruchu celu odcinek

$V_c \cdot t_r = A_0 A_s = a_0 a_s$ , na końcu którego będzie leżał szukany punkt  $A_s$  / jego rzut  $a_s$  /.

Czas roboczy ustala się zawczasu i strzał oddaje się dokładnie w momencie zakończenia tego czasu, chociażby bateria była wcześniej gotowa do strzelania.

Zmniejszenie czasu roboczego powoduje zmniejszenie odcinka  $V_c \cdot T_r = A_0 A_s$  i co za tym idzie - zmniejsza się wielkość ekstrapolowanego kursu, dzięki czemu zwiększa się skuteczność strzelania: dlatego w celu zwiększenia skuteczności strzelania zawsze należy dążyć do jak najmniejszego czasu roboczego. wartość czasu roboczego określa się drogą doświadczalną i zależy on głównie od rodzaju sprzętu oraz od stopnia wykszolenia obsługi.

Przy użyciu współczesnych przeliczników i automatycznych celowników punktem strzału może być dowolny, bieżący punkt położenia celu. Przy automatycznych sposobach strzelania, gdy dane przekazywane są synchronicznie na działa w sposób ciągły i działko w każdym momencie jest gotowe do odpalenia, - czas roboczy równy jest zeru, a punkt  $A_s$  pokrywa się z punktem początkowym  $A_0$ .

#### B. Istota rozwiązania zadania spotkania

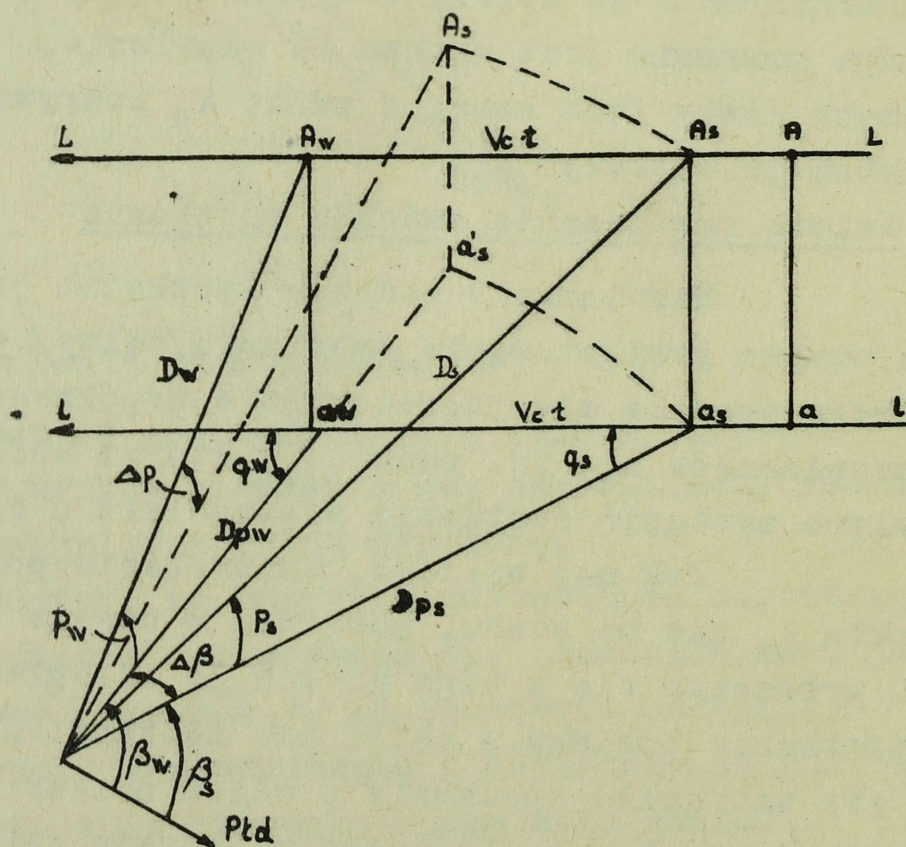
Rozwiązanie zadania spotkania jest zasadniczym etapem przygotowania wystrzału/salwy/ w czasie którego określa się geometrycznie współrzędne punktu wyprzedzonego  $A_w$ , tj. punktu, w którym według obliczeń powinno nastąpić spotkanie się pocisku z celem.

Jak nam wiadomo, skierowanie pocisku do punktu  $A_s$  nie ma sensu, ponieważ w czasie lotu pocisku cel przesunie się z tego punktu na odległość  $V_c \cdot t$  i spotkanie pocisku z celem nie nastąpi. Z tego wynika, że aby nastąpiło spotkanie <sup>pocisku/</sup> z celem należy skierować pocisk do punktu  $A_w$  leżącego na kursie celu i oddalonego od punktu  $A_s$  o wartość  $V_c \cdot t$ .

Istota rozwiązania zadania spotkania pocisku z celem polega więc na uzgodnieniu dróg celu i pocisku, przebywanych z różnymi prędkościami /stała celu i zmienna pocisku/, dających na przecięciu się punkt wyprzedzony  $A_w$ . Samo rozwiązanie polega na wyznaczeniu geometrycznych współrzędnych punktu wyprzedzonego w dowolnym układzie współrzędnych; w przelicznikach współrzędne te najczęściej określone są w walcowym  $/\beta, D_{pw} \text{ i } H_w/$  lub biegunowym  $/\beta, D_m, p_m/$  układzie współrzędnych.

Rozwiązanie zadania spotkania, przez różne przeliczniki/celowniki automatyczne / może być przeprowadzone sposobem geometrycznym lub analitycznym.

Geometryczny sposób rozwiązania zadania spotkania polega na odtworzeniu w skali, przez urządzenia przelicznika /celownika/ trójkąta wyprzedzenia  $\triangle A_s A_w$  w płaszczyźnie pochyłej lub trójkąta  $Oa_s a_w$  w płaszczyźnie poziomej / rys. 8.2/.



Rys. 8.2. Istota rozwiązania zadania spotkania.

W pierwszym przypadku wektor wyprzedzonej odległości rzeczywistej  $\bar{D}_w$  obliczany jest jako suma geometryczna wektorów: odległości rzeczywistej punktu strzału  $\bar{D}_s$  i drogi celu w czasie lotu pocisku  $(\bar{V}_c \cdot t)$  tj.

$$\bar{D}_w = \bar{D}_s + \bar{V}_c t \quad / 8.1/$$

gdzie:

$$t = f / D_{w,p_w} / \quad / 8.2/$$

W drugim przypadku wektor wyprzedzonej odległości poziomej  $\bar{D}_{p_w}$  obliczony jest jako suma geometryczna wektorów  $\bar{D}_{p_s}$  odległości poziomej punktu strzału  $\bar{D}_{p_s}$  i drogi celu w czasie lotu pocisku  $(\bar{V}_c \cdot t)$  tj.

$$\bar{D}_{p_w} = \bar{D}_{p_a} + \bar{V}_c t \quad / 8.3/$$

gdzie:

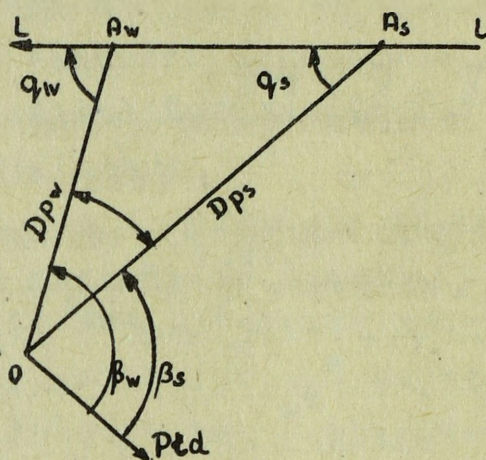
$$t = f / D_{p_w}, H_w / \quad / 8.4/$$

Wyprzedzenie kątowe lub kierunku  $/ \Delta \beta /$  określa się bezpośrednio z trójkąta wyprzedzenia.

Wyprzedzenie kątowe - kąt  $/ A_a O A_w /$  w płaszczyźnie pochyłej zawarty między linią położenia punktu strzału a linią położenia punktu wyprzedzonego.

Ponieważ konstrukcja przeliczników/przyrządów celowniczych/ uwzględniających wyprzedzenie w płaszczyźnie pochyłej jest trudna do zrealizowania, przeto wyprzedzenie kątowe rozkłada się na składową poziomą - wyprzedzenie kierunku  $\Delta \beta$  i składową pionową - wyprzedzenie pionowe  $\Delta p$ .

Wyprzedzenie kierunku  $/ \Delta \beta /$  - różnica azymutów punktu wyprzedzonego i punktu strzału.



Rys. 8.3. Wyprzedzenie kierunku.

Z rys. 8.3. wynika, że wyprzedzenie kierunku, zgodnie z twierdzeniem: "w trójkącie kąt zewnętrzny równa się sumie kątów wewnętrznych do niego nie przyległych".

/  $q_w = \Delta\beta + q_s$  /, można wyrazić równaniem:

$$\Delta\beta = q_w - q_s$$

Znak wyprzedzenia kierunku zależy od kierunku lotu celu. Przy locie celu z prawa na lewo

$\beta_w > \beta_s$  a  $\Delta\beta > 0$ , czyli jest dodatnie.  
Jeżeli cel leci z lewa na prawo:

$\beta_w < \beta_s$  a  $\Delta\beta < 0$ , czyli jest ujemne.

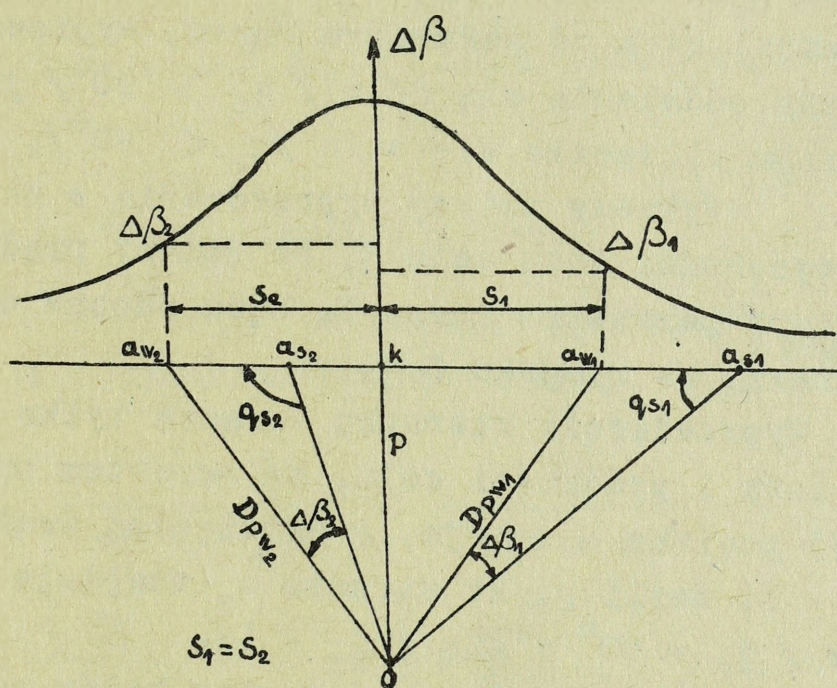
Wartość bezwzględna wyprzedzenia kierunku możemy obliczyć rozwiązując trójkąt  $Oa_w a_s$ . Stosując twierdzenie sinusów otrzymamy;

$$\frac{v_c \cdot t}{\sin \Delta\beta} = \frac{D_{pw}}{\sin q_s}$$

stąd

$$\sin \Delta\beta = \frac{V_c \cdot t \cdot \sin q_s}{D_{Pw}} \quad /8.5./$$

Rozpatrzmy charakter zmiany wyprzedzenia kierunku wzduż kursu celu. Załómy, że cel leci prostoliniowo, poziomo i jednostajnie, to znaczy, wysokość, prędkość i parametr kursu są stałe oraz rzut punktu wyprzedzonego  $a_{w2}$  jest symetryczny do rzutu punktu  $a_{w1}$  względem parametru P/ rys. 8.4/.



Rys. 8.4. Wykres zmiany wyprzedzenia kierunku.

Jeżeli  $S_1 = S_2$  to  $D_{pw1} = D_{pw2}$  oraz czas lotu pocisku do punktu  $a_{w1}$  równa się czasowi lotu pocisku do punktu  $a_{w2}$ , czyli  $t_1 = t_2$ . Jeżeli  $V_c = \text{const}$ , to otrzymamy  $V_c \cdot t_1 = V_c \cdot t_2$ . Z trójkątów  $a_{w1} a_{s1} O$  i  $a_{w2} a_{s2} O$

obliczamy:

$$\sin \Delta\beta_1 = \frac{V_c \cdot t_1 \cdot \sin q_{s1}}{D_{pw1}}$$

$$\sin \Delta\beta_2 = \frac{V_c \cdot t_2 \cdot \sin q_{s2}}{D_{p_{w2}}}$$

Z rys. 8.4. wynika, że  $D_{p_{s1}} > D_{p_{s2}}$  czyli  $\sin q_{s1} < \sin q_{s2}$ ,  
a zatem  $\sin \Delta\beta_1 < \sin \Delta\beta_2$  i  $\Delta\beta_1 < \Delta\beta_2$

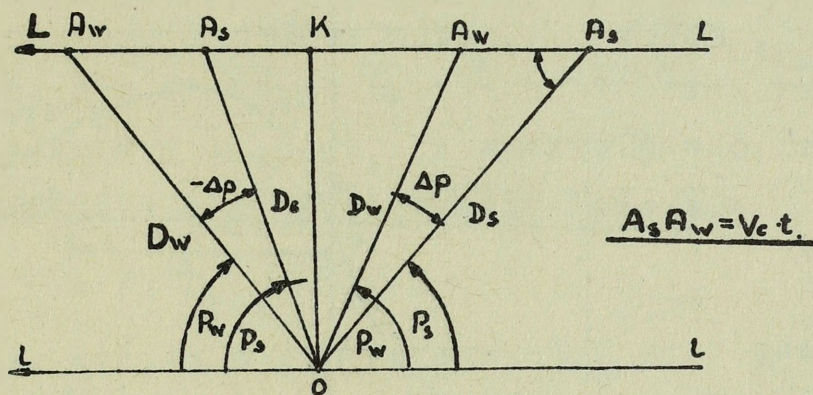
Gdyby obliczyć wyprzedzenia kierunku dla szeregu punktów  $a_w$  na kursie i odłożyć ich wartości, to otrzymamy krzywą wyprzedzeń kierunku przebiegającą niesymetrycznie względem parametru kursu. Dla rzutów punktów,  $a_w$ , jednakowo oddalonych od parametru kursu, wyprzedzenie kierunku na odcinku oddalania się celu /  $q_s > 90^\circ$  / jest większe niż na odcinku zbliżenia się celu /  $q_s < 90^\circ$  /.

Wykresy zmiany wyprzedzenia w zależności od zmiany wysokości lotu celu  $H$ , od zmiany prędkości celu  $V_c$  i od zmiany parametru kursu  $P$ , będą podobne do wykresu przedstawionego na rysunku 8.4.

Wyprzedzenie kierunku wzrasta tylko ze wzrostem wysokości lotu i prędkości celu, ze wzrostem prędkości początkowej pocisku - maleje, a największą wartość osiąga, kiedy  $D_{p_s} = P$ , czyli punkt strzału  $a_s$  znajduje się na parametrze /  $q_s = 90^\circ$  a  $\sin q_s = 1$  /.  
Wyprzedzenie pionowe /  $\Delta p$  / - różnica kątów położenia punktu wyprzedzonego i punktu strzału:

$$\Delta p = p_w - p_s$$

Jeżeli cel zbliża się /  $q < 90^\circ$  / to  $p_w > p_s$   
i wyprzedzenie pionowe jest dodatnie. Jeżeli cel oddala się /  $q > 90^\circ$  / to  $p_w < p_s$  i wyprzedzenie pionowe jest ujemne /rys. 8.5/.



Rys. 8.5. Wyrzedzenie pionowe.

Wartość bezwzględną wyrzedzenia pionowego możemy obliczyć rozwiązując trójkąt  $OA_s A_w$  stosując twierdzenie sinusów

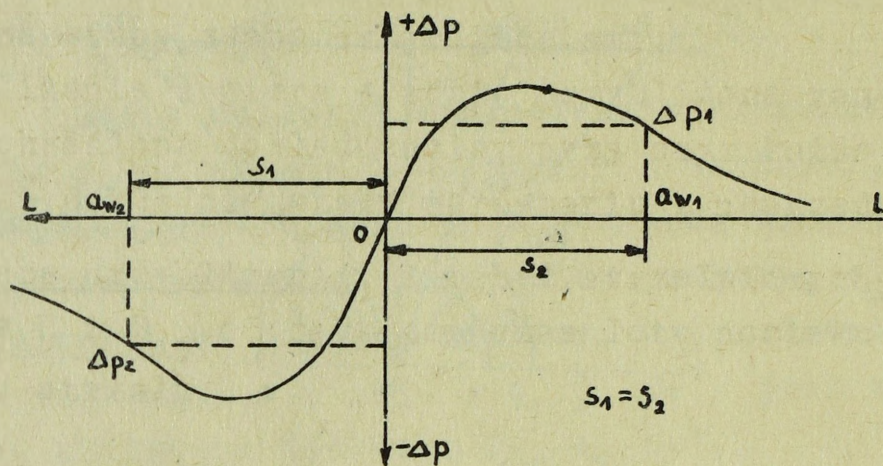
$$\frac{V_c \cdot t}{\sin \Delta p} = \frac{D_w}{\sin p_s}$$

stąd

$$\sin \Delta p = \frac{V_c \cdot t \sin p_s}{D_w} \quad / 8.6/$$

Wyrzedzenie pionowe przy strzelaniu do desantów spadochronowych, samolotów nurkujących oblicza się w analogiczny sposób rozwiązując trójkąt  $OA_s A_w$  w płaszczyźnie pionowej.

Przy stałej wysokości, prędkości i parametrze kursu, wyrzedzenie pionowe zmienia się w sposób przedstawiony na rys. 8.6.



Rys. 8.6. Wykres zmiany wyprzedzenia pionowego.

Wykres sporządza się analogicznie jak wykres zmiany wyprzedzenia kierunku.

Analizując wykres /rys. 8.6/ dojdziemy do wniosku, że krzywa wyprzedzeń pionowych nie przebiega symetrycznie względem parametru. Dla punktów  $a_{w1}$  i  $a_{w2}$  jednakowo oddalonych od podstawy parametru kursu, wyprzedzenie pionowe  $\Delta p_1$  / do parametru / co do swej wartości bezwzględnej jest mniejsze od  $\Delta p_2$  / za parametrem /.

Wykresy zmiany wyprzedzenia pionowego w zależności od zmiany wysokości lotu  $H$ , prędkości celu  $V_c$  i parametru kursu  $P$  będą przebiegać analogicznie do wykresu przedstawionego na rys. 8.6. Wartość bezwzględna wyprzedzenia wzrastać będzie tylko ze wzrostem  $H$  i  $V_c$ , a ze wzrostem  $P$  - maleć.

Analityczny sposób rozwiązania zadania spotkania polega na wykorzystaniu analitycznych zależności między elementami trójkąta wyprzedzenia w pochyłej lub poziomej płaszczyźnie. •

Dla przypadku rozwiązania trójkąta w płaszczyźnie pionowej niezbędne są współrzędne punktu

strzału /  $D_{ps}, \beta_s, H_s$  / oraz czynniki ruchu celu /  $V_c, q_s, \lambda$  /. Na podstawie tych wartości oblicza się współrzędne punktu wyprzedzonego /rys. 8.2/, tj. na podstawie dwóch boków /  $D_{ps}$  i  $V_c \cdot t$  / i kąta /  $q_s$  /, gdzie pozioma odległość wyprzedzania

$$D_{pw} = \sqrt{D_{ps}^2 + V_c^2 \cdot t^2 - 2D_{ps} \cdot V_c \cdot t \cdot \cos q_w} \quad /8.7/$$

Jeżeli  $H = \text{const}$ , to znaczy  $\lambda = 0$ , czas lotu pocisku określa się jako funkcję  $D_{ps}, H_w$ .

$$t = f / D_{ps}, H_w /$$

Jak wynika z powyższego, tak przy geometrycznym, jak i analitycznym sposobie rozwiązania mamy układ dwóch równań o dwóch niewiadomych:  $D_{pw}$  i  $t$ . Równań tych zwykłymi metodami rozwiązać nie można, gdyż wielkości  $t$  i  $D_{pw}$  są wzajemnie od siebie zależne. Wyrugowanie jednej niewiadomej przez wyrażenie jej za pomocą drugiej - jest niemożliwe, ponieważ do określenia  $t$  ze wzoru /8.2/ lub 8.4/ należy określić  $D_{pw} / D_w$  ze wzoru /8.1/, /8.3/ lub /8.7/ a wielkość  $D_{pw} / D_w$  zależy również od  $t$ .

Dlatego przy rozwiązywaniu zadania spotkania, zarówno sposobem geometrycznym jak i analitycznym, wykorzystuje się znaną w matematyce metodę kolejnych przybliżeń/prób i błędów/. Metoda ta jest stosowana zarówno w przelicznikach jak i celownikach automatycznych.

### C. Rozwiązanie zadania spotkania metodą kolejnych przybliżeń.

Rozpatrzmy istotę metody kolejnych przybliżeń /rys. 87/. Załóżmy, że cel w czasie wyprzedzenia porusza się prostoliniowo, jednostajnie i poziomo / $H = \text{const}$ / oraz znane są współrzędne punktu strzału:

$\beta_s, D_{ps}, H$  i czynniki jego ruchu:

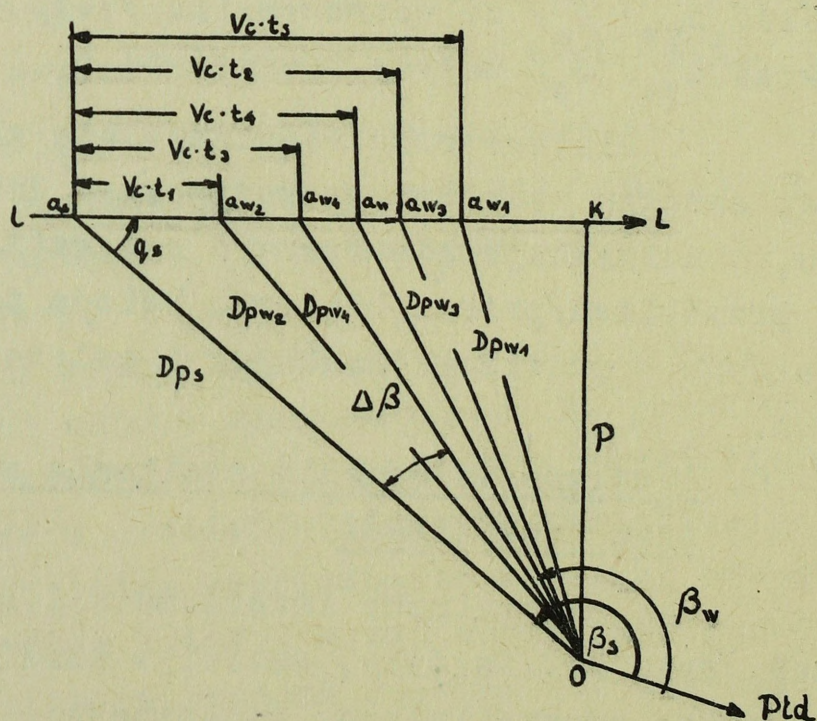
$$V_{\text{poz}}, q_s.$$

Należy określić współrzędne punktu  $A_w$ . Aby wyznaczyć punkt  $A_w$ , trzeba odłożyć od punktu  $A_s$  w kierunku ruchu celu odcinek  $V_c \cdot t$ , którego koniec wyznaczy punkt  $A_w$ . Ponieważ czas lotu pocisku  $t$  do punktu  $A_w$  jest nieznan, cały proces rozwiązania dzieli się na etapy zwane przybliżeniami. Każde przybliżenie zawiera w sobie przybliżone rozwiązanie z określoną dokładnością, przy czym każde następne jest dokładniejsze w porównaniu z poprzednim.

Pierwsze przybliżenie. Z tabel strzelniczych na podstawie  $H$  i  $D_{ps}$  odczytujemy czas lotu pocisku  $t_s$  do punktu strzału:

$$t_s = f / D_{ps}, H/$$

Przyjmując czas ten jako czas lotu pocisku do punktu wyprzedzonego, odkładamy wzdłuż rzutu kursu celu od punktu  $a_s$ , odcinek równy  $V_c \cdot t_s$ , tym samym wyznaczamy punkt wyprzedzony w pierwszym przybliżeniu - punkt  $a_{w1}$ .



Rys.8.7. Rozwiązanie zadania spotkania metodą kolejnych przybliżeń przy locie celu na baterię.

Następnie obliczamy / określamy / odległość poziomą

$D_{pw1}$

$$D_{pw1} = \sqrt{D_{ps}^2 + (V_c \cdot t_s)^2 - 2D_{ps} \cdot V_c \cdot t_s \cdot \cos q_s}$$

Drugie przybliżenie. Z tabel strzelniczych na podstawie  $D_{pw1}$  i  $H$  odczytujemy czas lotu pocisku  $t_1$ :

$$t_1 = f / D_{pw1}, H/.$$

Przyjmując  $t_1$  za czas lotu pocisku do punktu wyprzedzonego w drugim przybliżeniu, odkładamy wzdłuż rzutu kursu od pkt  $a_s$  odcinek równy  $V_c \cdot t_1$ , tym samym wyznaczamy punkt wyprzedzony dla drugiego przybliżenia - punkt  $a_{w2}$ . Ponieważ i w tym wypadku spotkanie pocisku z celem nie nastąpiło, określony  $D_{pw2}$  do punktu  $a_{w2}$

$$D_{pw2} = \sqrt{D_{ps}^2 + (V_c \cdot t_1)^2 - 2D_{ps} \cdot V_c \cdot t_1 \cdot \cos q_s}$$

i wykonujemy trzecie przybliżenie.

Trzecie przybliżenie. Z tabel strzelniczych dla  $D_{pw2}$  i  $H$  odczytujemy czas lotu pocisku  $t_2$ ;

$$t_2 = f / D_{pw2}, H/$$

i odkładając na kursie odcinek  $V_c \cdot t_2$  otrzymujemy  $a_{w3}$ .

Postępując tak samo w dalszym ciągu, wykonamy czwarte, piąte i następne przybliżenie, otrzymując punkty  $a_{w4}$ ,  $a_{w5}$  itd. które będą się do siebie coraz bardziej zbliżały, obramowując rzeczywisty punkt wyprzedzony.

Całkowicie dokładne rozwiązanie tego zadania jest niemożliwe, chociaż odcinki  $a_{w1}$ ,  $a_{w2}$ ,  $a_{w3}$ ,  $a_{w4}$  i td. z każdym przybliżeniem są coraz mniejsze i dążą do

zera, jednak teoretycznie nigdy go nie osiągną. Praktycznie przybliżenia przerywa się w momencie, gdy różnica czasów lotu pocisku do dwóch sąsiednich punktów będzie równa lub mniejsza od wymaganej wartości  $\delta$  określonej dokładnością tabel strzelniczych tzn.

$$t_n - t_{n-1} \leq \delta$$

gdzie:  $n$  - numer przybliżenia.

Praktycznie zadanie spotkania można uważać za rozwiązane, gdy

$$t_n - t_{n-1} = \delta \leq 0,01 \text{ sek.}$$

Wielkość  $\delta$  charakteryzuje dokładność rozwiązania zadania spotkania. Ostatni określony punkt  $a_w$  przyjmuje się za punkt wyprzedzony  $a_w$ . Następnie w wybranym  $n$  układzie współrzędnych określa się współrzędne tego punktu / w naszym przykładzie w układzie walcowym  $D_{pw}$ ,  $H$  i  $\beta$  w/.

Azymut wyprzedzony, jak nam wiadomo jest sumą algebraiczną azymutu punktu strzału i wyprzedzenia kierunku, tzn.  $\beta_w = \beta_s \pm \Delta\beta$

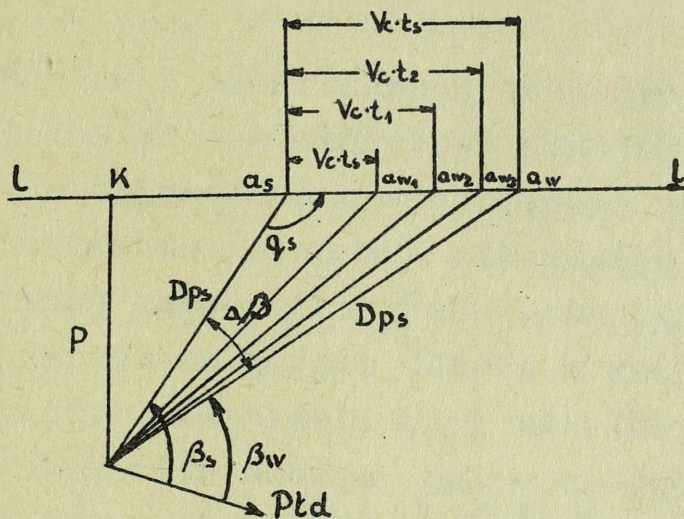
gdzie

$$\Delta\beta = \text{arc sin } \frac{V_c \cdot t \cdot \sin q s}{D_{pw}}$$

$\Delta\beta$  przyjmuje się ze znakiem plus, gdy cel leci w lewo i ze znakiem minus - gdy cel leci w prawo.

W omawianym przykładzie cel poruszał się na baterię i jak widzieliśmy, przybliżenie obramowywały punkt  $A_w$ .

Gdy cel leci od baterii, przybliżenia nie obramowują punktu  $a_w$ , lecz zbliżają się do niego z jednej strony/rys. 8.8/.

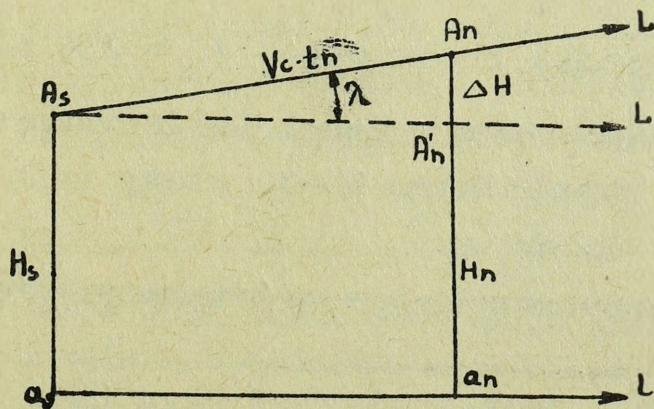


Rys. 8.8. Rozwiązanie zadania metodą kolejnych przybliżeń przy locie celu od baterii.

Przy zastosowaniu innych hipotez rzutu celu istota rozwiązania nie zmienia się, jednak przy nachylenym kursie celu, oprócz odległości poziomych  $D_{pw1}$ ,  $D_{pw2}$  itd/ lub  $D_w$ ,  $D_{w2}$  itd/ należy określić wysokości odpowiednich położzeń celu w punktach  $A_w$ ,  $A_{w2}$  itd/ rys. 8.8/ ze wzoru

$$H_n = H_s \pm V_c \cdot t_n \cdot \sin \lambda \quad /8.8/$$

i dla tych wysokości i odległości poziomych określić odpowiadające im czasy lotu pocisków  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  itd.



Rys. 8.9. Określenie wysokości przy nachylenym kursie celu.

Rozwiązanie zadania spotkania metodą kolejnych przybliżeń sposobem analitycznym, jak w naszym przykładzie, wymaga dużo czasu i nie może być stosowane w warunkach bojowych.

Współczesne przeliczniki i automatyczne celowniki rozwiązują zadanie spotkania metodą kolejnych przybliżeń przy pomocy mechanizmów przeliczających, które wszystkie obliczenia wykonują automatycznie i biorąc rzecz praktycznie, natychmiastowo; punkt strzału określony jest w sposób ciągły na skutek śledzenia celu i określenia jego bieżących współrzędnych.

Omówiona wyżej metoda kolejnych przybliżeń wykorzystywana jest do obliczania tabel danych początkowych do strzelania. Punkt strzału, jego współrzędne i czynniki ruchu celu przyjmowane są odpowiednio do warunków rozwiązywanego zadania spotkania, np. strzelanie do samolotów lecących na małych wysokościach, desantu spadochronowego itp.

Przykład :

Obliczyć współrzędne geometryczne punktu wyprzedzonego w walcowym układzie współrzędnych przy strzelaniu z 100 mm armaty przeciwlotniczej /KS-19/ pociskiem z zapalnikiem WM-30, jeśli wiadomo, że:

- 1/ cel porusza się prostoliniowo, jednostajnie i poziomo;
- 2/ współrzędne punktu strzału:  $H = 10000$  m,  $D_{ps} = 8000$  m;  
 $\beta_s = 43-00$  /cel leci w prawo/;
- 3/ Czynniki ruchu celu:  $V_c = 250$  m/sek.  $q_s = 37^\circ$

Rozwiązanie: Wypisujemy z tabel balistycznych dla 100 mm pocisku z zapalnikiem WM-30 czasy lotu pocisku dla wysokości 10000 m.

$D_p$ w m	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000
t w sek	20,1	20,6	21,1	21,7	22,4	23,2	24,1	25,1	26,2	27,4	28,0

Obliczenia wykonać z dokładnością do 0,01 sek.

Pierwsze przybliżenie:

Z tabeli określamy czas lotu pocisku  $t_s$  dla  $D_{ps} = 8000$  m i  $H = 1000$  m,

$$t_s = f / 8000 - 10000 / = 28,7 \text{ sek}$$

Obliczamy  $D_{pw_1}$  w pierwszym przybliżeniu:

$$D_{pw_1} = \sqrt{8000^2 + 1/250 \cdot 28,7^2 - 2 \cdot 8000 \cdot 28,7 \cdot 0,798} = 4888 \text{ m}$$

Drugie przybliżenie

Z tabelki określamy  $t_1$  dla  $D_{pw_1} = 4888$  m i  $H = 10000$  m

$$t = f / 4888, 10000 / = 22,24 \text{ sek}$$

Określamy  $D_{pw_2}$

$$D_{pw_2} = \sqrt{8000^2 + 1/250 \cdot 22,24^2 - 2 \cdot 8000 \cdot 250 \cdot 22,24 \cdot 0,798} = 4891 \text{ m.}$$

Trzecie przybliżenie

Z tabelki określamy  $t_2$  dla  $D_{pw_2} = 4891$  m i  $H = 10000$  m

$$t_2 = f / 4891, 10000 / = 22,25 \text{ sek}$$

Obliczmy różnicę między ostatnim i przedostatnim czasem lotu pocisku

$$t_2 - t_1 = 22,25 - 22,24 = 0,01 \text{ sek}$$

Na tym przybliżeniu przerywamy, ponieważ różnica czasów lotu pocisków nie przekracza 0,01 sek.

Określamy azymut  $\beta_w$  przyszłego położenia celu

i w tym celu obliczamy najpierw wyprzedzenie kierunku

$$\sin \Delta\beta = \frac{V_g \cdot t \cdot \sin q_s}{D_{pw_2}} = \frac{250 \cdot 22,25 \cdot 0,602}{4891} = 0,684;$$

$$\Delta\beta = 43^\circ 10' = 7-20$$

Ponieważ cel leży w prawo, to  $\Delta\beta$  posiada znak ujemny.

$$\beta_w = 43-00 - 7-20 = 35-80$$

Zatem współrzędne punktu wyprzedzonego wyniosą:

$$\beta_w = 35 - 80,$$
$$D_{pw} = 4891 \text{ m},$$
$$H = 10000 \text{ m}.$$

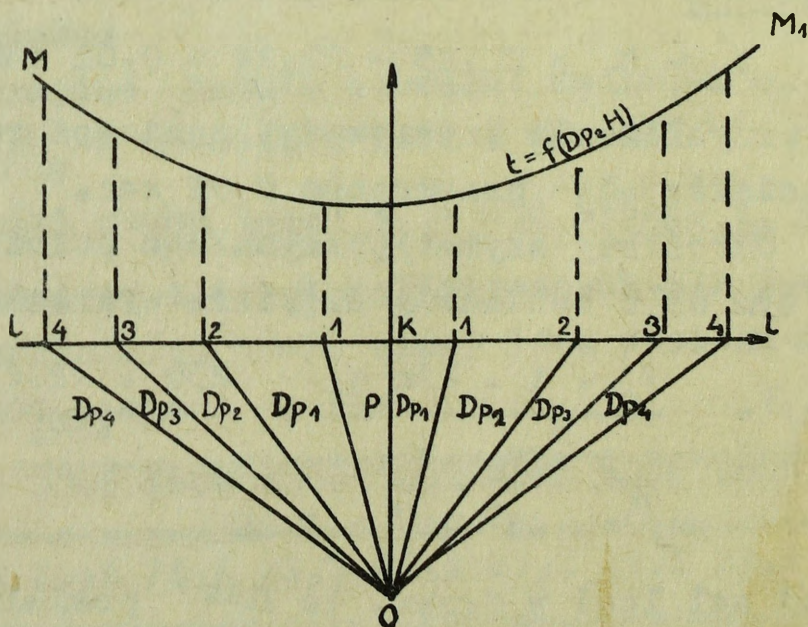
D. Proste graficzne rozwiązanie zadania spotkania pocisku z celem

Proste graficzne rozwiązanie zadania spotkania ma szerokie zastosowanie przy badaniach strzelań, a także do zestawienia tabel danych początkowych do strzelania lub obliczania ilości salw, które może oddać bateria przy danych warunkach lotu celu w czasie strzelań bojowych oraz dla sprawdzenia dokładności rozwiązywania zadania przez przelicznik itp.

Aby rozwiązać zadanie spotkania tym sposobem, należy uprzednio dla danej wysokości lotu celu i różnych odległości poziomych wykreślić krzywą czasów lotu pocisku.

Sposób wykreślenia krzywej przy prostoliniowym, jednostajnym i poziomym locie celu jest następujący.

Na kartce papieru milimetrowego wyznaczamy punkt O wyrażający działą /rys. 8.10/.



rys.8.10. Wykreślenie krzywej czasu lotu pocisku.

1. Zakładamy warunki lotu celu, tzn. wysokość celu  $H$ , parametr kursu  $P$ , prędkość celu  $V_G$  oraz rodzaj sprzętu, dla którego rozwiązujemy zadanie.

2. Dobieramy dwie skale. Jedną do wykreślenia kursu celu, parametru kursu i odległości poziomych /przeważnie 1 cm odpowiada 500 lub 100 m/. Drugą do wykreślenia krzywej czasów lotu pocisku /przeważnie 2 mm odpowiada 1 sek/.

3. W przyjętej skali odkładamy parametr  $P$  i od parametru w obie strony wykreślamy kurs celu  $ll$ .

4. Z punktu stania działa  $O$  na kursie celu odkładamy odległości poziome / z dokładnością tabel strzelniczych najczęściej co 500 m/  $D_{p_1}, D_{p_2}, \dots, D_{p_n}$  /rys. 8.10/, otrzymując na nim punkty 1, 2, 2, ..., n.

5. Z punktów 1, 2, 3, ..., n, prowadzimy prostopadłe do rzutu kursu celu i odkładamy na nich w przyjętej skali czasy lotu pocisku  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$  odpowiadające wysokości lotu  $H$  i odległościom poziomym  $D_{p_1}, D_{p_2}, \dots, D_{p_n}$ .

6. Końce otrzymanych odcinków łączymy płynną krzywą  $MM_1$ , która jest krzywą czasów lotu pocisku dla różnych odległości poziomych, gdzie:

$$t = f(D_p, H)$$

Dla hipotezy ruchu prostoliniowego, jednostajnego i poziomego krzywa ta jest symetryczna względem paramateru kursu celu; przy nachylonym kursie symetria ta jest naruszona, ponieważ w miarę ruchu celu występuje zmiana wysokości.

Przy pomocy tej krzywej można określić czas lotu pocisku do dowolnego punktu na kursie przy wysokości celu  $H$ , dla której wykreślono krzywą.

W tym celu z danego punktu na kursie  $ll$ , wykreślamy rzędną, której długość w przyjętej skali daje szukany czas lotu pocisku.

Rozpatrzmy teraz rozwiązanie zadania spotkania tym sposobem. Załóżmy, że cel porusza się prostoliniowo, jednostajnie i poziomo i że dla punktu  $a_s$  /będącego rzutem  $A_s$  / określamy punkt  $a_w$ .

W celu wyznaczenia położenia na kursie punktu  $a_w$  zakładamy dodatkowo dowolny czas  $\tau$  /np. 10 sek/ i odkładamy w skali od punktu  $a_s$  drogę celu przebytą w tym czasie z daną prędkością:

$$S = v_c \cdot \tau = a_s N$$

Z punktu  $N$  wykreślamy prostopadłą do kursu celu, na której odkładamy w skali czasu lotu pocisków odcinek  $NN_1$  równy  $\tau$ . Przez punkty  $a_s$  i  $N_1$  przeprowadzamy prostą i przedłużamy ją aż do przecięcia się z krzywą czasów lotu pocisku, np. do punktu  $R$ .

Prosta  $a_s R$  stanowi czas lotu od punktu  $a_s$  do dowolnego punktu na kursie przy danej prędkości  $v_c$ . Dlatego też, jeżeli z dowolnego punktu na rzucie kursu  $ll$ , wykreślimy prostopadłą aż do przecięcia się z prostą  $a_s R$ , to otrzymamy czas lotu celu od punktu  $a_s$  do danego punktu.

Kąt nachylenia prostej  $a_s R$  względem kursu celu zależy od prędkości celu. Ze wzrostem prędkości celu kąt ten maleje i odwrotnie. Wynika to z rozpatrzenia trójkąta  $Na_s N_1$  /rys. 8.11/, gdzie

$$\operatorname{tg} \angle Na_s N_1 = \frac{\tau}{v_c} = \frac{1}{v_c}$$

Ze wzrostem  $v_c$  ułamek  $\frac{1}{v_c}$  maleje, zatem  $\operatorname{tg} \angle$

$Na_s N_1$  i kąt  $Na_s N_1$  nachylenia prostej  $a_s R$  względem kursu będzie również maleł.



Z podobieństwa tych trójkątów wynika, że

$$\frac{a_s a_w}{Ca_w} = \frac{a_s N}{NN_1} \quad \text{lub} \quad \frac{a_s a_w}{t} = \frac{V_c \cdot \tau}{t}$$

skąd :

$$a_s a_w = \frac{V_c \cdot \tau \cdot t}{\tau} = V_c \cdot t$$

tzn. że odcinek  $a_s a_w = V_c \cdot t$  wyraża w przyjętej skali długość wektora wyprzedzenia liniowego, a punkt  $a_w$  jest rzutem punktu wyprzedzenia.

Ponieważ wyznaczyliśmy punkt  $a_w$ , to możemy określić jego współrzędne: wyprzedzoną odległość poziomą  $D_{pw}$ , azymut wyprzedzony  $\beta_w$  lub wyprzedzenie kierunku  $\Delta\beta$  równe kątowi  $a_s o a_w$ , które po dodaniu, z odpowiednim znakiem, do azymutu punktu strzału  $\beta_s$ , da azymut wyprzedzony

$$\beta_w = \beta_s \pm \Delta\beta$$

Współrzędne punktu  $a_w$  określa się na wykresie przy pomocy linijki, cyrkla, cięciwomierza itp. w zależności od wymaganej dokładności pomiarów.

Powyżej omówiliśmy sposób wyznaczania punktu  $a_w$  i jego współrzędnych dla pierwszego strzału.

Następne punkty wyprzedzone wyznacza się niżej omówionym sposobem.

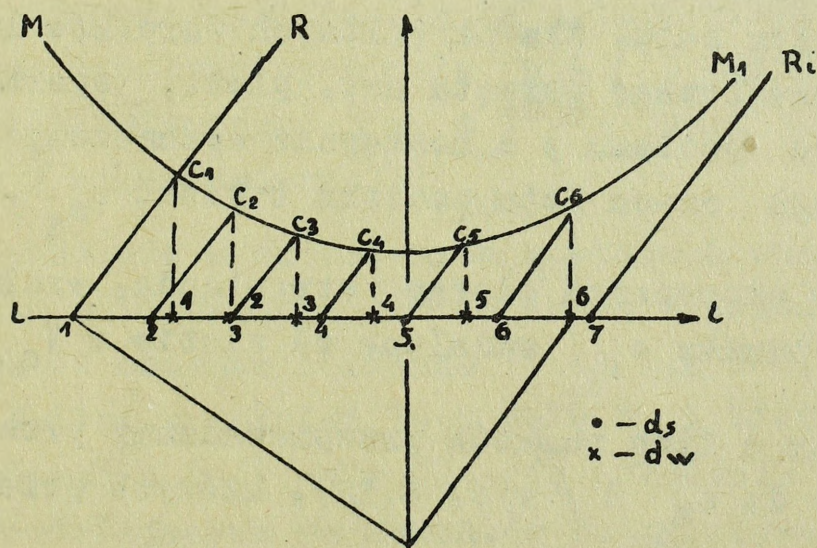
Wyznaczamy szereg punktów strzału  $a_{s_i}$ . Odstępy między sąsiednimi punktami równe są prędkości celu  $V_c$  pomnożonej przez odstęp strzelania  $\tau_s$  :

$$a_{s_i} a_{s_{i+1}} = V_c \cdot \tau_s$$

Przy odstępie strzelania 5 sek. i prędkości celu, np. 200 m/sek wartość  $V_c \cdot \tau_s = 1000$  m. Dla każdego punktu  $a_{s_i}$  wykreślamy linię czasów lotu celu  $a_{s_i} R_i$ .

Nachylenie prostej  $a_{s_i} R_i$  względem rzutu kursu celu  $ll$ , przy danej prędkości celu - jest stałe, dlatego dla określenia kolejnych punktów  $a_w$  wystarczy, z określonych punktów  $a_{s_i}$  wykreślić równoległe do  $a_s R$  aż do przecięcia się ich z krzywą czasów lotu pocisku  $MM_1$  /rys. 8.12. Z punktów przecięcia  $C_i$  opuszczamy prostopadłe na rzut kursu  $ll$  i otrzymujemy punkty  $a_{w_i}$ .

Współrzędne wyznaczonych punktów wyprzelicznych określa się zgodnie z uprzednio opisanymi zasadami.



Rys. 8.12. Określenie ilości salw.

Proste rozwiązanie graficzne jest bardzo dogodne, ponieważ na tym samym wykresie można wykreślać krzywe czasów lotu pocisku dla różnych wysokości. Oprócz tego na wykresie można uwzględnić różnice prędkości celu, które wpływają tylko na nachylenie prostych  $a_{s_1} R_1$ . Jednak z praktycznego punktu widzenia, dla jasności, wykres należy sporządzać tylko dla jednolitych warunków.

Wiadomo nam jest, że sposób prostego rozwiązania graficznego, może być wykorzystany do określenia ilości salw, które odda bateria przy założonym ruchu celu. Bardzo często zagadnienie to jest rozwiązywane bardzo uproszczonym sposobem, który polega na podzieleniu drogi celu / czasu lotu celu / w strefie ostrzału przez odstęp strzelania. Sposób ten po pierwsze - nie daje właściwej ilości salw, a po drugie określenie ilości salw do parametru  $i$  za parametrem.

Przy pomocy wykresu czasów lotu pocisku zadanie to możemy rozwiązać o wiele dokładniej.

W tym celu, dla określonych warunków lotu celu i określonego sprzętu art. plot., sporządzamy wykres lotu pocisku, a następnie wyznaczamy dla maksymalnego czasu lotu pocisku  $t$  punkt  $a_{s_1}$ .

Przyjmując odpowiedni odstęp strzelania, wzdłuż kursu odkładamy punkty  $a_{s_1}$  oddalone od siebie o  $V_0 \cdot \tau_s$ .

Przez każdy z tych punktów przeprowadzamy proste równoległe do  $a_{s_1} R_1$  / rys. 8.12/, których przecięcie

$C_1$  z krzywą  $MM_1$  wyznaczą nam punkty  $a_{w_1}$ . Zadanie

spotkania będzie rozwiązane tylko w tych wypadkach, gdy prosta  $a_{s_1} R_1$  przetnie krzywą  $MM_1$ .

Jeżeli nie otrzymamy przecięcia, to zadanie spotkania dla tych strzałów /salw/ jest nierozwiązalne. Zagadnienie to występuje tylko za parametrem kursu, gdy pocisk nie jest w stanie dopędzić celu, ponieważ wyszedł on poza granice zasięgu działania.

Na rys. 8.12. przedstawiono przykładowo sporządzenie takiego wykresu, z którego wynika, że w danych warunkach strzelania, bateria może oddać 6 salw do i 2 salwy za parametrem kursu.

Proste rozwiązanie graficzne można również wykorzystać do sprawdzenia dokładności pracy kompletu baterii /RSA, przelicznik, działa itp/ oraz zgrania obsługi baterii, na przykład: w celu określenia błędów niemego strzelania treningowego, sprawdzenia baterii przed dopuszczeniem do strzelania itp.

Sprawdzenie takie polega na porównaniu kątów pochYLENIA -  $\varphi$ , nastaw zapalnika -  $z$  oraz azymutów wyprzedzonych -  $\beta$  w otrzymanych z obliczeń prostym rozwiązaniem graficznym z wynikami kontroli fotograficznej.

Istota kontroli fotograficznej polega na równoczesnym fotografowaniu na jednym przeliczniku bierzących współrzędnych celu  $p$  i  $\beta$ , współrzędnych punktu wyprzedzonego:  $\varphi$ ,  $z$  i  $\beta_w$  oraz czasu z zegara /sekundomierza/  $t_{zeg}$ .

Zdjęcia robi się w określonych odstępach czasu /3-5 sek/ od momentu meldunku "gotów" do końca założonego kursu lub do momentu meldunku "brak danych".

Według wysokości lotu celu  $H$  i bieżących współrzędnych  $p$  i  $\beta$  określa się położenie celu na kursie dla odpowiadających mu momentów fotografowania skal  $p$  i  $\beta$  oraz czasu  $t_{zeg}$ . Na podstawie zdjęć wartości ,

$z$ , oraz założonej  $H$  z tabel strzelniczych określamy czas lotu pocisku.

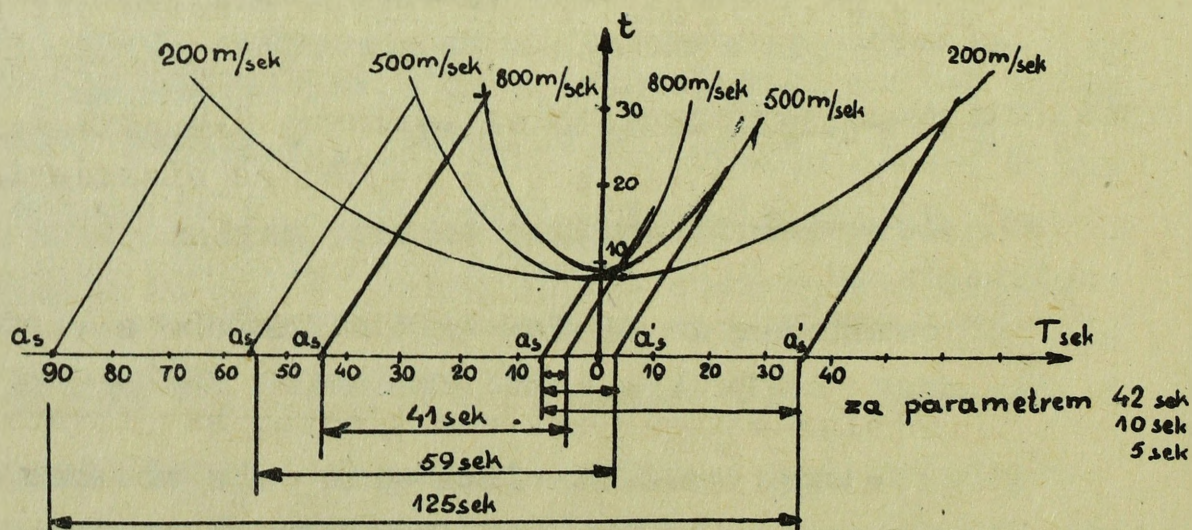
Wartości  $\varphi$ ,  $z$ , i  $\beta_w$  / ze zdjęć / i czas lotu pocisku  $t$  / z tabel strzeleckich / wyznaczają położenie punktów wyprzedzonych, odpowiadające momentom fotografowania.

Następnie dla założonych warunków lotu celu sposobem graficznym rozwiązuje się zadanie spotkania oraz analitycznie określa się wartości  $\varphi$ ,  $z$  i  $\beta_w$ . Porównując  $\varphi$ ,  $z$  i  $\beta_w$ , otrzymane ze zdjęć z  $\varphi$ ,  $z$  i  $\beta_w$  otrzymanymi drogą obliczeń określamy różnice położenia punktów  $A_w$  i wielkości uchyłków  $\Delta\varphi$ ,  $\Delta z$  i  $\Delta\beta_w$ , będące oceną pracy zespołu baterii oraz zgrania jej obsługi.

Rozpatrzmy jeszcze rozwiązanie zadania spotkania dla wypadku, gdy średnia prędkość pocisku jest równa lub mniejsza od prędkości celu /  $v_p \leq v_c$  /.

Założmy następujące warunki: prędkości celu: 200 m/sek, 500 m/sek, 800 m/sek; maksymalny czas działania zapalnika 30 sek., a minimalny dla danych warunków strzelania /H i P/ - 8 sek.

Sporządźmy na podstawie tabel strzeleckich wykres czasu lotu pocisku w zależności od czasu lotu celu:  $t = f(T)$ , przyjmując przy tym jednakowe skale  $t$  i  $T$  oraz początek odczytu czasu  $T$  - moment przejścia celu przez parametr kursu /rys. 8.13/.



Rys. 8.13. Czas ostrzeliwania celów o prędkości większej od średniej prędkości pocisku.

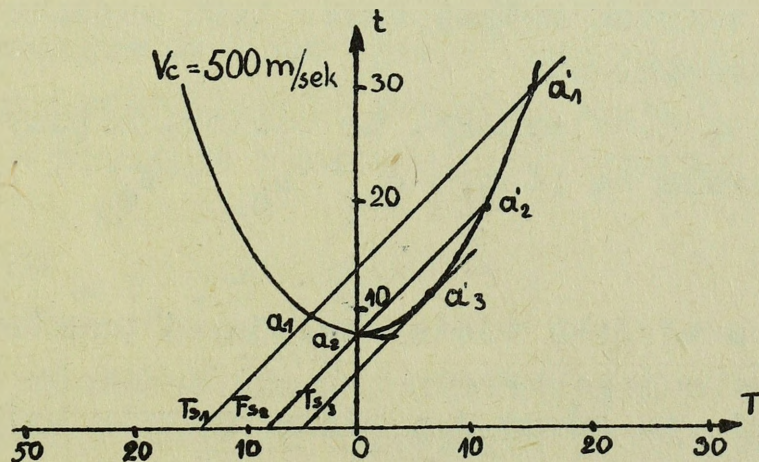
Z rysunku 8.13. wynika, że czas strzelania znacznie zmienia się, szczególnie za parametrem kursu.

Prędkość celu	200 m/sek	500 m/sek	800 m/sek.
Czas strzelania na całym kursie / w przybliżeniu/	125 sek	59 sek	41 sek
Czas strzelania za parametrem / w przybliżeniu/	42 sek	10 sek	5 sek
Ilość salw przy $t_s = 5$ sek	26 salw	13 salw	9 salw

Ilość możliwych salw / zaokrąglenie z niedomiarem/ oddanych do celu będzie równa

$$n = \frac{T}{\tau_s} + 1 \quad /8.9./$$

Rozpatrzmy z kolei osobliwości strzelania do celów o dużych prędkościach. Rys. 8.14. przedstawia wykres czasu lotu dla prędkości 500 m/sek.



Rys. 8.14 Ctrzymanie dwóch punktów  $a_w$  przy prędkości celu większej od średniej prędkości pocisku.

Jeżeli prędkość celu jest znacznie mniejsza od średniej prędkości pocisku, to krzywa  $t = f / T /$  jest bardzo płaska i dla dowolnego punktu strzału możliwy jest tylko jeden punkt  $a_w$ .

Przy dużych prędkościach celu proste  $T_s a$  będą w niektórych wypadkach przecinały krzywą dwukrotnie - raz do parametru i drugi raz za parametrem. Oznacza to, że strzelając dwoma działami /bateriami/ w momentach  $T_{s1}$  i  $T_{s2}$ , przy odpowiednich nastawach, moglibyśmy otrzymać rozpryski w punktach  $a_1$  i  $a_2$  do parametru i w punktach  $a'_1$  i  $a'_2$  za parametrem.

Przy strzale w momencie  $T_{s3}$  - otrzymamy tylko jeden punkt rozprysków  $a'_3$ .

#### E. Prędkość punktu wyprzedzonego

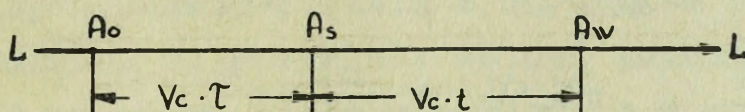
Każdy punkt wyprzedzony  $A_w$  zawsze wyprzedza odpowiedni punkt strzału  $A_s$  o wartości równą  $V_c \cdot t$ . Gdyby odcinek  $V_c \cdot t$  był stały to prędkość punktu wyprzedzonego byłaby równa prędkości bieżącego punktu położenia, tzn. prędkości celu  $V_c$ . W rzeczywistości wyprzedzenie liniowe  $V_c \cdot t$ , przy ruchu celu, zmienia się wskutek zmiany czasu lotu pocisku  $t$  do punktu wyprzedzonego.

Z rys. 8.9. wynika, że odcinki między kolejnymi punktami strzału są równe:  $a_{s1} \quad a_{s2} = a_{s2} \quad a_{s3} \quad a_{s3}$

$a_{s4}$  itd., a odcinki między kolejnymi punktami

wyprzedzonymi są równe i w miarę wzrostu kolejnych numerów punktów  $a_w$ , przy locie na baterię, ta różnica jest coraz większa:  $aw_6 \quad aw_5 > aw_5 \quad aw_4 > aw_4 \quad aw_3$  itd.

Rozpatrzmy istotę tego zagadnienia. Weźmy prostoliniowy odcinek kursu celu z naniesionymi punktami  $A_0$ ,  $A_S$  i odpowiadającym im punktem  $A_W$ .



Rys. 8.15. Określenie prędkości punktu wyprzedzonego.

Oznaczamy przez  $\tau$  czas lotu celu od punktu  $A_0$  do punktu  $A_S$ , czas  $\tau$  może być dowolny / we współczesnych przelicznikach punkt  $A_0$  pokrywa się z punktem  $A_S$  /.

W ten sposób wzdłuż kursu celu /rys.8.15/ jak gdyby przesuwały się dwa punkty, bieżący  $A_0$ , którego współrzędne przekazywane są do przelicznika oraz poruszający się przed nim punkt  $A_W$  - punkt fikcyjny, będący jak gdyby cieniem punktu strzału. Droga, którą do pewnego momentu przebywa punkt strzału licząc od punktu  $A_0$  równa jest  $A_0 A_S = V_c \cdot \tau$ , a droga przebyta do tego samego momentu przez punkt wyprzedzony będzie równa  $A_0 A_W = V_w \cdot \tau$ , gdzie  $V_w$  - prędkość punktu wyprzedzonego.

$$\text{Zatem } V_w \cdot \tau = V_c \cdot \tau + V_c \cdot t.$$

Od odcinków drogi poruszających się punktów przejdziemy do odpowiednich prędkości.

Wychodząc z fizycznej definicji prędkości jako stosunku przyrostów drogi do czasu otrzymamy:

$$V_w = \frac{V_w(\tau + \Delta\tau) - V_w\tau}{\Delta\tau} = \frac{V_c(\tau + \Delta\tau) - V_c\tau}{\Delta\tau} + \frac{V_c(t + \Delta t) - V_c t}{\Delta\tau};$$

czyli:

$$\begin{aligned} V_w &= \frac{V_c\tau + V_c\Delta\tau - V_c\tau}{\Delta\tau} + \frac{V_c t + V_c\Delta t - V_c t}{\Delta\tau} = \frac{V_c\Delta\tau + V_c\Delta t}{\Delta\tau} = \\ &= V_c + V_c \cdot \frac{\Delta t}{\Delta\tau}; \end{aligned}$$

i ostatecznie

$$V_w = V_c / 1 + \frac{\Delta t}{\Delta\tau} / \quad /8.10/$$

Ułamek  $\frac{\Delta t}{\Delta\tau}$  stanowi prędkość zmiany czasu wyprzedzonego. Chociaż jest to wielkość niemianowana, oznaczymy ją przez  $V_t$ , wówczas wzór ogólny dla prędkości punktu wyprzedzonego przyjmuje postać

$$V_w = V_c / 1 + V_t / \quad /8.11/$$

Prędkość zmiany czasu lotu pocisku /czasu wyprzedzonego/  $V_t$  jest ujemna i maleje, gdy czas lotu pocisku zmniejsza się, co odpowiada kursowi lotu celu do parametru, a dodatnia i wzrasta, gdy czas lotu pocisku rośnie, co odpowiada kursowi celu za parametrem. Dlatego prędkość punktu wyprzedzonego może być większa od bieżącej prędkości celu

$/V_w > V_c/$  jak i mniejsza  $/V_w < V_c/$ , tan. przy

locie celu do parametru

$$V_w = V_c / 1 - V_t /,$$

a za parametrem

$$V_w = V_c / 1 + V_t /.$$

Równość prędkości  $V_w = V_c$  zachodzi przy niezmiennym czasie wyprzedzenia / czasie lotu pocisku/, co ma miejsce na parametrze  $a$  w szczególności, gdy cel leci po okręgu, którego środek stanowi bateria. W tych wypadkach  $V_t = 0$ .

Ogólnie wielkość  $V_t$  zależy od balistyki działa, współrzędnych punktu strzału i czynników ruchu celu.

Założmy na przykład, że cel nurkuje na baterię 57 mm armat przeciwlotniczych z prędkością 200 m/sek z wysokości 4000 m i odległości rzeczywistej 4800 m.

W tabelach strzelniczych odnajdujemy następujące dane:

D w m	4600	4800	5000
t w sek	7,93	8,76	9,4

$$\Delta T_1 = \frac{4800 - 5600}{200} = 1 \text{ sek}; \quad \Delta t_1 = 7,93 - 8,76 = -0,64;$$

$$\Delta T_2 = \frac{5000 - 4800}{200} = 1 \text{ sek}; \quad \Delta t_2 = 8,76 - 9,4 = -0,83;$$

$$\Delta t_{sr} = \frac{-0,64 - 0,83}{2} = -0,735$$

$$V_t = \frac{-0,735 \text{ sek}}{1 \text{ sek}} = -0,735$$

Prędkość punktu wyprzedzonego będzie równa:

$$V_w = 200 \cdot /1 - 0,735/ = 200 \cdot 0,265 = 53 \text{ m/sek}$$

stosunek prędkości

$$\frac{V_w}{V_c} = \frac{53}{200} = 0,265$$

Jeżeli wysokość celu  $H$  nie zmienia się, to czas wyprzedzony /lotu pocisku/ zależny jest tylko od wyprzedzonej odległości poziomej i wzór do obliczenia  $V_w$  można doprowadzić do praktycznie dogodniejszej postaci.

W tym celu wielkość

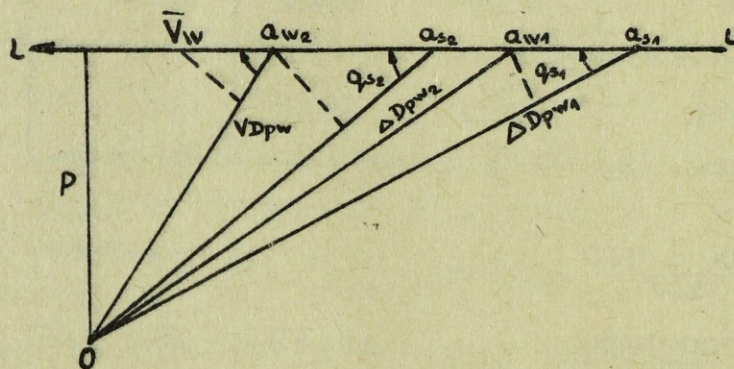
$$V_t = \frac{\Delta t}{\Delta \tau}$$

zmnożymy i dzielimy przez  $\Delta D_{pw}$  odpowiadającą  $\Delta t$

$$\frac{\Delta t}{\Delta D_{pw}} \cdot \frac{\Delta D_{pw}}{\Delta \tau} = \frac{\Delta t}{\Delta D_{pw}} \cdot V_{D_{pw}}$$

Jednak prędkość zmiany wyprzedzonej odległości poziomej  $V_{D_{pw}}$  przy stałej wysokości zależy od  $V_w$

oraz  $q_w$  /rys. 8.16/.



Rys.8.16. Określenie  $V_{D_{pw}}$

Podstawmy tę wartość do ogólnego wzoru na obliczenie  $V_w$

$$V_w = V_c \left( 1 - \frac{\Delta t}{\Delta D_{pw}} \cdot V_w \cos q_w \right)$$

i rozwiążmy to równanie względem  $V_w$ .

$$V_w = V_c - V_c \frac{\Delta t}{\Delta D_{pw}} \cdot V_w \cos q_w$$

$$V_w + V_c \frac{\Delta t}{\Delta D_{pw}} \cdot \cos q_w = V_c$$

$$V_w \left( 1 + V_c \frac{\Delta t}{\Delta D_{pw}} \cdot \cos q_w \right) = V_c$$

stąd:

$$V_w = \frac{V_c}{1 + V_c \frac{\Delta t}{\Delta D_{pw}} \cdot \cos q_w} \quad /8.12/$$

Ze wzoru /8.12/ wynika, że zmienną wielkością jest wyrażenie

$$V_c \frac{\Delta t}{\Delta D_{pw}} \cdot \cos q_w$$

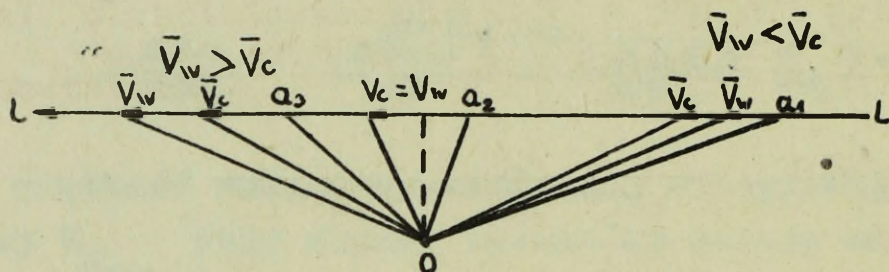
Przy ruchu celu do parametru /  $q_w < 90^\circ$  / wartość

$V_c \frac{\Delta t}{\Delta D_{pw}} \cdot \cos q_w$  będzie dodatnia, mianownik wyrażenia /8.12/ większy od jedności, zatem  $V_w < V_c$  / pocisk leci na spotkanie celu - rys. 8.17/.

Na parametrze kursu /  $q_w = 90^\circ$  / wartość

$$V_c \frac{\Delta t}{\Delta D_{pw}} \cdot \cos q_w = 0 \quad \text{zatem } V_w = V_c$$

Przy ruchu celu od parametru /  $q_w > 90^\circ$  /  
wartość  $V_c \frac{\Delta t}{\Delta D_{pw}} \cdot \cos q_w$  będzie ujemna,  
mianownik wyrażenia mniejszy od jedności, zatem  
 $V_w > V_c$  / pocisk dopędza cel/.



Rys. 8.17. Zależność między  $V_w$  i  $V_c$  na różnych odcinkach kursu.

Jeżeli cel leci na baterię i  $P=0$  /  $q_w=0$  a  $\cos q_w=1$  /,  
to

$$V_w = \frac{V_c}{1 + V_c \cdot \frac{\Delta t}{\Delta D_{pw}}}$$

a przy ruchu od baterii /  $q_w=180^\circ$ ,  $\cos q_w=-1$  /

$$V_w = \frac{V_c}{1 - V_c \cdot \frac{\Delta t}{\Delta D_{pw}}}$$

Współczynnik  $\frac{\Delta t}{\Delta D_{pw}}$  zależy tylko od właściwości

balistycznych działa i można łatwo go określić na podstawie tabel strzelniczych, na przykład przy strzelaniu z 85 mm armaty plot dla  $D_{pw} = 8000$  i  $H = 500$  otrzymanym

$$\frac{\Delta t}{\Delta D_{pw}} = \frac{20,6 - 18,6}{500} = 0,04$$

Rozwiązania te można przedstawić graficznie wykonując schemat prostego graficznego rozwiązania zadania spotkania /rys. 8.12/.

Dla uproszczenia obliczeń założymy, że  $P=0$ , a odstęp strzelania  $\tau_s = 1$  sek, tzn.  $S = V_c$ . Po

rozwiązaniu zadania spotkania dla punktów  $a_{s_1}$  i  $a_{s_2}$

mamy punkty wyprzedzone  $a_{w_1}$ ,  $a_{w_2}$ , wyznaczone przez trójkąty  $a_{s_1} c_1 a_{w_1}$  i  $a_{s_2} c_2 a_{w_2}$ . Przy

locie celu na baterię lewy trójkąt jest większy od prawego. Różnica wysokości prawego trójkąta w stosunku do lewego jest równa  $\Delta t = V_t$ .

Rozpatrując to na odciętej, otrzymamy:

$$a_{s_1} a_{w_1} - a_{s_2} a_{w_2} = \Delta V_w = \Delta t = V_t$$

Aby od jednostkowej prędkości  $V_c = S$  przejść do dowolnej, należy pomnożyć  $V_t$  przez  $V_c$ , wtedy

$$\Delta V_w \text{ m/sek} = V_c \text{ m/sek} \cdot V_t$$

Znak dla  $\Delta V_w$  m/sek wynika bezpośrednio z  $\Delta t = V_t$ .

Ponieważ  $V_w = V_c + V_c \cdot V_t$  a  $V_c \cdot V_t = \Delta V_w$

stad  $V_w = V_c \pm \Delta V_w$

Prawo przemieszczenia się punktu wyprzedzonego odgrywa ważną rolę przy rozwiązywaniu wielu zagadnień ze strzelań artylerii przedświatłowej. Do zagadnień tych można zaliczyć: obliczenie gęstości ognia przy strzelaniu baterii, określenie zużycia amunicji przy ostrzeliwaniu celu na kursie, wybór najdogodniejszych warunków do otwarcia i przerywania ognia, określenie wpływu czasu ładowania, błędów określania prędkości celu na dokładne wyznaczenie punktu  $A_w$ , określenie dokładności i granic pracy przeliczników itp.

Przykład: określić prędkość punktu  $A_w$  dla 100 mm armaty

plot jeżeli :  $H = 10000$  m,  $D_p = 8000$  m,  $q_w = 30^\circ$ ,  $V_0 = 300$  m/sek

Rozwiązanie:

Z tabel strzelniczych dla  $\Delta D_p = 500$  m i przy ruchu celu na baterię

$$\frac{\Delta t}{\Delta D_{pw}} = \frac{30,0 - 28,7}{500} = 0,0026$$

a

$$V_w = \frac{300}{1 + 300 \cdot 0,0026 \cdot 0,866} = 180 \text{ m/sek}$$

Dla tychże warunków, lecz przy  $q_w = 150^\circ$  /lot od baterii/

$$V_w = \frac{300}{1 - 300 \cdot 0,0026 \cdot 0,866} = 909 \text{ m/sek}$$

Z powyższego przykładu wynika, że mechanizmy przelicznika winny być opracowane dla prędkości punktu wyprzedzonego rzędu 909 m/sek, gdyż przy mniejszej  $V_w$  - przelicznik nie rozwiąże zadania spotkania.

Do obliczenia ilości salw, które mogą oddać baterie art. plot. w określonych warunkach lotu celu, przeważnie wykorzystywany jest graficzny sposób rozwiązywania zadania spotkania. Zadanie to można jednak rozwiązać, o wiele dokładniej, rachunkowo, na podstawie prędkości punktu wyprzedzonego.

Do takich obliczeń, przy  $P=C$ , sporządza się tabele, jedną dla lotu celu do parametru, a drugą - od parametru.

Wzór tabeli

$D_p$ w m	t sek	$\Delta t$ sek	$\frac{\Delta t}{\Delta D_p}$	$1 \pm 150$	$\frac{\Delta t}{\Delta D_p}$	$V_w$	$\Delta S - V_w \cdot \tau_s$	$D_{pw}$	nr salwy
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Tabele wypełnia się w następujący sposób. Dla danej wysokości z tabel strzelniczych do rubr. 1 wpisuje się odległości poziome  $D_p$ , a do rubr. 2 czasu lotu pocisku t.

Przy locie do parametru bierzemy  $D_{p1}$  największą, a za parametrem  $D_p$  odpowiadającą promieniowi martwego stożka  $\rho$ . Do rubryki 3 wpisujemy różnicę

$\Delta t$  między  $t_1$  a  $t_2$  itd. Rubryki : 4,5

i 6 wypełniamy wartościami wynikającymi z obliczeń. Do rubryki 7 i 8 wpisujemy odstęp między rozpryskami sąsiednich salw i odległości rozprysków. Pierwszy rozprysk pojawia się na odległości  $D_{pw1}$ .

Aby określić położenie kolejnych rozprysków, należy odejmować od poprzedzającej wartości  $D_{pw}$  drogę celu wzdłuż kursu równą iloczynowi średniej wartości  $V_w$  na tym odcinku przez odstęp strzelania  $\tau_s$ .

Przy locie celu od baterii  $D_{pw1}$  będzie większa od  $D_p$ , tak że nie trzeba będzie spuszczać żadnej salwy.

Przy locie celu do parametru czynności to wykonujemy do chwili otrzymania  $D_{pw} \leq S$ , a od parametru - gdy  $D_{pw} \leq D_{pmax}$   $\frac{D_{pw}}{D_{pmax}} = R/\%$ .

Jeśli parametr kursu  $P = 0$ , to dla wszystkich punktów kursu celu należy uwzględniać wartości  $\cos q$ .

W tym celu w tabelach należy wstawić po rubryce 3 dodatkowo trzy rubryki, a mianowicie  $\sin q$ ,  $q$  i  $\cos q$ , natomiast w rubryce 4 powinny być wartości  $\frac{\Delta t}{\Delta D_p} \cdot \cos q$ , w rubryce 5 wartości  $1 \pm V_c \cdot \frac{\Delta t}{\Delta D_p} \cdot \cos q$ .

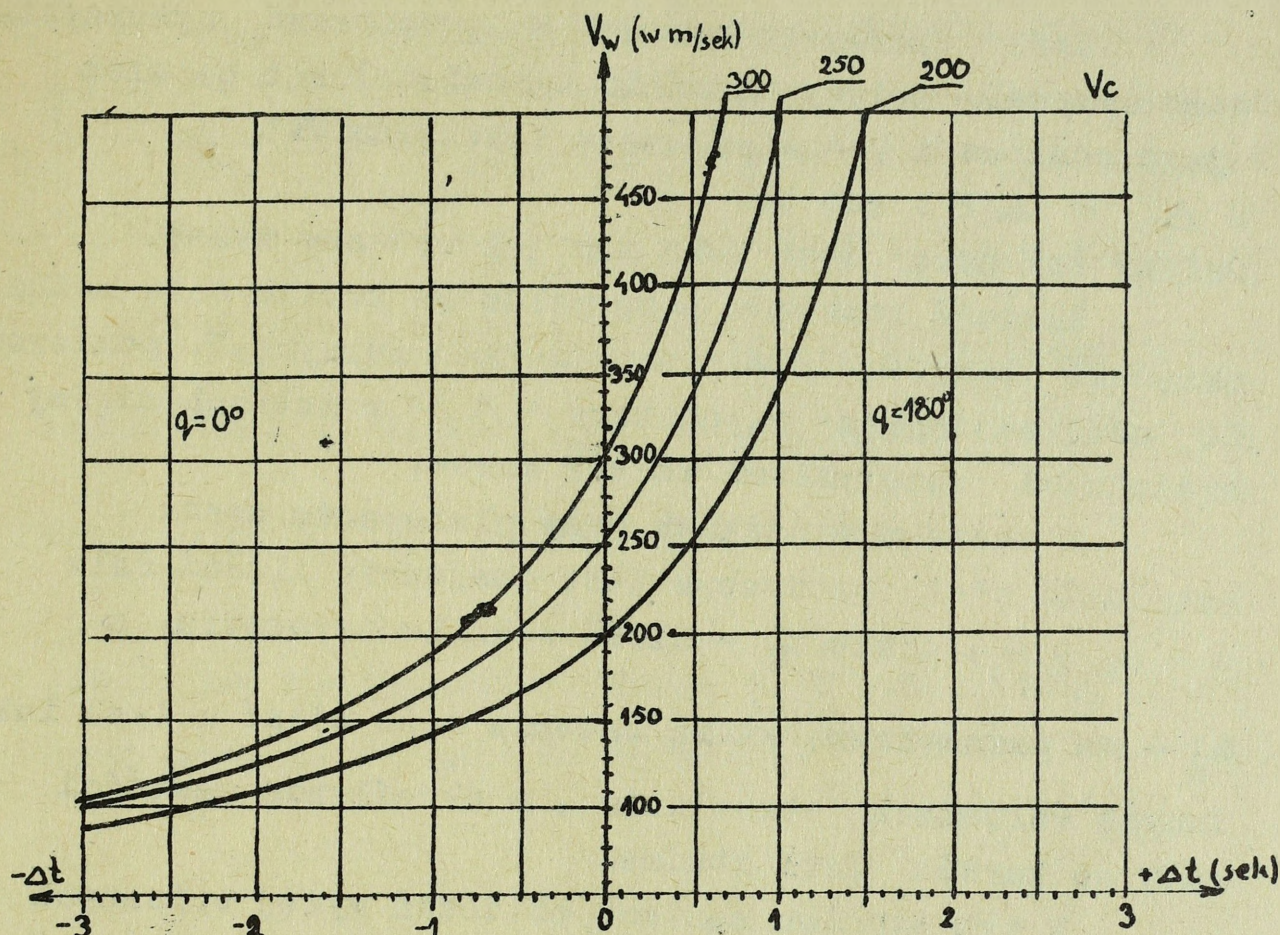
Obliczenia wykonywane za pomocą tabel, wyżej omówionych, można jeszcze bardziej uprościć jeżeli określimy  $V_w$  z wykresu / rys. 8.18/.

Wykres sporządza się w następujący sposób.

Na odciętej  $\Delta t$ , po środku wyznaczamy punkt 0. W prawo i w lewo od tego punktu odkładamy  $\Delta t$  w przyjętej skali. Skala  $\Delta t$  odłożona w lewo odpowiada zmianie czasu lotu pocisku przy locie celu na baterię /  $q = 0^\circ$  / a w prawo - od baterii /  $q = 180^\circ$  /.

Na rzędnej poprowadzonej prostopadle do odciętej w punkcie 0 odkładamy  $V_w$  w m/sek. Następnie obliczamy dla różnych wartości  $\Delta t$  /ujemnych i dodatnich/  $V_w$  przy pomocy wzoru /8.12/ i ich wartości odkładamy wzdłuż rzędnych prostych prostopadłych do odciętej w punktach danej wartości  $\Delta t$ . Końce odcinków  $V_w$  łączymy płynną krzywą i opisujemy ją wartością  $V_c$  dla której ona była obliczona.

Wykres sporządzamy w oparciu o tabele strzelnicze, z których bierzemy wartość  $\Delta D_{pw}$ .



Rys. 8.18. Wykres do określenia  $V_w$

W wypadku posługiwania się wykresem, w tabelach wypełniamy tylko rubryki 1,2,3,6,8 i 9, opuszczając rubryki 4 i 5.

Wykresem posługujemy się następujący sposób. Na podstawie wartości  $\Delta t$  z rubryki 3 odnajdujemy punkt na osi odciętych, następnie odnajdujemy punkt przecięcia się rzędnej odpowiadającej określonej wartości  $\Delta t$  z krzywą przyjętej  $V_c$ . Dla tego punktu odczytujemy na osi rzędnych wartość  $V_w$ .

Przykład :  $q = 0$ ,  $\Delta t = 2,7$  sek ,  $V_c = 200$  m/sek. Na wykresie otrzymujemy punkt a dla  $\Delta t = - 2,7$  sek. Rzędna tego punktu odpowiada  $V_w = 95$  m/sek. A dla  $\Delta t = 2,7$  sek /  $q = 180^\circ$  /

otrzymamy  $V_w = \infty$  .

Jeśli parametr kursu  $P = 0$ , to przed wykorzystaniem wykresów należy określić odpowiedni kąt  $q$ , oraz jego cosinus i pomnożyć przez tabelarną  $\Delta t$  /  $\Delta t = \Delta t \cdot \cos q$  /.

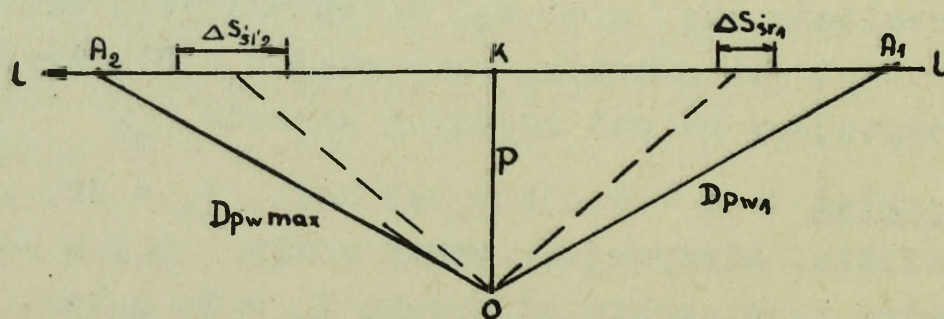
Dalszy tok pracy jest taki sam jak opisany wyżej.

Gęstość rozkładu rozprysków na kursie celu można określić bezpośrednio rozpatrując rubrykę 7, ponieważ do niej zapisywane są odstępki " $\Delta S$ " w metrach między sąsiednimi rozpryskami wzdłuż kursu.

W szeregu wypadkach przy planowaniu ognia artylerii plot potrzebna jest znajomość ilości salw  $n = n_1 + n_2$ , gdzie  $n_1$  - ilość salw do parametru, a  $n_2$  - za parametrem, którą bateria może oddać w tych lub innych warunkach strzelania, a określenie gęstości salw na kursie jest zbędne.

W tym wypadku zamiast obliczeń wyżej opisanych wystarczy znaleźć średnie wartości  $\Delta S_{sr}$  i w oparciu o nie obliczyć ilość salw. Średnią wartość  $\Delta S_{sr}$  można określić na podstawie różnych argumentów. Najdogodniej jest określać  $D_{pw_{sr}}$

dla danego kursu /rys. 8.19.



Rys. 8.19. Schemat określenia ilości salw na podstawie  $V_{w_{sr}}$ .

$D_{pw\ sr}$  możemy określić jako wartość średnią z  $P$  i  $D_{pw1}$  czyli

$$D_{pw\ sr} = \frac{P + D_{pw1}}{2}$$

Po określeniu dla tabelarnej wartości  $\Delta D_p$  różnicy  $\Delta t$  obliczamy  $V'_{w\ sr}$  według wzoru /8.12/ i przyjmując odstęp strzelania określamy

$$\Delta S_{sr} = V_{w\ sr} \cdot \tau_s .$$

Jeżeli podzielimy odłamek kursu  $A_1 K$  przez  $\Delta S'_{sr}$  otrzymamy ilość salw do parametru

$$n_1 = \frac{A_1 K}{\Delta S'_{sr}} = \frac{S_1}{V'_{w\ sr} \cdot \tau_s} \quad /8.13/$$

Określenie ilości salw za parametrem jest nieco trudniejsze. Na tym odcinku /8.2/  $V_w$  wydatnie wzrasta i trzeba znaleźć maksymalną  $D_{pw\ max}$ , przy której możliwe jest prowadzenie ognia w danych warunkach. Do rozwiązania tego zagadnienia potrzebna jest znajomość  $V_{w\ max}$ , przy której przelicznik może rozwiązać zadanie spotkania.

Jeżeli znamy  $V_{w\ max}$  i posiadamy wykres  $V_w$ , to dla przyjętej  $V_c$  odnajdujemy na osi rzędnych  $V_{w\ max}$  oraz punkt przecięcia się odciętej odpowiadającej tej prędkości z krzywą  $V_c$ . Dla danego punktu odczytujemy  $\Delta t$ . Na podstawie  $\Delta t$  z tabel strzelniczych odczytujemy maksymalną odległość  $D_{pw\ max}$ .

Dalej postępujemy tak jak przy rozpatrywaniu tego zagadnienia do parametru i ostatecznie otrzymujemy

$$n_2 = \frac{KA_n}{\Delta S''_{sr}} = \frac{S_2}{V''_{w, sr} \cdot \tau_s} \quad /8.14/$$

Jeżeli nie posiadamy wykresu  $V_w$ , to ilość salw na parametrze możemy określić w przybliżeniu wykonując obliczenia w ten sam sposób jak do parametru, tzn. bierzemy pod uwagę  $D_{pw_{max}} = D_{pw_1}$ .

#### F. Rozwiązanie odwrotne zadania spotkania

Przy rozpatrywaniu zagadnień strzelania artylerii plot lub zestawieniu tabel danych początkowych, wynika często konieczność rozwiązywania zadania spotkania wstecz w celu określenia współrzędnych punktu strzału i innych punktów w oparciu o założone współrzędne punktu wyprzedzonego.

Do rozwiązania zadania spotkania w ten sposób należy założyć współrzędne punktu  $A_w$ :  $\beta_w$ ,  $D_{pw}$ ,  $H_w$  oraz czynniki ruchu celu  $V_c$  i  $q_w$ . Najczęściej przyjmowanymi hipotezami do takich rozwiązań są: w czasie wyprzedzonym cel porusza się prostoliniowo, jednostajnie, poziomo lub w płaszczyźnie pochyłej.

Rozwiązanie zadania sprowadza się do rozwiązania trójkąta, w którym znane są dwa boki i kąt zawarty między nimi.

Założmy, że cel porusza się prostoliniowo, jednostajnie i poziomo oraz znane są współrzędne punktu

wyprzedzonego  $\beta_w$ ,  $D_{pw}$ ,  $H_w$  i czynniki ruchu:  $V_c$  i  $q_w$ . Określić współrzędne punktu strzału.

Według znanych wartości  $\beta_w$ ,  $D_{pw}$  i  $H_w$  wyznaczamy punkt  $A_w$  i jego rzut  $a_w$ . Na podstawie kąta kursowego  $q_w$  wykreślamy rzut kursu celu  $ll_1$  i kursu celu  $L_1$ . Z tabel strzelniczych na podstawie  $D_{pw}$  i  $H_w$  odnajdujemy czas lotu pocisku  $t$  do punktu  $A_w$ . Mnożąc czas lotu pocisku  $t$  przez prędkość celu  $V_c$  otrzymamy liniowe wyprzedzenie  $\Delta S = V_c \cdot t$ . Odkładając  $\Delta S$  od punktu  $A_w$  w kierunku przeciwnym do ruchu celu otrzymamy ruchomy punkt  $A_s$ , a rzut  $a_s$  prostopadle na rzut kursu celu - punkt

Wyznaczając położenie dowolnego punktu poprzedzającego punkt  $A_s$ , odkładamy od punktu  $A_s$  w kierunku przeciwnym ruchowi celu, odcinek  $V_c \cdot \tau$ , gdzie  $\tau$  - czas lotu celu od szukanego punktu  $A$  do punktu  $A_s$ .

Współrzędne rzutu punktu strzału obliczamy rozwiązując trójkąt  $O_{a_w} a_s$ , skąd

$$D_{ps} = \sqrt{D_{pw}^2 + (V_c \cdot t)^2 - 2D_{pw} V_c \cdot t \cos(180^\circ - q_w)}$$

ponieważ  $\cos(180^\circ - q_w) = -\cos q_w$ , to

$$D_{ps} = \sqrt{D_{pw}^2 + (V_c \cdot t)^2 + 2D_{pw} V_c \cdot t \cos q_w} \quad (8.15)$$

Z tego samego trójkąta  $O_{a_s} a_w$  obliczamy  $q_s$

$$\frac{\sin q_s}{D_{pw}} = \frac{\sin(180^\circ - q_w)}{D_{ps}}$$

stąd

$$\sin q_s = \frac{D_{pw} \sin(180^\circ - q_w)}{D_{ps}},$$

a ponieważ  $\sin /180^\circ - q_w / = \sin q_w$ , to

$$\sin q_s = \frac{D_{pw} \cdot \sin q_w}{D_{ps}} \quad /8,16/$$

Po obliczeniu wyprzedzenia kierunku ze wzoru

$\Delta\beta = q_w - q_s$ , obliczamy azymut punktu strzału, który jest równy sumie algebraicznej.

$$\beta_s = \beta_w + \Delta\beta$$

W omawianym przykładzie cel poruszał się prostoliniowo, jednostajnie i poziomo. Gdy cel porusza się po kursie nachylnym ze stałą prędkością i pod stałym kątem nachylenia kursu  $\lambda$  istota rozwiązania nie zmienia się, lecz dodatkowo należy obliczyć wysokość punktu strzału ze wzoru:

$$H_s = H_w \pm V_c \cdot t \sin \lambda$$

Przykład: Wyznaczyć w walcowym układzie współrzędnych położenie punktu strzału  $a_s$  i odległość

punktu "a" względem punktu  $a_s$  przy strzelaniu z 100 mm armaty plot /KS-19/ pociskiem odłamkowym z zapalnikiem WM-30 do celu poruszającego się prostoliniowo i poziomo.

Współrzędne punktu  $A_w$  wynoszą :  $H = 10000$  m,  $D_{pw} = 8000$  m,

$\beta_w = 18-50$ , czynniki ruchu :  $P = 4000$  m,  $V_G = 250$  m/sek.

Cel leci w prawo na baterię, czas lotu od punktu a do celu  
 $a_s : \tau = 30$  sek.

Rozwiązanie:

1. Określamy kąt kursowy  $q_w$

$$\sin q_w = \frac{P}{D_{pw}} = \frac{4000}{8000} = 0,5; \quad q_w = 30^\circ;$$

2. Określamy odległość poziomą punktu strzału  $D_{pw}$ ,

w tym celu z tabel strzelniczych dla  $D_{pw} = 8000$  i  
 $H = 10000$  m odczytujemy czas lotu pocisku

$$t / 8000 \cdot 1000 / = 28,7 \text{ sek.}$$

$$D_{ps} = \sqrt{8000^2 + 250 \cdot 28,7^2 + 2 \cdot 8000 \cdot 250 \cdot 28,7 \cdot 0,866} = 14650 \text{ m}$$

3. Aby określić azymut pkt.  $A_s$ , obliczamy kąt kursowy

-  $q_s$  i wyprzedzenie kierunku  $\Delta\beta$

$$\sin q_s = \frac{D_{pw} \cdot \sin q_w}{D_{ps}} = \frac{8000 \cdot 0,5}{14650} = 0,27304;$$

$$q_s = 15^\circ 53'$$

$$\Delta\beta = q_w - q_s = 30^\circ - 15^\circ 53' = 14^\circ 07' = 2-36.$$

4. Obliczamy azymut punktu  $A_s$

$$\beta_s = \beta_w + \Delta\beta = 18-50 + 2-36 = 20-86;$$

$\Delta\beta$  posiada znak dodatni, ponieważ cel leci  
w prawo/

5. Obliczemy odległość punktu a od  $a_s$

$$a_s a = V_G \cdot \tau = 250 \cdot 30 = 7500 \text{ m}$$

### G. Określenie nastaw początkowych do strzelania

W wyniku rozwiązania zadania spotkania otrzymujemy współrzędne geometryczne punktu przyszłego położenia celu, na podstawie których określa się nastawy początkowe.

Nastawami początkowymi nazywamy nastawy obliczone do prowadzenia ognia. Nastawy początkowe dzielimy na nastawy przyrządów celowniczych i nastawy zapalnika / przy strzelaniu rozpryskowym/. Nastawami przyrządów celowniczych nazywamy kąty określające położenie osi przodu lufy, zapewniające przechodzenie toru średniego przez punkty wyprzedzony.

Nastawą zapalnika nazywamy taką wartość zapalnika, przy której średni punkt rozprysków leży na torze średnim w najdogodniejszym położeniu względem punktu  $A_w$ .

Do nastaw liczymy:

- $\varphi$  - kąt podniesienia,
- $C$  - kąt celownika,
- $\beta_w$  - azymut wyprzedzony,
- $\Delta_p$  - wyprzedzenie pionowe,
- $\Delta\beta$  - wyprzedzenie kierunku,
- $z$  - nastawa zapalnika

Nastawy początkowe zależą od właściwości balistycznych działa i pocisku, od współrzędnych geometrycznych punktu  $A_w$ , a wyprzedzenie pionowe i kierunku - również od czynników ruchu celu.

Nastawy początkowe przy strzelaniu do danego celu zależą od rodzaju celownika konstrukcji przyrządów celowniczych i przelicznika.

Przeważnie określone są następujące nastawy początkowe:

- kąt podniesienia z nastawą zapalnika z tabel strzelniczych, wykresów balistycznych lub konoidów przelicznika, na podstawie wysokości  $H_w$  i odległości poziomej  $D_{pw}$  lub odległości rzeczywistej  $D_w$  i kąta położenia  $p_w$ , tzn.:

$$\varphi = f / D_{pw}, H_w / \text{ lub } \varphi = f / D_w, p_w / ;$$

$$z = f / D_{pw}, H_w / \text{ lub } z = f / D_w, p_w / ;$$

- kąt celownika z tabel strzelniczych lub wykresów na podstawie  $H_w$  i  $D_{pw}$  lub  $D_w$  i  $p_w$ ;

$$c = f / D_{pw}, H_w / \text{ lub } c = f / D_w, p_w / ;$$

- azymut wyprzedzony określony jest w przeliczniku w czasie rozwiązania zadania spotkania jako suma azymutu bieżącego i wyprzedzenia kierunku;

$$\beta_w = \beta_s + \Delta\beta$$

Wyprzedzenie kierunku  $\Delta\beta$  w celownikach automatycznych określone jest przez odtworzenie w nich trójkąta wyprzedzenia.

## 9. Wycelowanie dział

Wycelować działo znaczy nadać osi przewodu lufy takie położenie w przestrzeni, przy którym średni tor przejdzie przez punkt wyprzedzony, przy strzelaniu do celów ruchomych, oraz przez cel - przy strzelaniu do celów nieruchomych.

Wycelowanie działu składa się z wycelowania w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Wykonanie tych czynności przeprowadza się niezależnie od siebie lecz równocześnie.

W artylerii przeciwlotniczej stosowane są dwa rodzaje celowania:

- pośrednie,
- bezpośrednie.

Celowaniem pośrednim nazywamy taki rodzaj wycelowania, przy którym kąt w płaszczyźnie poziomej nadaje się od kierunku zasadniczego, przez nastawienie azymutu wyprzedzającego  $\beta_w$ , a kąt podniesienia  $\varphi$  w płaszczyźnie pionowej względem poziomu działa / zorientowanej i nieruchomej części działa /.

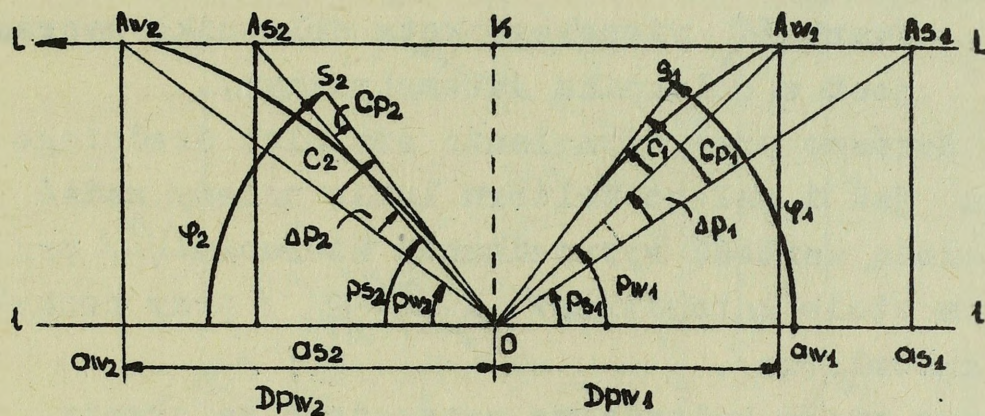
Przy celowaniu pośrednim nastawami na działa będą  $\beta_w$ ,  $\varphi$  i  $z$ . Aby wielkości te odpowiadały rzeczywistym, należy kontrolować orientowanie i pozowanie sprzętu.

Celowanie pośrednie stosuje się przy strzelaniu do celów powietrznych ogniem zaporowym i z licznikiem oraz przy strzelaniu do celów naziemnych z zakrytych

Celowanie bezpośrednie polega na wycelowaniu przezierników /celowników optycznych/ w cel z równoczesnym nastawieniem na urządzeniach celowniczych danych początkowych.

Dla art. plot średniego kalibru danymi początkowymi są kąt celownika  $c$ , wyprzedzenie kierunku  $\Delta\beta$  i pionowe  $\Delta p$  oraz nastawa zapalnika  $z$ .

Dla artylerii plot małego kalibru - odległość rzeczywista  $D$ , prędkość celu  $V_c$ , kąt kursowy  $q$  / kąt drogi  $Q$  / oraz kąt nachylenia kursu  $\lambda$ .



Rys. 9.1. Celowanie bezpośrednio przy  $q = 0$  i  $180^\circ$

Z rysunku 9.1 wynika, że aby tor pocisku przebiegał przez punkt wyprzedzony, trzeba nadać lufie kąt podniesienia równy

$$\psi = p_s \pm \Delta p + c$$

Ponieważ suma kątów  $\Delta p$  i  $c$  zwana pionowym kątem celownika może być określona z góry, dlatego celowanie bezpośrednio, w artylerii średniego kalibru, realizuje się:

- przez nastawienie na celowniku działła pionowego kąta celownika;
- przez nadawanie działu kąta położenia i pionowego kąta celownika w czasie prowadzenia celu.

Nastawę zapanika określa się z tabel strzelniczych w zależności od wysokości i odległości poziomej punktu wyprzedzonego.

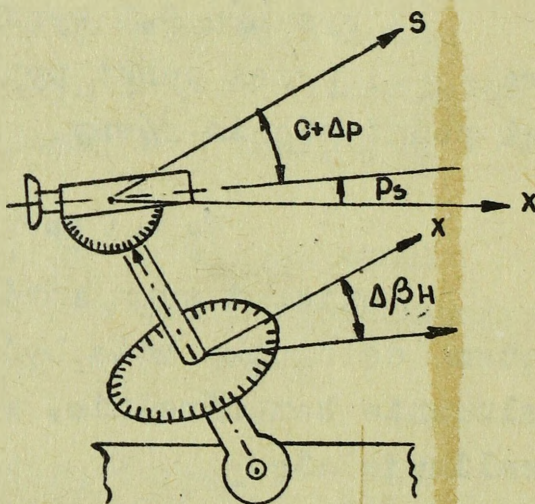
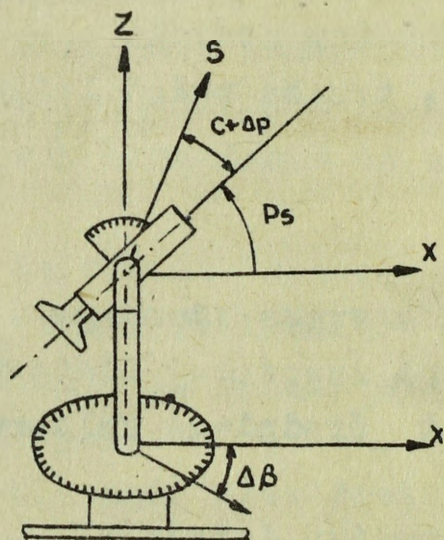
Celowanie bezpośrednio w artylerii plot małego kalibru realizuje się przez:

- nastawienie na celowniku odległości do celu i czynników ruchu celu;

- nadawanie działu kąta położenia i pionowego kąta celownika w czasie prowadzenia celu /wartość pionowego kąta celownika wypracowana jest w celowniku automatycznym/.

Zarówno przy strzelaniu art.plot średniego kalibru jak i małego kalibru lufie należy nadać odpowiednią wartość wyprzedzenia kierunku  $\Delta\beta$  / przy poziomym stole kątomierza / i  $\Delta\beta_H$  / przy pochyłym stole kątomierza/.

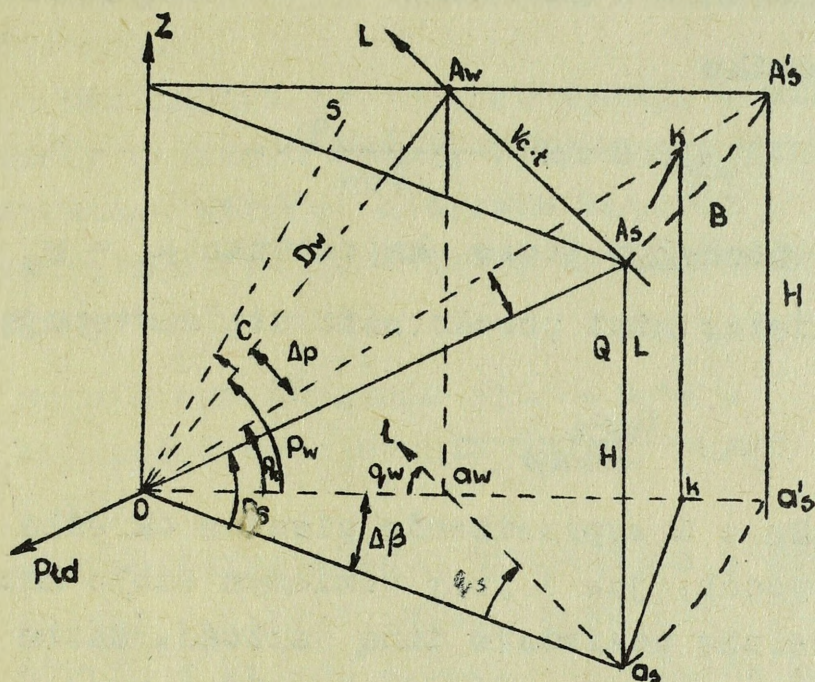
W poziome stoły kątomierza wyposażone są armaty plot 37 i 57 mm, a w pochyły stół kątomierza celownik 85 mm armaty plot.



Rys. 9.2. Poziomy stół kątomierza

Rys. 93. Pochyły stół kątomierza.

Aby zrozumieć dokładnie zagadnienie wycelowania bezpośredniego, rozpatrzmy zależności między wyprzedzeniem pionowym i kierunku przy poziomym i pochyłym stole kątomierza /rys. 9.4/.



Rys. 9.4. Zależność między wyprzedzeniami pionowymi i kierunkiem.

Przy poziomym stole kątomierza, kąty są równe: obliczamy  $D_w$  i  $D_p$  dla danej wysokości  $H$ , oraz

$$p_w = \text{arc tg } \frac{H}{D_p}$$

i

$$c = c_0 \cdot \cos p_w$$

Różnica kątów położenia  $p_w - p_s = \Delta p$ , zatem

$$c_p = c + \Delta p$$

Aby wycelować działa w płaszczyźnie pionowej, należy nastawić na nim pionowy kąt celownika  $c_p$ .

Wycelowanie w kierunku                      się przez nastawie-  
nie na celowniku

$$\Delta\beta = \text{arc sin } \frac{c \cdot t \cdot \rho_s}{D_{pw}}$$

Przy pochyłym stole kątomierza  $p_k = p_s$ , a  
zależność między nimi przedstawia się następująco:

$$\text{tg } p_k = \frac{\text{tg } p_s}{\cos \Delta\beta}$$

Kąt celownika  $c$  i wyprzedzenie pionowe określa się  
w ten sam sposób, jak i przy poziomym stole kątomierza,  
lecz  $p$  będzie posiadało inną wartość, zatem  $C_{pw} = C_p$ .

Na podstawie  $p_w$ ,  $c$  i  $\Delta p$  obliczamy kąt  $\varphi$ .

Wyprzedzenie kierunku  $\Delta\beta_H$  obliczamy  
rozpatrując trójkąty  $OKA_s$ ,  $OK'_as$  i  $OA_s a_s$ , stąd

$$\sin \Delta\beta_H = \sin \Delta\beta \cdot \cos p_s$$

Przy małych kątach  $\Delta\beta$ , wyprzedzenie kierunku w  
płaszczyźnie pochyłej

$$\Delta\beta_H = \Delta\beta \cdot \cos p_s$$

Wyższosc celowania bezpośredniego przejawia  
się tym, że odpada konieczność orientowania dział  
a tym samym przygotowanie ich do strzelania odbywa się  
w krótszym czasie. Brakiem tego celowania jest to,  
że strzelanie można prowadzić tylko przy dobrej  
widoczności celu i tylko na nieduże odległości.

#### 10. Możliwości dział przeciwlotniczych

Artyleria przeciwlotnicza musi być gotowa  
do odparcia długotrwałych nalotów lotnictwa npla,  
w których może brać udział znaczna ilość celów  
urzuconych w głąb jeden za drugim.

W związku z tym wyłania się problem możliwości prowadzenia strzelania przez baterię artylerii przeciwlotniczej.

Możliwości te charakteryzują w pierwszym rzędzie strefy ostrzału dział. Przy danej prędkości celu powietrznego strefę ostrzału baterii charakteryzują następujące strefy martwe, w których nie można prowadzić ognia:

- strefa ograniczenia wynikająca z prędkości wycelowania dział, przelicznika i RSA;
- strefa ograniczenia wynikająca z prędkości zmiany w przeliczniku czasu lotu pocisku;
- strefa w której zadanie spotkania nie może być rozwiązane z powodu niedostatecznej prędkości pocisku;
- strefa ograniczenia wynikająca z ograniczenia kąta podniesienia działa /kąta położenia RSA, przelicznika/;
- strefa ograniczająca minimalny kąt podniesienia przy strzelaniu z zapalnikiem zbliżonym.

Rozpatrzmy poszczególne strefy martwe, w których nie można prowadzić ognia.

Przy ruchu celu z prędkością jednostajną określenie współrzędnych bieżącego położenia celu oraz rozwiązanie zadania spotkania pocisku z celem uzależnione jest od prędkości kątowych celu

$|\omega_{\beta c}, \omega_{p_c}|$ , prędkości wycelowania dział

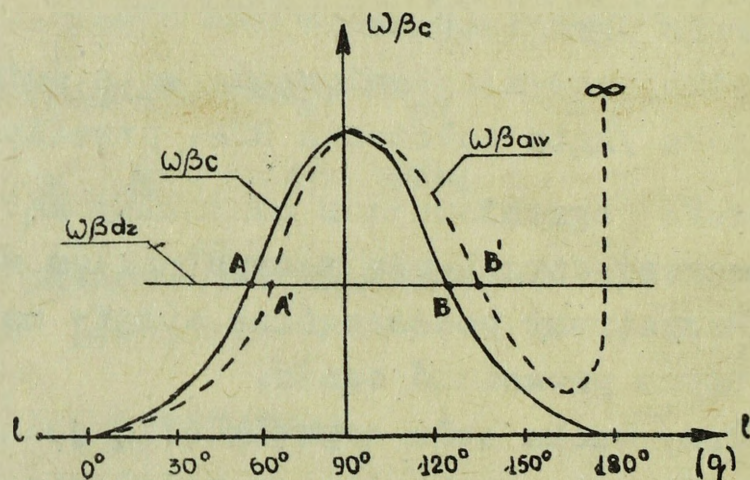
$|\omega_{\beta dz}, \omega_{p_{dz}}|$  oraz prędkości punktu wyprzedzo-

nego  $v_w$ .

Ponieważ maksymalne prędkości wycelowania działają są wartościami stałymi, a prędkości kątowe celu są zmienne, to wycelowanie działa jest możliwe do chwili przecięcia się krzywej  $\omega\beta_c / \omega p_c /$

z prostą  $\omega\beta_{dz} / \omega p_{dz} /$  w pkt A przy locie celu do parametru i od punktu B przy locie za parametrem.

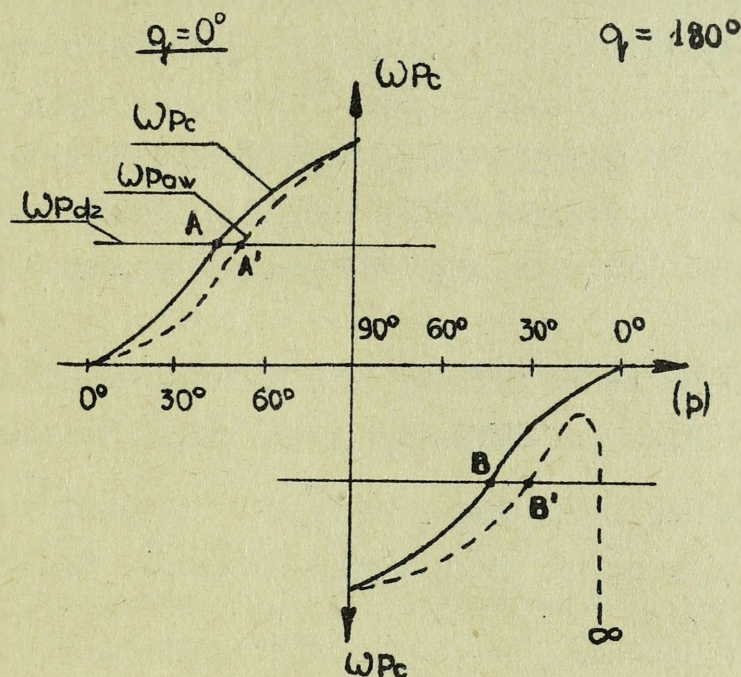
Aby w pełni rozpatrzyć zagadnienie ograniczenia strzelania ze względu na możliwości wycelowania należy wziąć nie niezące położenie celu / pkt  $A_s$  / a punkt wyprzedzony  $A_w$ .



Rys. 10.1. Porównanie  $\omega\beta_c$  i  $\omega\beta_{aw}$  z  $\omega\beta_{dz}$

Punkt wyprzedzony przesuwa się z prędkością zmienną  $V_w$ , która zależy od  $V_c$  i właściwości balistycznych działa i do parametru jest mniejsza od  $V_c$ , za parametrem - większa i wzrasta w miarę oddalania się celu.

Wzrost  $V_w$  powoduje wzrost prędkości zmiany wszystkich współrzędnych wyprzedzonych. W przeliczniku i działach prędkości zmiany tych współrzędnych są możliwe w ściśle określonych granicach, wskutek czego pojawiają się strefy martwe.

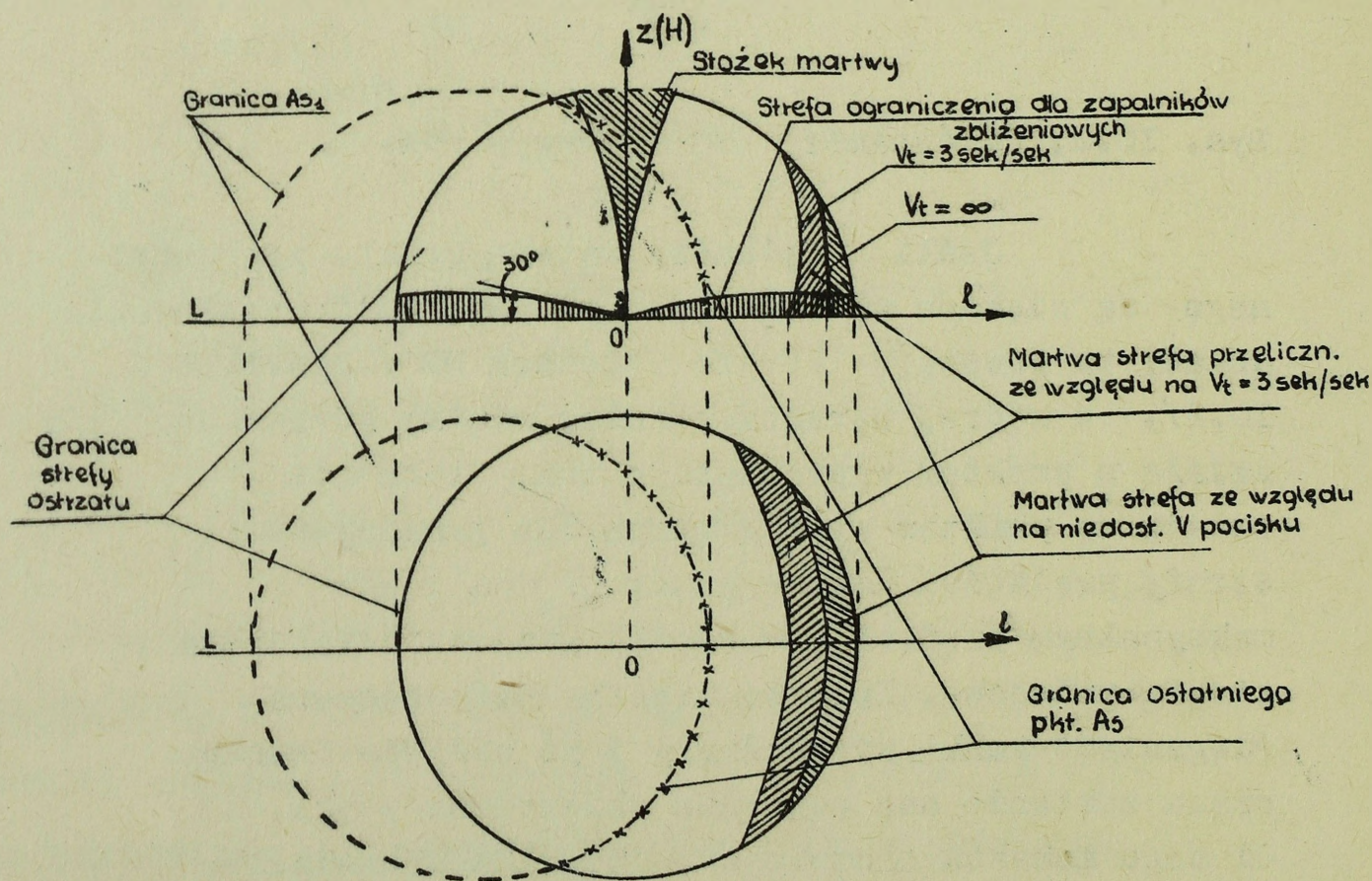


Rys. 10.2, Porównanie  $\omega_{pc}$  i  $\omega_{paw}$  i  $\omega_{pdz}$

Jeśli prędkości katowe punktu wyprzedzonego są większe od maksymalnych prędkości wycelowania dział, to powstaje strefa /odcihek  $BB'$ / rys.10.1 i 10.2/, w której narasta różnica między kierunkiem lufy działka a punktem wyprzedzonym tzn. lufa nie nadąża za punktem wyprzedzonym. Na granicy tej strefy prędkości katowe punktu  $A_w$  są równe maksymalnym prędkościom wycelowania dział, a poza tą strefą mniejsze. Poza tą strefą lufa zaczyna "doganiać" punkt wyprzedzony i po upływie pewnego czasu zostanie ona ponownie skierowana w pkt. Od tego momentu zacznie się normalne prowadzenie celu /wycelowanie działka/.

Oprócz ograniczeń wynikających z wycelowania działa podczas ruchu celu w rejonie parametru kursu występują ograniczenia wynikające z prędkości wycelowania przelicznika lub RSA. Wskutek tego wynikają dodatkowe strefy martwe, które przy małych wysokościach leżą wewnątrz strefy martwej działa i nie ograniczają strzelania. Przy dużych wysokościach, którym odpowiadają duże czasy lotu pocisku, te dodatkowe strefy martwe mogą wyjść nie tylko poza granice strefy ograniczenia działa, lecz również poza strefę, w której lufa "dogania" punkt wyprzedzony.

Prędkość zmiany czasu lotu pocisku  $V_t$  w przeliczniku /PUAZO-6/ jest ograniczona wartością 3 /sek/sek, gdy prędkość ta jest większa, przelicznik nie może rozwiązać zadania spotkania pocisku z celem.



Rys.10.3. Rzut pionowy i poziomy strefy ostrzału.

W prawej części strefy ostrzału / za parametrem / pierwsza linia przerywana / rys. 10.3 / / odpowiada rzeczywistemu <sup>położeniu</sup> celu w momencie, gdy prędkość zmiany czasu lotu pocisku  $V_t$  osiąga wartość 3 sek/sek, to jest w momencie ostatniej możliwej salwy /serii/, druga linia odpowiada położeniu celu w chwili, gdy prędkość punktu wyprzedzonego jest nieskończenie wielka.

Od pewnego punktu za parametrem, jeszcze w granicach strefy ostrzału, zadanie spotkania jest nierozwiązalne wskutek niedostatecznej prędkości pocisku. Powoduje to powstanie strefy martwej, której wielkość jest wprost proporcjonalna do prędkości celu. W strefie tej pocisk nie może "dognać" celu.

Stożek martwy dla danego działka wyznacza tor pocisku otrzymany przy maksymalnym kącie podniesienia. Stożek ten posiada kształt lejka. Stożki martwe przelicznika i RSA wyznaczają tworzące stożka, otrzymane przy maksymalnych kątach położenia, przy których przelicznik RSA mogą prowadzić cel. Z reguły martwe stożki RSA i przelicznika leżą wewnątrz stożka martwego działka.

Przy strzelaniu pociskiem z zapalnikiem zbliżonym, przy małych kątach podniesienia, wskutek oddziaływania ziemi lub przedmiotów terenowych istnieje możliwość otrzymania rozprysku. Może to mieć miejsce zarówno na wznoszącej, jak i opadającej części toru / rys. 10.3/.

W celu zapewnienia właściwego działania zapalnika, należy ograniczyć kąt podniesienia. Najmniejsza dopuszczalna wartość kąta podniesienia jest rzędu  $30^\circ$ .

Powoduje to powstanie dodatkowej strefy ograniczenia, której wielkość jest odwrotnie proporcjonalna do wysokości lotu celu. Praktycznie strefę tę uwzględnia się tylko przy strzelaniu w kierunku osłanianego obiektu i wojsk własnych.

Wykonano w 60 egz.

Egz. nr 1 - 60 Bibl. Jawna  
Wyk. mjr Zabłotni  
Druk. KH i OS dn. 13.02.61r.  
Nr ks. 68/WW.

