



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

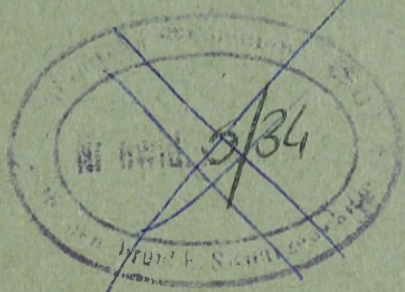
KATEDRA Nr 7

7

ppłk dypl. Stefan MAKOWSKI  
kpt. dypl. Tadeusz CZARNOCKI

Temat: BŁĘDY STRZELANIA ARTYLERII  
PRZECIWLOTNICZEJ

(Skrypt)



4285

1961



**AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO**  
im. gen. broni K. Świerczewskiego

---

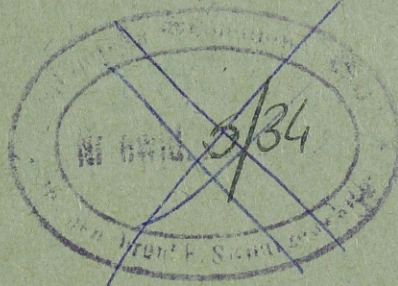
KATEDRA Nr 7

7

ppłk dypl. Stefan MAKOWSKI  
kpt. dypl. Tadeusz CZARNOCKI

**Temat: BŁĘDY STRZELANIA ARTYLERII  
PRZECIWLOTNICZEJ**

(Skrypt)



4285

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO  
im. gen. broni K. Świerczewskiego

---

KATEDRA Nr 7

" ZATWIERDZAM "  
SZEF KATEDRY Nr 7

7

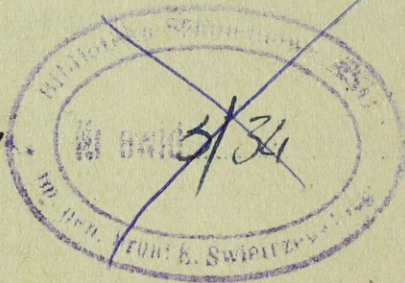
ppłk dypl. prof. Józef D A C

ppłk dypl. Stefan MAKOWSKI

kpt. dypl. Tadeusz CZARNOCKI

T e m a t : "BŁĘDY STRZELANIA ARTYLERII PRZECIWI-  
LOTNICZEJ"

/Skrypt/



SPRAWDZIŁ:  
ZCA SZEFA KATEDRY NR 7

ppłk dypl. Stefan MAKOWSKI

---

WARSZAWA-REMBERTÓW

m a j

1961 r.

# S P I S   Z A G A D N I E Ń

## BŁĘDY STRZELANIA ARTYLERII PRZECIWIOTNICZEJ

### ROZDZIAŁ I

#### BŁĘDY STRZELANIA UDERZENIOWEGO ART.PILOT. DO CEIÓW POWIETRZNYCH.

1. Charakterystyka błędów strzelania.
2. Błędy strzelania z PUAZO.
  - A. Błędy w wypracowaniu przez komplet nastaw do strzelania.
  - B. Błędy w określeniu i uwzględnieniu odchyłek warunków strzelania od tabelarycznych.
    - 1/ Błędy w określaniu i uwzględnieniu  $\Delta V_{0\text{sum}}$ ;
    - 2/ Błędy w określeniu i uwzględnieniu wiatru balistycznego.
  - C. Błędy technicznego rozrzutu torów pocisków.
3. Błędy strzelania z celownikiem.
  - A. Błędy w określeniu i uwzględnieniu na celowniku bierzących współrzędnych i czynników ruchu celu.
    - 1/ Błędy w określeniu i uwzględnieniu na celowniku bierzącej odległości do celu.
    - 2/ Błędy bierzących współrzędnych kątowych celu.
    - 3/ Błędy w określeniu i uwzględnieniu czynników ruchu celu.
  - B. Błędy spowodowane nie uwzględnieniem odchyłek warunków strzelania od tabelarycznych.
  - C. Błędy hipotezy ruchu celu.
4. Sumaryczne błędy strzelania.

BŁĘDY STRZELANIA ARTYLERII PRZECIWILOTNICZEJ SK DO CELÓW  
POWIETRZNYCH

5. Podział błędów strzelania.
6. Błędy w wyznaczaniu nastaw do strzelania i ich wpływ na położenie rozprysku.
7. Błędy w określeniu i uwzględnieniu odchyłek balistycznych i meteorologicznych warunków strzelania od tabelarycznych i ich wpływ na strzelanie.
  - a/ Wpływ na strzelanie błędów w określeniu i uwzględnieniu  $\Delta V_{0\text{sum}}$ .
  - b/ Wpływ na strzelanie błędów w określeniu i uwzględnieniu sumarycznej balistycznej odchyłki gęstości powietrza od tabelarycznej  $\Delta G_{\text{sum}}$ .
  - c/ Wpływ na strzelanie błędów w określeniu i uwzględnieniu sumarycznej odchyłki czasu działania zapalnika od tabelarycznego  $\Delta t_{\text{sum}}$ .
  - d/ Wpływ na strzelanie błędów w określeniu i uwzględnieniu wiatru balistycznego.
8. Niepowtarzające się błędy i ich wpływ na strzelanie.
  - a/ Błędy nieuwzględnienia odsunięcia dział od środka stanowiska ogniowego.
  - b/ Błędy technicznego rozrzutu dział.
  - c/ Błędy w określeniu i uwzględnieniu średniego dla baterii czasu ładowania dział.
9. Sumaryczne błędy strzelania.

## BŁĘDY STRZELANIA ARTYLERII PRZECIWIOTNICZEJ

### R O Z D Z I A Ł I

#### BŁĘDY STRZELANIA UDERZENIOWEGO ART. PIOT. DO CELÓW POWIETRZNYCH.

##### 1. Charakterystyka błędów strzelania.

Aby zbadać wpływ różnych źródeł błędów na wyniki strzelania, wszystkie błędy strzelania do celów powietrznych artylerii przeciwlotniczej małego kalibru, a co za tym idzie i ich źródła, celowe jest podzielić na oddzielne grupy według następującej zasady: przyczyny powodujące błędy jednej grupy powinny być praktycznie niezależne od przyczyn powodujących błędy innych grup. Umożliwi to rozpatrzeć źródła błędów i ich wpływ na wyniki strzelania oddzielnie. Należy stwierdzić, że taki podział źródeł błędów strzelania jest pewną schematyzacją rzeczywistego systemu błędów. Jednak taka schematyzacja umożliwia stosunkowo łatwe obliczenie sumarycznych błędów strzelania.

Aby uprościć dalsze rozważania będziemy stosowali następującą terminologię. Błędy wynikające z różnych przyczyn, będziemy nazywali błędami takiej to wielkości lub błędami takiego to czynnika, na przykład błędy kąta podniesienia, błędy w określeniu i uwzględnieniu  $\Delta V_{o_{sum}}$ , błędy spowodowane nie uwzględnieniem przesunięcia dział względem środka stanowiska ogniowego itd. Odchylenia pocisków od celu spowodowane podanymi wyżej błędami, będziemy nazywali błędami strzelania. Sumaryczne odchylenia pocisków od celu, spowodowane jednoczesnym wpływem błędów kilku źródeł - sumarycznymi błędami strzelania.

Aby rozwiązać wiele zagadnień, związanych ze strzelaniem trzeba znać charakterystyki prawdopodobieństwowościowe zarówno błędów spowodowanych oddzielnymi przyczynami, jak i błędów sumarycznych strzelania. Charakterystyki te można określić doświadczalnie lub obliczyć.

Doświadczalnie określa się charakterystyki dla konkretnych warunków strzelania. Można je wykorzystać do oceny dokładności pracy kompletu dział i przyrządów. Jednak, opierając się tylko na tych danych, nie zawsze można ustalić wartości błędów, jakie można oczekiwać przy pracy kompletu w warunkach różnych od warunków doświadczenia.

Oprócz tego należy mieć na uwadze, że po pierwsze wykonanie doświadczeń wymaga dużego nakładu środków materialnych i czasu, po drugie - na podstawie wyników doświadczeń nie zawsze można ustalić wewnętrzną treść procesów powstawania i przekształcania się błędów. Dlatego w szeregu przypadków wynika konieczność określania prawdopodobieństwowych charakterystyk drogą obliczeń. Do tego celów wykorzystuje się głównie teorię funkcji przypadkowych, teorię układów śledzących i teorię automatycznej regulacji.

Omówiony sposób określania charakterystyk opiera się tylko na danych doświadczalnych przy wykorzystaniu elementarnych pojęć z teorii funkcji przypadkowych.

Ponieważ przy strzelaniu ze współczesnych kompletów przeciwlotniczych zadanie spotkania rozwiązuje się w sposób ciągły, przez cały czas strzelania, to błędy spowodowane różnymi przyczynami, występujące przy strzelaniu są przypadkowymi funkcjami czasu.

Dla ustalonego momentu czasu dowolną taką funkcję można rozpatrywać jako wielkość przypadkową, której charakterystykami są: nadzieja matematyczna błędu  $m_1$  - błąd systematyczny i błąd średni kwadratowy:  $\sigma_1$  - charakterystyka rozrzutu błędów przypadkowych względem błędu systematycznego. Błędy strzelania także są przypadkowymi funkcjami czasu. Dowolną taką funkcję przypadkową dla ustalonego momentu czasu  $t$  można rozpatrywać jako wektor przypadkowy.

Jako charakterystyki przypadkowego wektora przyjmuje się nadzieję matematyczną przypadkowego wektora  $\bar{Y}_1$  - systematyczny błąd strzelania i odchylenie średnie kwadratowe  $\sigma_1$  - charakterystykę rozrzutu szczególnych wartości wektora

przypadkowego względem systematycznego błędu strzelania. Najpełniejszą charakterystyką każdej funkcji przypadkowej jest prawo rozkładu funkcji. Jednak w praktyce przy badaniu błędów strzelania wystarczy poprzestać na rozpatrzeniu takich charakterystyk funkcji przypadkowych jak: nadzieja matematyczna funkcji przypadkowej, funkcja korelacyjna i korelacyjna funkcja wzajemna.

Charakterystyki prawdopodobieństwowościowe błędów wynikających z różnych źródeł określa się doświadczalnie. Załóżmy, że  $i$ -ta przyczyna powoduje błędy na dwóch kierunkach są przypadkowymi funkcjami czasu  $Y_i/t/$  i  $Z_i/t/$ . Wykonano  $n$  doświadczeń, w wyniku których otrzymano  $n$  realizacji funkcji przypadkowych  $Y_{i,k}/t/$  i  $Z_{i,k}/t/$ , przy czym  $K = 1, 2, 3, \dots, n$ . Wówczas przybliżone wartości prawdopodobieństwowościowych charakterystyk błędów można obliczyć posługując się następującymi wzorami:

1/ Nadzieja matematyczna

$$\left. \begin{aligned} m_{y,i}(t) &= M[Y_i(t)] \approx \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n Y_{i,k}(t) \\ m_{z,i}(t) &= M[Z_i(t)] \approx \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n Z_{i,k}(t) \end{aligned} \right\} \quad /1/$$

2/ Dyspersje

$$\left. \begin{aligned} D_{y,i}(t) &= D[Y_i(t)] \approx \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n [Y_{i,k}(t) - m_{y,i}(t)]^2 \\ D_{z,i}(t) &= D[Z_i(t)] \approx \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n [Z_{i,k}(t) - m_{z,i}(t)]^2 \end{aligned} \right\} \quad /2/$$

3/ Funkcje korelacyjne

$$\left. \begin{aligned} K_{y,i}(t_1, t_2) &= M[\{Y_i(t_1) - m_{y,i}(t_1)\} \{Y_i(t_2) - m_{y,i}(t_2)\}] \approx \\ &\approx \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n [Y_{i,k}(t_1) - m_{y,i}(t_1)] [Y_{i,k}(t_2) - m_{y,i}(t_2)] \end{aligned} \right\} \quad /3/$$

$$\left. \begin{aligned}
 K_{z,i}(t_1, t_2) &= M\left[\{Z_i(t_1) - m_{z,i}(t_1)\}\{Z_i(t_2) - m_{z,i}(t_2)\}\right] \approx \\
 &\approx \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n [Z_{i,k}(t_1) - m_{z,i}(t_1)][Z_{i,k}(t_2) - m_{z,i}(t_2)]
 \end{aligned} \right\} \quad /3/$$

Oczywiście, że przy  $t_1 = t_2 = t$ .  $K_{y,1} /t, t/ = D_{y,1} /t/$   
 i  $K_{z,t} /t, t/ = D_{z,i} /t/$ .

4/ Unormowane funkcje

$$\left. \begin{aligned}
 \rho_{y,i}(t_1, t_2) &= \frac{K_{y,i}(t_1, t_2)}{\sqrt{D_{y,i}(t_1) D_{y,i}(t_2)}} \\
 \rho_{z,i}(t_1, t_2) &= \frac{K_{z,i}(t_1, t_2)}{\sqrt{D_{z,i}(t_1) D_{z,i}(t_2)}}
 \end{aligned} \right\} \quad /4/$$

Przy  $t_1 = t_2 = t$   $\rho_{y,i}(t, t) = \rho_{z,i}(t, t) = 1$ .

5/ Korelacyjne funkcje wzajemne, charakteryzujące związek między funkcjami przypadkowymi  $Y_1/t/$  i  $Z_1/t/$ ,

$$\left. \begin{aligned}
 K_{y,i}(t_1, t_2) &= M\left[\{Y_i(t_1) - m_{y,i}(t_1)\}\right] \approx \\
 &\approx \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n [Y_{i,k}(t_1) - m_{y,i}(t_1)][Z_{i,k}(t_2) - m_{z,i}(t_2)] \\
 K_{zy,i}(t_1, t_2) &= M\left[\{Z_i(t_1) - m_{z,i}(t_1)\}\{Y_i(t_2) - m_{y,i}(t_2)\}\right] \approx \\
 &\approx \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n [Z_{i,k}(t_1) - m_{z,i}(t_1)][Y_{i,k}(t_2) - m_{y,i}(t_2)]
 \end{aligned} \right\} \quad /5/$$

Oczywiście, że przy  $t_1 = t_2 = t$

$$K_{y,z,i}(t,t) = K_{z,y,i}(t,t) = D_{y,z,i}(t)$$

6/ Unormowane funkcje korelacyjne wzajemne.

$$\left. \begin{aligned} \rho_{yz,i}(t_1, t_2) &= \frac{K_{yz,i}(t_1, t_2)}{\sqrt{D_{y,i}(t_1) D_{z,i}(t_2)}} \\ \rho_{zy,i}(t_1, t_2) &= \frac{K_{zy,i}(t_1, t_2)}{\sqrt{D_{z,i}(t_1) D_{y,i}(t_2)}} \end{aligned} \right\}$$

161

Przy  $t_1 = t_2 = t$   $\rho_{yz,i}(t,t) = \rho_{zy,i}(t,t)$ , jeżeli przy wszystkich

$t_1, t_2$   $\rho_{yz,i}(t_1, t_2) = \rho_{zy,i}(t_1, t_2) = 0$  - 0, a co za tym idzie

i  $K_{zy,i}(t_1, t_2) = K_{yz,i}(t_1, t_2) = 0$  - 0, to funkcje przypadkowe

$Y_1/t/$  i  $Z_1/t/$  nie są ze sobą związane. Na przykład, taki przypadek może mieć miejsce, gdy kierunki  $y$  i  $z$  pokrywają się z kierunkami głównych osi jednostkowej elipsy prawa błędów, spowodowanych i-tą przyczyną.

W czasie strzelania wszystkie źródła błędów działają jednocześnie, powodując sumaryczne błędy strzelania.

Założmy, że jest  $\sigma$  niezależnych źródeł błędów, z których każde wywołuje na kierunkach  $y$  i  $z$  błędy strzelania, będące funkcjami przypadkowymi czasu  $Y_1/t/$  i  $Z_1/t/$ . Wówczas sumaryczne błędy na tych kierunkach będą także przypadkowymi funkcjami czasu

$$Y(t) = \sum_{i=1}^{\sigma} y_i(t) \quad i \quad Z(t) = \sum_{i=1}^{\sigma} z_i(t) \quad (7)$$

Przybliżone wartości prawdopodobieństwowościowych charakterystyk funkcji przypadkowych Y/t/ i Z/t/ oblicza się ze wzorów:

- nadzieje matematyczne

$$m_y(t) = \sum_{i=1}^r m_{y,i}(t) \quad i \quad m_z(t) = \sum_{i=1}^r m_{z,i}(t) ; \quad /8/$$

- funkcje korelacyjne

$$K_y(t_1, t_2) = \sum_{i=1}^r K_{y,i}(t_1, t_2) \quad i \quad K_z(t_1, t_2) = \sum_{i=1}^r K_{z,i}(t_1, t_2) ; \quad /9/$$

- funkcje korelacyjne wzajemne

$$K_{yz}(t_1, t_2) = \sum_{i=1}^r K_{yz,i}(t_1, t_2) \quad i \quad K_{zy}(t_1, t_2) = \sum_{i=1}^r K_{zy,i}(t_1, t_2). \quad /10/$$

Mając korelacyjne funkcje  $K_y/t_1, t_2/$ ,  $K_z/t_1, t_2/$  i funkcje korelacyjne wzajemne  $K_{yz}/t_1, t_2/$  łatwo określić pozostałe charakterystyki funkcji przypadkowych Y/t/ i Z/t/. Kładąc  $t_1 = t_2 = t$ , otrzymamy dyspersje  $D_y/t/ = K_y/t, t/$  i  $D_z/t/ = K_z/t, t/$ . Znając dyspersje, można przejść do błędów średnich kwadratowych

$$\sigma_y(t) = \sqrt{D_y(t)} \quad i \quad \sigma_z(t) = \sqrt{D_z(t)}. \quad /11/$$

Unormowane funkcje korelacyjne i unormowane funkcje korelacyjne wzajemne oblicza się ze wzorów

$$\rho_y(t_1, t_2) = \frac{K_y(t_1, t_2)}{\sigma_y(t_1) \sigma_y(t_2)} \quad i \quad \rho_z(t_1, t_2) = \frac{K_z(t_1, t_2)}{\sigma_z(t_1) \sigma_z(t_2)}$$

$$\rho_{yz}(t_1, t_2) = \frac{K_{yz}(t_1, t_2)}{\sigma_y(t_1) \sigma_z(t_2)} \quad i \quad \rho_{zy}(t_1, t_2) = \frac{K_{zy}(t_1, t_2)}{\sigma_z(t_1) \sigma_y(t_2)} \quad /12/$$

/13/

Przy  $t_1 = t_2 = t$   $\rho_{yy}/t, t/ = \rho_{zz}/t, t/ = 1$ .

i  $\rho_{yz}/t, t/ = \rho_{zy}/t, t/$  - współczynnik korelacji między wielkościami przypadkowymi, w które przekształcają się funkcje przypadkowe  $Y/t/$  i  $Z/t/$ , przy ustalonej wartości  $t$ .

W większości przypadków rozrzut błędów przypadkowych w dowolnym momencie czasu  $t$  podlega prawu normalnemu. Dla charakterystyki błędów przypadkowych często wykorzystuje się błędy środkowe na odpowiednich kierunkach

$$E_y(t) = \rho \sqrt{2} \sigma_y(t) \quad i \quad E_z(t) = \rho \sqrt{2} \sigma_z(t) \quad /14/$$

Jeśli strzelanie składa się z  $n$  strzałów, to błędy strzelania mogą być ze sobą niezwiązane, albo związane funkcjonalnie, albo związane ogólną zależnością korelacyjną. Niezwiązane błędy strzelania nazywa się indywidualnymi lub niepowtarzającymi się. Istnienie tych błędów strzelania powoduje rozrzut tylko oddzielnych strzałów.

Błędy strzelanie związane funkcjonalnie nazywają się grupowymi, lub powtarzającymi się. Znajac wartość powtarzającego się błędu strzelania dla dowolnego strzału można określić wartość tego błędu dla dowolnego innego strzału. W szczególnym przypadku mogą one być jednakowe dla wszystkich strzałów. Oczywiście, że powtarzające się błędy powodują rozrzut nie oddzielnych strzałów a kilku strzałów. Dla błędów strzelania, związanych ogólną zależnością korelacyjną, wartość współczynnika korelacji zależy od odstępu czasu między strzałami. Te błędy strzelania niekiedy nazywa się dynamicznymi. Błędy o wspólnej zależności korelacyjnej odpowiadają przypadkowi związku między strzałami ciągle zmieniającemu się w czasie strzelania. One tak samo jak i powtarzające się błędy powodują rozrzut torów kilku strzałów, chociaż ten wpływ będzie bardziej skomplikowany.

## 2. Błędy strzelania z PUAZO

Wszystkie błędy strzelania artylerii przeciwlotniczej małego kalibru do celów powietrznych z PUAZO można podzielić na następujące niezależne do siebie grupy: błędy wypracowania przez komplet nastaw do strzelania; błędy w określeniu i uwzględnieniu odchyłek warunków strzelania tabelarycznych; błędy w przygotowaniu sprzętu i amunicji do strzelania, błędy spowodowane technicznym rozrzutem torów pocisków. Każdą z wymienionych grup można jeszcze podzielić na mniejsze grupy lub oddzielne źródła błędów. Ponieważ błędy stanowiące jedną grupę, praktycznie nie są związane z błędami pozostałych grup, to wpływ błędów każdej grupy na wyniki strzelania można rozpatrywać oddzielnie, niezależnie od błędów pozostałych grup.

### A. Błędy w wypracowaniu przez komplet nastaw do strzelania.

Przy strzelaniu na działach nastawia się azymut wyprzedzony i kąt podniesienia. Podczas wypracowania przez komplet azymutu wyprzedzonego i kąta podniesienia popełnia się błędy, które w określony sposób wpływają na wyniki strzelania.

Zasadniczymi przyczynami błędów w wypracowaniu przez komplet nastaw strzelania są błędy w określeniu i uwzględnieniu na PUAZO bieżących współrzędnych celu, błędy hipotezy ruchu celu, błędy PUAZO jako maszyny matematycznej i błędy wynikające podczas przekazywania azymutu wyprzedzonego i kąta podniesienia z PUAZO na działa. Do PUAZO wprowadza się odległość rzeczywistą  $D$ , azymut  $\alpha$  i kąt położenia celu  $p$ . Określanie i wprowadzanie do PUAZO bieżących współrzędnych celu jest podstawowym źródłem błędów strzelania artylerii przeciwlotniczej małego kalibru. Dokładność pomiaru bieżących współrzędnych zależy od sposobu ich określania. Z doświadczeń wynika, że w warunkach dobrej widoczności dalmierz dokładniej określa współrzędne katowe /azymut i kąt

położenia/ szczególnie przy strzelaniu do celu grupowego. Natomiast odległość rzeczywistą dokładniej określa stacja radiolokacyjna.

Na rys. 1 przedstawiono wykresy błędów średnich kwadratowych w określeniu bieżących współrzędnych pojedynczego i grupowego celu, za pomocą SON-9 i dalmierza D-49. Na osi odciętych odłożono czas lotu celu od parametru do danego punktu na kursie, a na osiach rzędnych wielkości błędów średnich kwadratowych azymutu  $\sigma_{\beta}$  /t/, kąta położenia  $\sigma_{\rho}$  /t/ i odległości rzeczywistej  $\sigma_D$  /t/.

Na wykresach oznaczono: ciągła krzywa - dla SON-9 przy strzelaniu do pojedynczego celu, przerywana - dla SON-9 przy strzelaniu do grupowego celu i przerywana z kropkami - dla dalmierza D-49 przy strzelaniu do celu pojedynczego.

Na dokładność określenia bieżących współrzędnych za pomocą SON wpływa zmiana parametrów układów elektrycznych, rodzaj pracy, dokładność strojenia stacji przed pracą, charakter celu, warunki jego lotu itp.

Nadzieje matematyczne funkcji przypadkowych błędów bieżących współrzędnych z regułą są różne do zera, to jest występują systematyczne błędy przy określaniu bieżących współrzędnych, zarówno za pomocą RSA jak i dalmierza. Na rys. 2 przedstawiono błędy systematyczne w określeniu bieżącej odległości rzeczywistej  $m_D$  /t/, azymut  $m_{\beta}$  /t/ i kąta położenia  $m_{\rho}$  /t/ dla warunków przyjętych na poprzednim wykresie. Z wykresów wynika, że przy określaniu azymutu za pomocą stacji radiolokacyjnej błędy systematyczne posiadają pozostający charakter, co szczególnie się stwierdza przy prowadzeniu celu grupowego, natomiast przy określaniu azymutu za pomocą dalmierza błędów systematycznych praktycznie nie ma.

Przy określaniu kąta położenia za pomocą SON błędy systematyczne także posiadają pozostający charakter zarówno przed parametrem jak i za parametrem, a przy określaniu kąta położenia za pomocą dalmierza błędy systematyczne za parametrem stają się wyprzedzające.



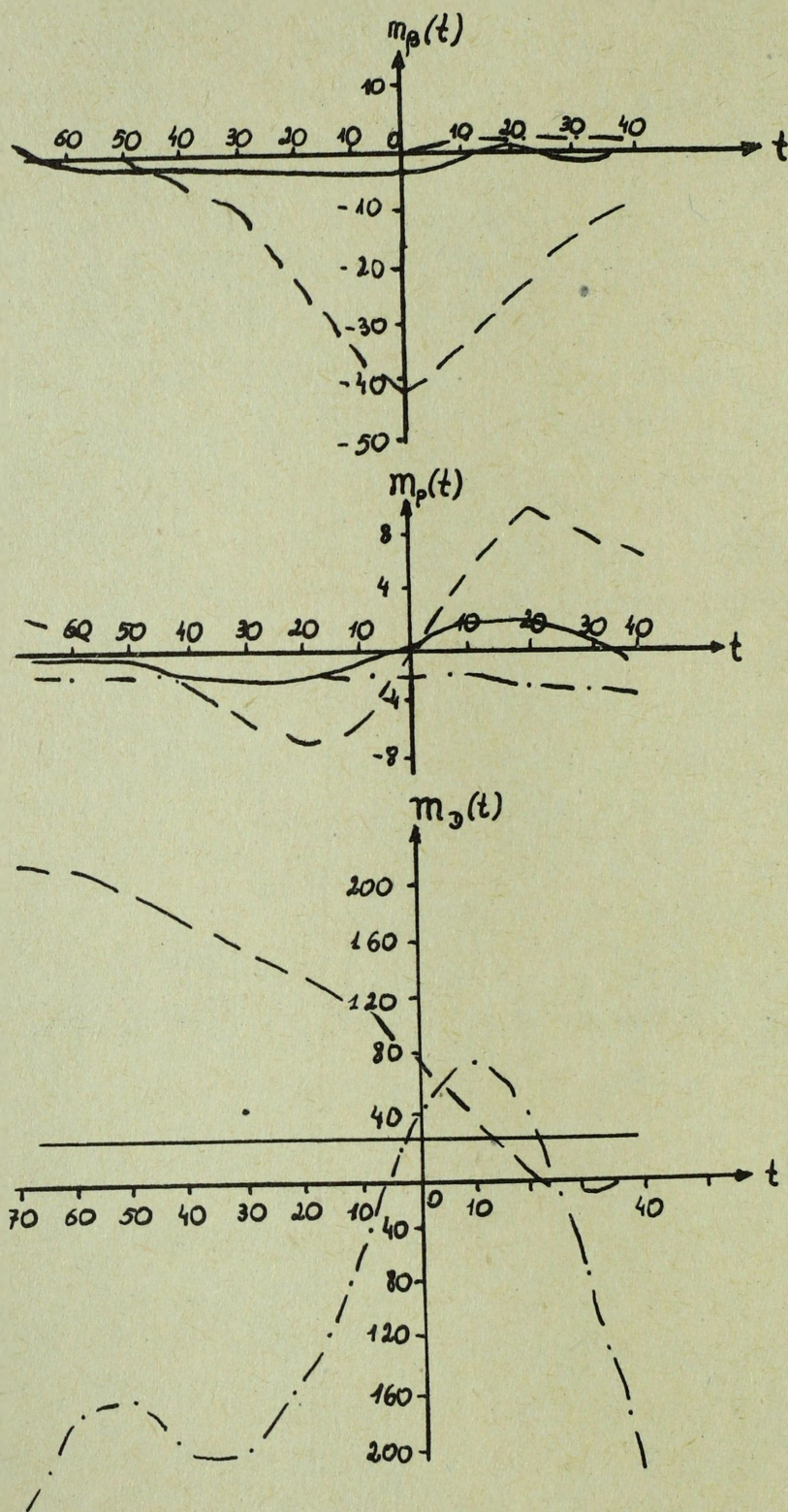
Błędy systematyczne w określeniu odległości dalmierzem są znacznie większe od błędów systematycznych RSA, co wskazuje na niecelowość określania odległości dalmierzem, jeśli to można zrobić za pomocą RSA. Zależność między błędami bieżących współrzędnych wzrasta w miarę zmniejszania odstępu czasu  $\Delta t = t_2 - t_1$  i ze wzrostem  $\Delta t$  zmniejsza się. Praktycznie można przyjąć, że przy określaniu bieżących współrzędnych za pomocą stacji radiolokacyjnej zależność między błędami staje się znikomo mała przy  $\Delta t = 3 \text{ \& } 4$  sek, przy tym ze wzrostem prędkości samolotu stopień związku błędów zmniejsza się.

Jak wynika z doświadczeń, przy określaniu współrzędnych za pomocą dalmierza D-49 stopień związku błędów jest większy, przy czym, ze wzrostem prędkości celu stopień związku błędów współrzędnych katowych zmniejsza się, a dla błędów odległości pozostaje mniej więcej jednakowy.

Przy wprowadzaniu bieżących współrzędnych z dalmierza D-49 zależność między błędami staje się znikomo mała, /współczynnik korelacji mniejszy od 0,2/: dla błędów azymutu mniej więcej przy  $\Delta t \geq 10 \div 15$  sek, dla błędów kąta położenia przy  $\Delta t \geq 15 \div 20$  sek, a dla błędów odległości przy  $\Delta t \geq 8 \div 10$  sek.

Z tego wynika, że największa zależność błędów występuje przy pracy PUAZO według danych dalmierza gdy prędkości celu są nieduże, najmniejsza - przy pracy PUAZO według danych RSA i dużych prędkościach celów.

Zależność między błędami w różnych momentach czasu objaśnia się istnieniem określonej inercji w pracy w różnych układów śledzących przyrządu i reagowaniem celowniczych i dalmierzystów. Im większa jest ta inercja, tym dłużej i wydatniej wpływa błąd, popełniony w pewnym momencie czasu, na wielkości błędów, popełnionych w następnych momentach czasu.



Rys.2. Wykresy błędów systematycznych w określaniu bieżących współrzędnych.

Błędy hipotezy, lub błędy wynikające na skutek założeń odnośnie charakteru ruchu celu w czasie wyprzedzenia, powstają dlatego, że cel w czasie lotu pocisku porusza się niezgodnie z zasadą przyjętą przy rozwiązaniu zadania spotkania przez PUAZO /ruch prostoliniowy i jednostajny w dowolnej płaszczyźnie/.

Niezgodność ruchu celu z przyjętą hipotezą powoduje błędy strzelania na jednym, lub kilku kierunkach: wzdłuż kierunku kursu na skutek niestałej prędkości celu; wzdłuż prostopadłej do kursu celu w płaszczyźnie poziomej na skutek zmienności kąta drogi; wzdłuż prostopadłej do kursu w płaszczyźnie pionowej na skutek zmienności kąta nachylenia kursu celu względem poziomu.

Nadzieje matematyczne funkcji przypadkowych błędów hipotezy równe są zeru tj. w danym przypadku nie ma systematycznych błędów strzelania.

Na podstawie doświadczeń otrzymano dla średnich kwadratowych odchyleń tras, spowodowanych błędami hipotezy, następujące zależności empiryczne:

$$\left. \begin{aligned} \delta'_v &= 0,0255 / 1 + K/t^2 \\ \delta'_q &= / 0,0089 + 0,001 \tau_0 / v_c \cdot t \\ \delta'_\lambda &= 12 \text{ m} \end{aligned} \right\} \quad /15/$$

gdzie  $\tau_0$  - czas obserwacji w sekundach;

$t$  - czas wyprzedzenia w sekundach;

0,0255 m/sek<sup>2</sup>, 0,001  $\frac{1}{\text{sek}}$ , 0,0089 - współczynniki, otrzymane doświadczalnie;

$$K = -\frac{\tau_0}{t}$$

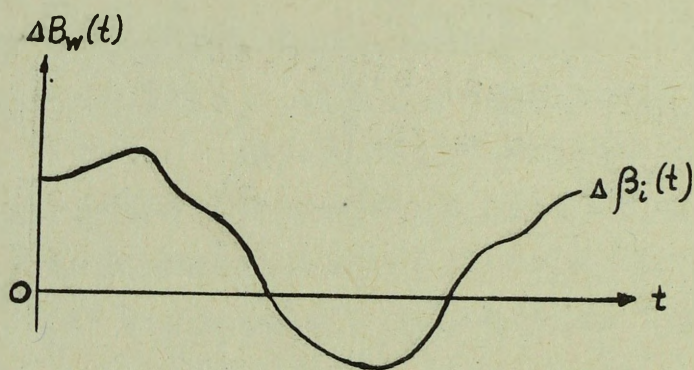
Błędy PUAZO jako maszyny matematycznej spowodowane są głównie różnymi tolerancjami w schematach przyrządów i wahaniem parametrów tych schematów.

Błędy przy przekazywaniu na działa wyprzedzonych wartości azymutu i kąta podniesienia, wypracowanych przez PUAZO, wynikają na skutek rozstrojenia napędów w czasie strzelania.

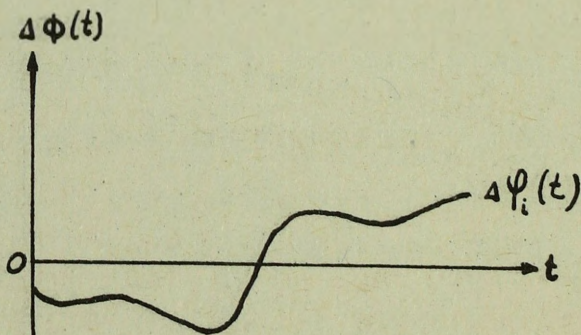
Wielkości tych błędów zależą głównie od prędkości kąto-  
wych naprowadzenia działa i od rodzaju automatycznego og-  
nia. Ze wzrostem prędkości kątowych i długości serii błędy  
powiększają się.

W czasie strzelania wszystkie wymienione źródła błę-  
dów działają jednocześnie powodując sumaryczne błędy nastaw  
do strzelania.

Oznaczmy  $\Delta B_w / t /$  przypadkową funkcję błędów w okre-  
śleniu azymutu wyprzedzonego i  $\Delta \Phi / t /$  przypadkową funk-  
cję błędów kąta podniesienia. Możliwe realizacje danych  
funkcji przypadkowych przedstawione są na rys.3 i 4.



Rys.3. Realizacja funkcji  
przypadkowej  $\Delta B_w / t /$



Rys.4. Realizacja funkcji przy-  
padkowej  $\Delta \Phi / t /$ .

Z obszernego materiału doświadczalnego wynika, że nadzieje matematyczne  $m_{\beta_w}/t/$  i  $m_{\varphi}/t/$  funkcji przypadkowych wypracowania nastaw do strzelania nie są równe zeru; to wskazuje na istnienie systematycznych błędów w nastawach do strzelania wypracowanych przez komplet.

Zasadniczym źródłem błędów systematycznych nastaw do strzelania są błędy systematyczne, występujące przy określaniu bieżących współrzędnych celu.

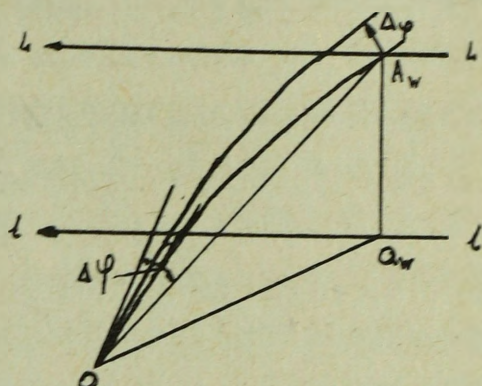
Przy strzelaniu do celów grupowych błędy systematyczne będą większe, oprócz tego wartości błędów powiększają się przy wzroście prędkości kątowych celu.

W wyniku istnienia systematycznych błędów nastaw do strzelania, w czasie strzelania będą występowały błędy systematyczne  $r_{\beta_w}/t/$  i  $r_{\varphi}/t/$ .

Możliwe realizacje funkcji przypadkowych  $\Delta\beta_w/t/$  i  $\Delta\varphi/t/$ , otrzymane doświadczalnie w określony sposób grupują się w okół swoich nadziei matematycznych  $m_{\beta_w}/t/$  i  $m_{\varphi}/t/$ . Wielkości charakterystyk tego rozrzutu zależą od wielu czynników, w szczególności od warunków lotu celu  $/H, P, V_c/$ , sposobu określania i uwzględniania w PUAZO bieżących współrzędnych celu, położenia celu na kursie. Znajdziemy zależność między błędami nastaw do strzelania i odpowiadającymi im błędami strzelania.

Załóżmy, że w ustalonym momencie czasu, któremu odpowiada moment oddania strzału popełniono błąd w kącie podniesienia  $\Delta\varphi$ , a innych błędów nie ma. Gdyby nie było błędu  $\Delta\varphi$  oraz innych błędów, to pocisk przeszedłby przez punkt wyprzedzony  $\Delta_w$ , tj. nie byłoby żadnego odchylenia toru od celu /rys.5/.

Rys.



Rys. 5. Odchylenie toru pocisku celu spowodowane błędem kąta podniesienia

Jeśli istnieje tylko błąd kąta podniesienia  $\Delta\varphi$  : /załóżmy dodatni/, to tor przejdzie ponad punktem wyprzedzonym  $A_w$  i w czasie  $t$ , równym czasowi lotu pocisku do punktu wyprzedzonego  $A_w$ , uchyli się od celu wzdłuż kierunku, mniej więcej prostopadłego do odległości rzeczywistej, o wielkość  $\Delta\varphi$ . Mówiąc ściśle, punkt C będzie leżał na izochronie, odpowiadającej czasowi lotu pocisku do punktu wyprzedzonego; tą izochronę na niedużym odcinku można przyjąć za linię prostą, mniej więcej prostopadłą do  $D_w$  /dokładniej - do wektora prędkości początkowej pocisku/.

Wielkość liniowego odchylenia toru od celu na skutek błędu katowego  $\Delta\varphi$  oblicza się ze wzoru

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi \cdot l_\varphi$$

/16/

gdzie  $l_\varphi$  - wielkość liniowego odchylenia wzdłuż odpowiedniej izochrony przy zmianie kąta podniesienia o 0-01 /uchylenie podane jest w tabelach strzelniczych/;

$\Delta\varphi$  - wielkość błędu kąta podniesienia, wyrażona w tysięcznych.

Jednak z wystarczającą dla praktyki dokładnością można przyjąć że:

$$\Delta\varphi = \Delta\psi \cdot D_w \quad /16/$$

gdzie  $\Delta\psi$  - wielkość błędu kąta podniesienia, wyrażona w radianach.

W ten sposób, przy istnieniu błędów kąta podniesienia w ustalonych momentach czasu tory będą się odchylały od celu w płaszczyźnie strzelania wzdłuż kierunku, mniej więcej prostopadłego do odległości rzeczywistej, przy czym przy dodatnim błędzie  $\Delta\psi$  - tory przejdą nad celem, przy błędzie ujemnym - pod celem.

Rozpatrzony błąd  $\Delta\psi$  jest jedną ze szczególnych wartości wielkości przypadkowej - błędu kąta podniesienia dla ustalonego momentu. Zatem i obliczone ze wzoru /2/ odchylenie  $\Delta\varphi$  jest także szczególną wartością przypadkowego wektora - odchylenia pocisku od celu. Nadzieję matematyczną danego przypadkowego wektora - systematyczny błąd strzelania  $r_\varphi$  dla ustalonego momentu czasu oblicza się ze wzoru

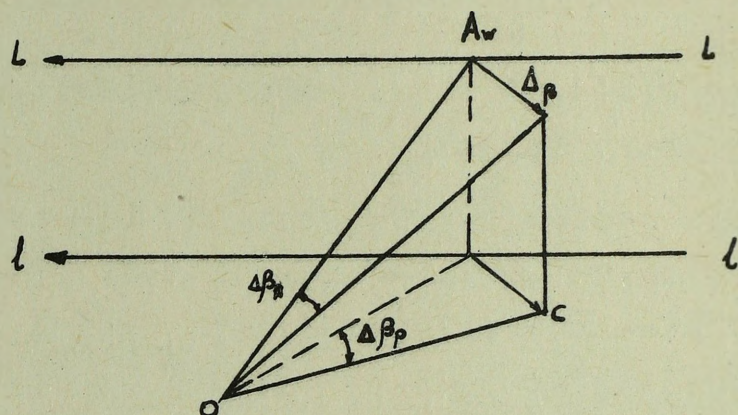
$$r_\varphi = m_\varphi \cdot D_w \quad /17/$$

gdzie  $m_\varphi$  - błąd systematyczny kąta podniesienia wyrażony w radianach.

Rozrzut szczególnych wartości przypadkowego wektora względem jego nadziei matematycznej dla ustalonego czasu charakteryzuje średnie kwadratowe odchylenie

$$S_\varphi = \sigma_\varphi \cdot D_w \quad /18/$$

Jeżeli przeprowadzimy analogiczne rozważania co do wpływu błędów w wypracowaniu azymutu wyprzedzonego w płaszczyźnie pochyłej  $\Delta\beta_H$  lub poziomej  $\Delta\beta_P$ , między którymi istnieje zależność  $\Delta\beta_H = \Delta\beta_P \cdot \cos p_w$ , to otrzymamy następujące wnioski /rys.6/.



Rys.6. Odchylenie toru pocisku od celu  $\Delta\beta$ , spowodowane błędem azymutu  $\Delta\beta$ .

Na skutek istnienia błędu w azymucie wyprzedzonym w rejestrowaniu momencie czasu, tor odchyli się od celu na kierunku prostopadłym do odległości do punktu wyprzedzonego w płaszczyźnie poziomej o wielkość

$$\Delta\beta_w = \Delta\beta_H \cdot D_w = \Delta\beta_P \cdot D_{pw} \quad /19/$$

gdzie  $\Delta\beta_H$  ( $\Delta\beta_P$ ) - wielkość błędu w wypracowaniu azymutu w pochyłej /poziomej/ płaszczyźnie, wyrażona w radianach.

Błąd systematyczny strzelania  $r_{\beta_w}$ , odpowiadający błędowi systematycznemu w wypracowaniu azymutu wyprzedzonego  $m_{\beta_w}$ , będzie się równał

$$r_{\beta_w} = m_{\beta_w} \cdot D_{pw}, \quad /20/$$

a odchylenie średnie kwadratowe

$$s_{\beta_w} = \sigma_{\beta_w} \cdot D_{pw} \quad /21/$$

## B. Błędy w określeniu i uwzględnieniu odchyłek warunków strzelania od tabelarycznych.

Przy określaniu i uwzględnianiu odchyłek warunków strzelania od tabelarycznych popełnia się błędy, które wpływają na wyniki strzelania.

Do błędów w określeniu i uwzględnieniu odchyłek balistycznych i meteorologicznych warunków strzelania zalicza się błędy w określeniu i uwzględnieniu sumarycznej odchyłki prędkości początkowej pocisków, sumarycznej balistycznej odchyłki gęstości powietrza, wiatru balistycznego oraz błędy spowodowane nie uwzględnieniem w artylerii przeciwlotniczej małego kalibru szeregu odchyłek balistycznych i meteorologicznych warunków strzelania, na przykład odchyłki ciężaru pocisku i innych.

Jak wynika z doświadczeń, błędy spowodowane nie uwzględnieniem w artylerii przeciwlotniczej małego kalibru szeregu drugorzędnych odchyłek warunków balistycznych i meteorologicznych powodują pewne obniżenie skuteczności strzelania, jednak ich wpływ w porównaniu z wpływem zasadniczych źródeł błędów jest nieznaczny i praktycznie można go nie brać pod uwagę.

Odchyłki balistycznych i meteorologicznych warunków strzelania, uwzględniane w artylerii przeciwlotniczej określają się i nastawia na PUAZO przed strzelaniem. Jeśli nastawione na PUAZO to lub inne odchylenie zawiera błąd, to zarówno wielkość, jak i znak błędu nie zmienia się w przeciągu całego strzelania.

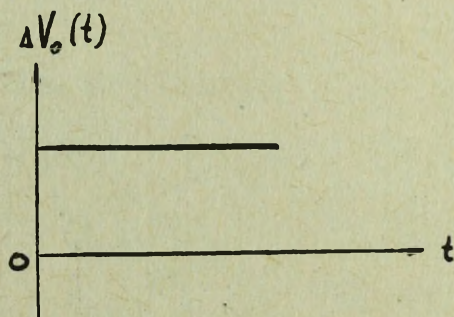
Podczas ponownego określania odchyłek warunków strzelania popełni się inne błędy. Z tego wynika, że błędy w określeniu odchyłek balistycznych i meteorologicznych mogą posiadać różne wartości, których zawczasu nie można ustalić.

W ogólnym przypadku, błędy w określeniu i uwzględnieniu odchyłek warunków balistycznych i meteorologicznych można rozpatrywać jako przypadkowe funkcje czasu. Jednak w czasie jednego strzelania, które jest krótkotrwałe można nie uwzględniać zmiany balistycznych i meteorologicznych

warunków strzelania. Wówczas konkretne postacie funkcji przypadkowych błędów, w określeniu i uwzględnieniu odchyłek balistycznych i meteorologicznych warunków strzelania będą równoległe do osi odciętych. To pozwala uważać błędy popełnione w ustalonych momentach czasu  $t_1$  i  $t_2$  za związane ze sobą zależnością funkcjonalną, tj. współczynnik korelacji, charakteryzujący zależność między błędami, dla dowolnego czasu  $t = t_2 - t_1$  będzie równy jedności. Takie błędy przypadkowe nazywa się błędami powtarzającymi się, ponieważ są one stałe dla wszystkich strzałów danego strzelania a nawet szeregu strzelań dopóki nie obliczy się ponownie odchyłek warunków strzelania od tabelarycznych.

Na rys.7 przedstawiono przykładowo konkretną postać funkcji przypadkowej  $\Delta V_0/t/$ , błędów w określeniu i uwzględnieniu  $\Delta V_{0\text{sum}}$ .

Na podstawie opracowania materiałów doświadczalnych można stwierdzić, że nadzieje matematyczne funkcji przypadkowych błędów w określeniu i uwzględnieniu odchyłek warunków balistycznych i meteorologicznych w dowolnym momencie czasu są równe zeru.



Rys.7. Realizacja funkcji przypadkowej  $\Delta V_0 /t/$ .

Oznacza to, że istniejące metody określania i uwzględniania odchyłek warunków balistycznych i meteorologicznych nie są obciążone błędami systematycznymi.

Do zasadniczych błędów w uwzględnieniu topograficznych warunków strzelania zalicza się błędy w określeniu i uwzględnieniu składowych podstawy oraz błędy spowodowane nie uwzględ-

nieniem przesunięcia dział względem środka stanowiska ogniowego.

Błędów w określeniu wielkości podstawy, na skutek ich nieznacznego wpływu można nie uwzględniać.

Jak wynika z doświadczeń, błędy w określeniu podstawy podlegają prawu kołowemu. przy czym promień jednostkowego koła równy jest  $1 \div 1,4$  m. Takie błędy powodują nieznaczne odchylenia tras od celu.

Natomiast błędy spowodowane nieuwzględnieniem przesunięcia dział baterii względem środka SO powodują istotne błędy strzelania zarówno wzdłuż kierunku odległości poziomej jak i wzdłuż kierunku bocznego.

1/ Błędy w określeniu i uwzględnieniu  $\Delta V_{0\text{sum}}^{x/}$ .

Na podstawie dużej ilości strzelań, wykonanych w analogicznych warunkach ustalono, że rozrzut błędów przypadkowych w określeniu i uwzględnieniu  $\Delta V_{0\text{sum}}$  podlega normalnemu prawu o błędzie średnim kwadratowym.

$$\sigma_{\Delta V_{0\text{sum}}} = (0,7 \div 0,9) \% V_0.$$

Błędy w określeniu i uwzględnieniu  $\Delta V_{0\text{sum}}$  wpływają na określenie kąta celownika  $\epsilon$  i czasu lotu pocisku  $t$  do punktu wyprzedzonego.

Z tego wynika, że błąd przypadkowy w określeniu i uwzględnieniu sumarycznej odchyłki prędkości początkowej pocisku powoduje dwa błędy przypadkowe: błąd w określeniu kąta celownika  $\Delta \epsilon / V_0 /$  i błąd w określeniu czasu lotu pocisku

$\Delta t / V_0 /$ . Błędy te zależne są od siebie, ponieważ powoduje je ta sama przyczyna.

---

x/ Charakter wpływu błędów w określeniu i uwzględnieniu  $\Delta G_{\text{sum}}$  jest analogiczny, dlatego oddzielnie się go nie rozpatruje.

Przy dodatnim błędzie przypadkowym  $\Delta C/V_0$ , tery pocisku przejdą nad celem, przy czym wielkość odchylenia będzie równa.

$$\Delta c_{(V_0)} = \Delta C_{(V_0)} \cdot D_w \quad /22/$$

gdzie  $\Delta C/V_0$  - błąd kąta celownika wyrażony w radianach.

Przypadkowe odchylenie  $\Delta c/V_0$  skierowane jest wzdłuż prostopadłej do odległości punktu wyprzedzonego w płaszczyźnie pionowej.

Błąd przypadkowy czasu lotu pocisku  $\Delta t/V_0$  wpływa w ten sposób, że w momencie, gdy pocisk osiągnie punkt wyprzedzony  $\Delta w$  samolotu jeszcze w tym punkcie nie będzie, lub samolot przejdzie przez punkt wyprzedzony i oddali się od niego o odcinek kursu.

$$\Delta t_{(V_0)} = V_c \cdot \Delta t_{(V_0)} \quad /23/$$

gdzie  $V_c$  - prędkość samolotu w m/sek.

Wielkości błędów  $\Delta c/V_0$  i  $\Delta t/V_0$  określa się za pomocą tabel strzelniczych na podstawie błędu  $\Delta V_0$ . Z tabel strzelniczych dla określonej wysokości  $H$  i odległości poziomej  $D_{pw}$  bierze się kąt celownika  $c$  i czas lotu  $t$ .

$$c = f_1(H, D_{pw}) \quad \text{i} \quad t = f_2(H, D_{pw})$$

Następnie oblicza się

$$\Delta D_{p(V_0)} = \Delta V_0 \cdot \Delta D_{p(V_0), tab} \quad ;$$

$$\Delta H_{(V_0)} = \Delta V_0 \cdot \Delta H_{(V_0), tab} \quad ,$$

gdzie  $\Delta H_{(V_0), tab}$  i  $\Delta D_{p(V_0), tab}$

- tabelarne poprawki odległości poziomej i wysokości, odpowiadające zmianie prędkości początkowej o 1%  $V_0$ .

Następnie w tabelach strzelniczych odnajdujemy

$$c' = f_1 (D_{pw} + \Delta D_p(v_0), H + \Delta H(v_0)),$$

$$t' = f_2 (D_{pw} + \Delta D_p(v_0), H + \Delta H(v_0)).$$

Wówczas wielkości błędów kąta celownika i czasu lotu będą równe:

$$\Delta c(v_0) = c' - c,$$

$$\Delta t(v_0) = t' - t.$$

Przy rozpatrywaniu dostatecznie dużej ilości strzelań wykonywanych w analogicznych warunkach, dla ustalonego momentu czasu, rozrzut przypadkowych błędów strzelania, spowodowanych błędami  $\Delta V_{0\text{sum}}$  można scharakteryzować za pomocą odchyleń średnich kwadratowych

$$\left. \begin{aligned} \delta_{c(v_0)} &= \sigma_{c(v_0)} \cdot D_w \\ \delta_{t(v_0)} &= \sigma_{t(v_0)} \cdot V_c \end{aligned} \right\} \quad /24/$$

gdzie  $\sigma_{c(v_0)}$ ,  $\sigma_{t(v_0)}$  - średnie kwadratowe błędy, charakteryzujące rozrzut błędów kąta celownika  $\Delta c(v_0)$  i czasu lotu pocisku  $\Delta t(v_0)$ : wartości  $\sigma_{c(v_0)}$  określa się za pomocą tabel strzelniczych, tak samo jak błędy  $\Delta c(v_0)$  i  $\Delta t(v_0)$ , tylko zamiast błędu przypadkowego  $\Delta V_0$  trzeba brać błąd średni kwadratowy  $\sigma_{V_{0\text{sum}}}$ .

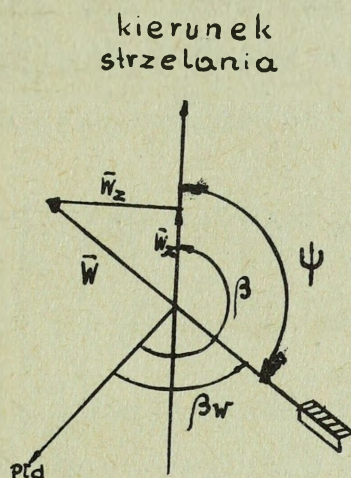
Średnie kwadratowe odchylenie  $\delta_{c(v_0)}$  skierowane jest wzdłuż prostopadłej do  $D_w$  w płaszczyźnie pionowej, a  $\delta_{t(v_0)}$  - wzdłuż kursu celu.

2. Błędy w określeniu i uwzględnieniu wiatru balistycznego

Prędkość i kierunek wiatru balistycznego określa stacja meteorologiczna na podstawie wyników sondowania atmosfery. Zarówno sondowanie atmosfery, jak i obliczanie wiatru balistycznego obarczone jest błędami. Aby zbadać wpływ błędu w określeniu wielkości i kierunku wiatru trzeba rozłożyć wektor wiatru na składową wzdłużną i boczną. Wielkości składowych zależne są od kierunku wektora wiatru balistycznego względem płaszczyzny strzelania. Błędy w określeniu każdej ze składowych podlegają prawu normalnemu o jednakowych co do wielkości błędach średnich kwadratowych  $\sigma_{w_x}$  i  $\sigma_{w_z}$ . Można więc przyjąć, że błędy w określeniu i uwzględnieniu wiatru balistycznego podlegają prawu kołowemu, przy czym promień koła jednostkowego

$$\sigma_w = \sigma_{w_x} = \sigma_{w_z} .$$

Rozpatrzmy wpływy błędów przypadkowych w określeniu i uwzględnieniu wiatru balistycznego na wyniki strzelania. Będziemy oddzielnie rozpatrywali wpływ błędów w określeniu i uwzględnieniu bocznej i wzdłużnej składowej wiatru balistycznego, zakładając, że innych błędów nie ma. Założymy, że prędkość wiatru określono z błędem przypadkowym  $\Delta w$ , natomiast kierunek wiatru uwzględniono prawidłowo. Błąd  $w$  można rozłożyć na składowe  $\Delta w_x$  i  $\Delta w_z$ , które oblicza się ze wzorów /rys.8/.



Rys.8. Składowe wiatru balistycznego

$$\Delta W_x = -\Delta W \cdot \cos \psi$$

/25/

$$\Delta W_z = \Delta W \cdot \sin \psi$$

gdzie  $\psi$  - kąt wiatru.

Kątem wiatru  $\psi$  nazywa się kąt w płaszczyźnie poziomej zawarty między kierunkiem strzelania i kierunkiem, skąd wieje wiatr. Kąt wiatru mierzy się od kierunku strzelania zgodnie z ruchem wskazówki zegara i oblicza ze wzoru

$$\psi = \beta - \beta_w$$

/26/

gdzie  $\beta$  - azymut płaszczyzny strzału;

$\beta_w$  - azymut wiatru balistycznego, wzięty z komunikatu meteorologicznego dla wysokości rozpatrywanego punktu wyprzedzonego.

Błąd przypadkowy w określeniu i uwzględnieniu wzdłużnej składowej wiatru  $\Delta W_x$  powoduje, w ustalonym momencie czasu, błąd w określeniu kąta celownika  $c$  i czasu lotu pocisku  $t$ . W rezultacie błędu przypadkowego  $\Delta W_x$  powstają dwa błędy przypadkowe: błąd przypadkowy w określeniu kąta celownika  $\Delta c_{(W_x)}$  i błąd przypadkowy w określeniu czasu lotu pocisku  $\Delta t_{(W_x)}$ .

Błędy te są zależne, ponieważ powoduje je ta sama przyczyna - błąd w określeniu i uwzględnieniu wzdłużnej składowej wiatru. W wyniku wystąpią przypadkowe błędy wektory

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{c(w_x)} &= \Delta C_{(w_x)} \cdot D_w \\ \Delta_{t(w_x)} &= \Delta t_{(w_x)} \cdot V_c \end{aligned} \right\} \quad /27/$$

Odchylenia średnie kwadratowe, charakteryzujące przypadkowe błędy strzelania, spowodowane błędami w określeniu wzdłużnej składowej wiatru, dla ustalonego momentu, będą równe

$$\left. \begin{aligned} \delta_{c(w_x)} &= \sigma_{c(w_x)} \cdot D_w \\ \delta_{t(w_x)} &= \sigma_{t(w_x)} \cdot V_c \end{aligned} \right\} \quad /28/$$

Wielkości błędów przypadkowych  $\Delta c_{w_x}$  i  $\Delta t_{w_x}$ , a także średnich kwadratowych błędów  $\sigma_{c(w_x)}$  i  $\sigma_{t(w_x)}$  określa się za pomocą tabel strzelniczych na podstawie wysokości H, odległości poziomej  $D_{pw}$  i wielkości  $\Delta W_x$  i  $\sigma_w$ , podobnie jak uprzednio omawiane błędy  $\Delta c_{(V_0)}$ ,  $\Delta t_{(V_0)}$ ,  $\sigma_{c(V_0)}$  i  $\sigma_{t(V_0)}$ .

Błąd w określeniu i uwzględnieniu bocznej składowej wiatru balistycznego  $\Delta W_z$  powoduje błąd strzelania w kierunku bocznym

$$\Delta \beta_{(W_z)} = \Delta W_z \cdot \Delta \beta_{(W_z), tab} \quad /29/$$

gdzie  $\Delta \beta_{(W_z), tab}$  - tabelarna poprawka w metrach, odpowiadająca w tabelach bocznej składowej wiatru równej 1 m/sek, podana w tabelach strzelniczych.

Odchylenie średnie kwadratowe błędu strzelania, spowodowane błędem bocznej składowej wiatru, oblicza się ze wzoru

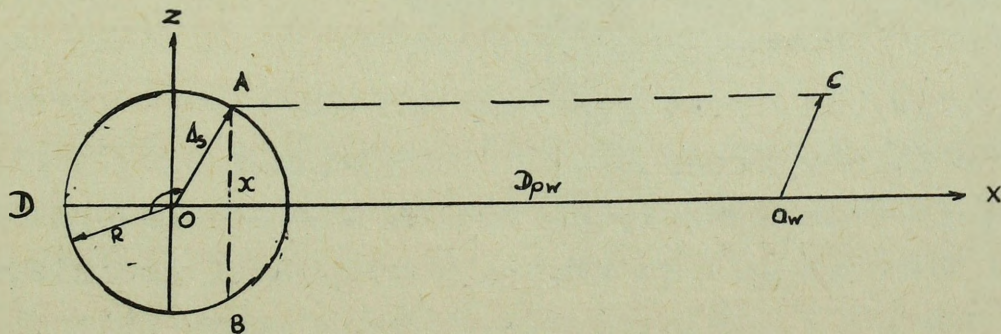
$$\delta_{\beta(w_z)} = \sigma_w \cdot \Delta \beta_{(W_z), tab} \quad /30/$$

C. Błędy, spowodowane nie uwzględnieniem przesunięcia dział względem środka stanowiska ogniowego.

Rozpatrzmy wpływ błędów spowodowanych nie uwzględnieniem na PUAZO oddalenia dział od środka stanowiska ogniowego. Działa baterii na stanowisku ogniowym rozmieszcza się na obwodzie o określonym promieniu /przeważnie  $R = 30 \div 40$  m/, a PUAZO wypracowuje nastawy dla stanowiska ogniowego, tj. strzelanie prowadzi się snopem równoległym. Powoduje to dodatkowe błędy strzelania.

Jeśli przyjąć, że działo oddające wystrzał w ustalonym momencie czasu, może znajdować się względem samolotu z jednakowym prawdopodobieństwem w dowolnym punkcie obwodu koła, to powstały przy tym błąd strzelania można rozłożyć na dwie składowe: wzdłuż kierunku odległości poziomej i wzdłuż kierunku bocznej /rys.9/. Wielkości i znaki błędów strzelania na kierunku odległości poziomej i na kierunku bocznym zmieniają się podczas strzelania, przy czym w czasie są niezależne od siebie /wsnólczynnik korelacji dla dowolnego odstępu czasu  $\Delta t = t_2 - t_1$  jest równy zeru/. Nadzieje matematyczne rozpatrywanych błędów są równe zeru, co wskazuje na brak systematycznych błędów strzelania.

Na ustalonym momencie czasu rozrzut błędów przypadkowych strzelania względem środka ich rozkładu podlega prawu arkusina, którego charakterystyką może być odchylenie średnie kwadratowe  $\sigma_{D_p(\omega)}$  lub  $\sigma_{\beta(\omega)}$ . Przykładowo obliczymy odchylenie średnie kwadratowe  $\sigma_{D_p(\omega)}$ .



Rys.9. Rozłożenie na składowe błędu spowodowanego nie uwzględnieniem przesunięcia dział względem środka SO.

Przyjmijmy kierunek  $D_{pw}$  za oś  $x$ , a początek układu w punkcie  $o$  - środku stanowiska ogniowego, oś  $z$  wyznaczmy prostopadle do  $D_{pw}$  w płaszczyźnie poziomej /rys.9/. Znajdziemy prawdopodobieństwo tego, że odcięta punktu stania  $i$ -tego działa będzie zawierała w granicach od  $-R$  do  $x$ . Oczywiście, odcięta będzie się zawierała w wymienionych granicach w tym przypadku, gdy  $i$ -te działko będzie stało gdziekolwiek na łuku  $ADB$ , a prawdopodobieństwo tego zdarzenia równe jest stosunkowi długości łuku  $ADB$  do całego obwodu, ponieważ zakłada się, że działko z jednakowym prawdopodobieństwem może znajdować się w dowolnym punkcie obwodu. Stosunek długości łuków można zastąpić stosunkiem kątów, na których się łuki opierają. Wówczas interesujące nas prawdopodobieństwo lub funkcja rozkładu przypadkowej wielkości  $X$  będzie równa

$$P(X < x) = F(x) = \frac{2\alpha}{2\pi} = \frac{\alpha}{\pi}$$

Jednak z rys.9 wynika, że  $\cos(\pi - \alpha) = \frac{x}{R}$ , skąd:

$$\alpha = \pi - \arccos \frac{x}{R}$$

Wówczas

$$F(x) = \frac{\pi - \arccos \frac{x}{R}}{\pi}$$

Po zrózniczkowaniu otrzymanego wyrażenia względem  $x$  otrzymamy gęstość prawdopodobieństwa

$$f(x) = \frac{1}{\pi \sqrt{R^2 - x^2}} \quad /31/$$

Wyrażenie /17/ jest prawem rozkładu błędów strzelania w odległości, gdy błędy spowodowane są nie uwzględnieniem przesunięcia działa względem środka stanowiska ogniowego.

Dyspersję, lub kwadrat odchylenia średniego kwadratowego błędów strzelania, dla danego prawa, oblicza się na podstawie reguł znanych z teorii prawdopodobieństwa.

$$\sigma_{D_p(0)}^2 = \frac{1}{\pi} \int_{-R}^{+R} \frac{x^2 dx}{\sqrt{R^2 - x^2}} = \frac{1}{\pi} \left[ -\frac{x^2}{2} \sqrt{R^2 - x^2} + \right. \\ \left. + \frac{R^2}{2} \arcsin \frac{x}{R} \right]_{-R}^{+R} = \frac{R^2}{2}$$

stąd

$$\sigma_{D_p(0)} = \frac{R}{\sqrt{2}}$$

/32/

Jeśli przeprowadzimy analogiczne rozważania dla błędów strzelania wzdłuż kierunku bocznego, to otrzymamy

$$\varphi(z) = \frac{1}{\pi \sqrt{R^2 - z^2}} \quad /33/$$

i

$$\sigma_{\beta(0)} = \frac{R}{\sqrt{2}} \quad /34/$$

### C. Błędy technicznego rozrzutu torów pocisków.

Oprócz wymienionych zasadniczych błędów strzelania artylerii przeciwlotniczej małego kalibru z PUAZO do celów powietrznych istnieją jeszcze błędy strzelania spowodowane rozrzutem technicznym. Błędy te, będące przypadkowymi funkcjami czasu są praktycznie niezależne dla oddzielnych strzałów /współczynnik korelacji dla dowolnych  $\Delta t$  równy jest zeru/.

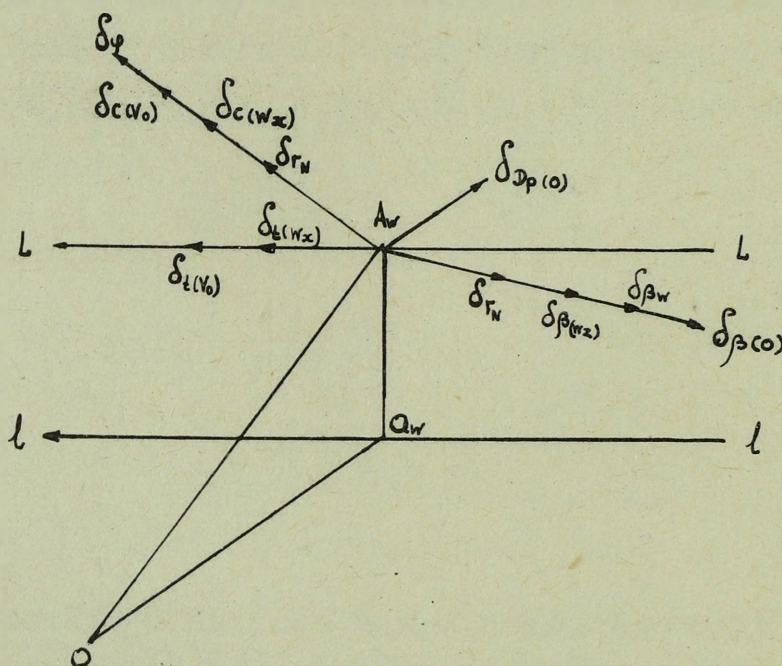
W artylerii przeciwlotniczej małego kalibru rozrzut techniczny pocisków rozpatruje się w płaszczyźnie, normalnej do odległości rzeczywistej. W tej płaszczyźnie rozpatrywane błędy strzelania charakteryzują odchylenia środkowe:

$r_{\parallel}$  - wzdłuż prostopadłej do odległości rzeczywistej  
i  $r_{\perp}$  - wzdłuż kierunku bocznego.

Wielkości odchylen środkowych  $r_N$  i  $r_z$ , charakteryzuj  ce rozwarowanie wi  zki torów w płaszczyźnie, prostopadłej do odległości rzeczywistej, podane s   w tabelach strzelniczych. Odchylenia  rednie kwadratowe błądów strzelania na skutek rozrzutu będa równe

$$\delta_N = \frac{r_N}{\rho\sqrt{2}} \quad \text{i} \quad \delta_z = \frac{r_z}{\rho\sqrt{2}} \quad /35/$$

Schemat odchylen średnich kwadratowych błądów strzelania, dla przypadku strzelania artylerii przeciwlotniczej małego kalibru z PUAZO do celów powietrznych, przedstawiony jest na rys.10.



Rys.10. Schemat odchylen średnich kwadratowych błądów strzelania z PUAZO.

### 3. Błądy strzelania z celownikiem

Wszystkie błądy strzelania z celownikiem typu wektorowego mo  na podzielić na następujące, praktycznie niezale  ne od siebie, grupy: błądy w okre  sleniu i uwzględnieniu na celowniku bie żących w  spółrzędných i czynników ruchu celu; błądy spowodowane nie uwzględnieniem odchyłek warunków strzelania od tabelarných; błądy hipotezy; błądy spowodowane technicznym rozrzutem torów pocisków. Rozpatrzmy oddzielnie źródła błądów tych grup oraz ich wplyw na wyniki strzelania.

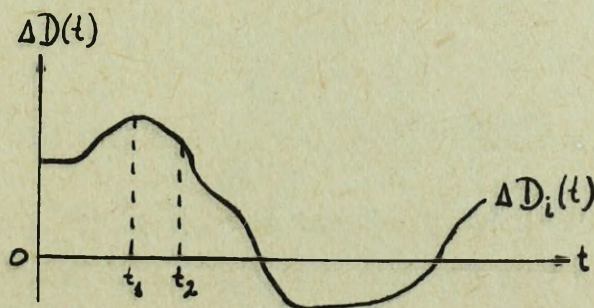
A. Błędy w określeniu i uwzględnieniu na celowniku  
bieżących współrzędnych i czynników  
ruchu celu.

Automatyczne celowniki typu wektorowego rozwiązują zadanie spotkania w oparciu o następujące wielkości wejściowe: odległość rzeczywista do celu  $D$ , kąt położenia celu  $p$ , azymu celu  $\beta$ , prędkość celu  $V_c$ , kąt kursowy  $q$  i kąt nurkowania /wznoszenia celu  $\lambda$ .

Zarówno przy określaniu jak i uwzględnianiu na celowniku tych wielkości popełnia się błędy, które powodują błędy strzelania. Ponieważ współrzędne i czynniki ruchu celu określa się i uwzględnia na przeliczniku niezależnie od siebie, to wpływ wynikający przy tym błędów można również rozpatrywać oddzielnie.

1/ Błędy w określeniu i uwzględnieniu na celowniku  
bieżącej odległości do celu

Odległość bieżącą do celu z reguły mierzy się za pomocą dalmierza. Zarówno przy określaniu odległości jak i nastawianiu jej na celowniku popełnia się błędy. Analiza wyników doświadczeń wskazuje, że błędy te są przypadkowymi funkcjami czasu  $\Delta D(t)$ . Rys.11 przedstawia jedną z możliwych konkretnych postaci przypadkowej funkcji  $\Delta D(t)$ .



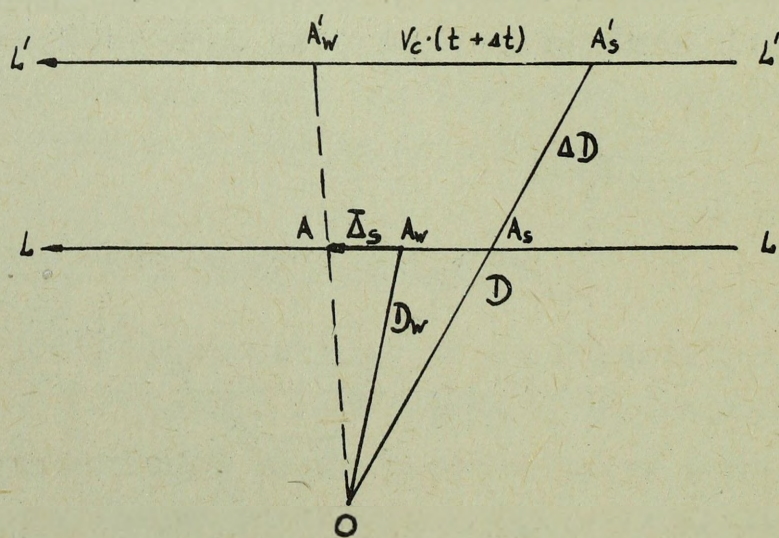
Rys.11. Realizacja funkcji przypadkowej  $\Delta D(t)$ .

W czasie strzelania zmieniają się wielkości i znaki błędów w odległości, prócz tego wartość błędu w momencie czasu  $t_2$  zależy od tego jaki błąd miał miejsce w poprzednim momencie czasu  $t_1$ .

Wyniki doświadczeń wskazują, że nadzieja matematyczna funkcji przypadkowej  $\Delta D(t)$  jest zbliżona do zera, a mianowicie: przy mierzeniu odległości dalmierzem ZDN lub ZD średnio można przyjąć, że błąd systematyczny  $m_D = -1,3\% D$ .

W dowolnym ustalonym momencie czasu rozrzut błędów przypadkowych odległości względem nadziei matematycznej podlega normalnemu prawu o błędzie średnim kwadratowym  $\sigma_D$ , którego wielkość zależy głównie od odległości rzeczywistej do celu  $D$ . Na podstawie doświadczeń można przyjąć, że przy pomiarach odległości dalmierzem ZD  $\sigma_D = 10 \div 12\% D$ , a przy pomiarach dalmierzem ZDN  $\sigma_D = 7 \div 9\% D$ .

W wyjątkowych przypadkach odległość do celu można określać na oko. Wówczas błędy odległości także są przypadkowymi funkcjami czasu o nadziei matematycznej zbliżonej do zera, i błędzie średnim kwadratowym  $\sigma_D = 30\% D$ . Rozpatrzmy wpływ błędu odległości, popełnionego w określonym momencie czasu. Błąd odległości powoduje błąd czasu lotu pocisku  $\Delta t$  i kąta celownika  $\Delta c$ .



Rys.12. Odchylenie toru pocisku od celu  $\bar{A}_s$ , spowodowane błędem odległości  $\Delta D$ .

Na rys. 12 punkt  $A_S$  odpowiada położeniu celu w momencie strzału, a punkt  $A_W$  jest punktem wyprzedzonym pod warunkiem, że celownik przewidlowo rozwiązał zadanie spotkania, przy tym  $A_S A_W = V_C \cdot t$ , gdzie  $t$  - czas lotu pocisku do punktu wyprzedzonego,  $LL$  - kurs celu.

Jeżeli w momencie strzału na celowniku nastawiono odległość do celu  $D$  z błędem  $\Delta D$  /założmy,  $\Delta D > 0$ /, to zadanie spotkania będzie rozwiązane dla niewłaściwego kursu celu  $LL'$ , który przy braku innych błędów będzie równoległy do rzeczywistego kursu  $LL$ . Celownik wypracowuje dane dla punktu  $A_W'$ , do którego czas lotu pocisków będzie równy  $t + \Delta t$ , gdzie  $\Delta t$  - przyrost czasu lotu pocisku, odpowiadający zmianie odległości wyprzedzonej o  $\Delta D_W = \bar{D}_W' - D_W$ .

Błąd czasu lotu pocisku  $\Delta t$  spowoduje odchylenie pocisku od celu /punkt  $A_W$ / wzdłuż kursu celu o wielkość  $\Delta s$ . Wielkość tego odchylenia można obliczyć, rozpatrując trójkąty podobne  $A_S O A$  i  $A_S' O A_W'$ , z których wynika, że

$$\frac{A_S A}{A_S' A_W'} = \frac{O A_S}{O A_S'}$$

Podstawiając odpowiednie wielkości, otrzymamy

$$\frac{V_C \cdot t + \Delta s}{V_C (t + \Delta t)} = \frac{D}{D + \Delta D}$$

stąd

$$\Delta s = \frac{V_C (D \cdot \Delta t - \Delta D t)}{D + \Delta D}$$

Odrzucając w mianowniku  $\Delta D$ , otrzymamy

$$\Delta s = V_C \left( \Delta t - \frac{\Delta D}{D} t \right)$$

/36/

$\Delta t$  można określić za pomocą tabel strzelniczych na podstawie zależności

$$\Delta t = t' - t,$$

gdzie

$$t' = f_1(D_W + \Delta D_W), \text{ a } t = f_1(D_W),$$

przy czym w przybliżeniu można przyjąć, że

$$\frac{\Delta D_w}{D_w} = \frac{\Delta D}{D} ,$$

stąd

$$\Delta D_w = \frac{\Delta D}{D} \cdot D_w .$$

Prócz tego, błąd odległości spowoduje błąd kąta celownika  $\Delta c$ , który można określić za pomocą tabel strzelniczych z zależności

$$\Delta c = c' - c ,$$

gdzie

$$c' = f_2(D_w + \Delta D_w) , \quad c = f_2(D_w) .$$

Błąd kąta celownika  $\Delta c$  spowoduje odchylenie pocisku od celu w płaszczyźnie pionowej wzdłuż kierunku, mniej więcej, prostopadłego do  $D_w$ , wielkość odchylenia

$$\Delta_c = \Delta c \cdot D_w$$

/37/

Rozrzut szczególnych wartości błędów strzelania wzgódem nadziei matematycznej charakteryzują odchylenia średnie kwadratowe błędów strzelania:

- wzdłuż kursu celu

$$\delta_s = v_c \left( \sigma_t - \frac{\sigma_p}{D} t \right) ;$$

/38/

- wzdłuż prostopadłej do  $D_w$  w płaszczyźnie pionowej

$$\delta_c = \sigma_c \cdot D_w$$

/39/

gdzie  $\sigma_t, \sigma_c$  - błędy średnie kwadratowe charakteryzujące dokładność wypracowania przez celownik czasu lotu i kąta celownika, określane za pomocą tabel strzelniczych z zależności

$$\sigma_t = t' - t, \text{ gdzie } t' = f_1(D_w + \sigma_{D_w}), t = f_1(D_w);$$

$$\sigma_c = c' - c, \text{ gdzie } c' = f_2(D_w + \sigma_{D_w}), c = f_2(D_w);$$

$$\text{przy czym } \sigma_{D_w} = \frac{\sigma_D}{D} \cdot D_w.$$

Przypadkowe błędy wektory  $\Delta_s$  i  $\Delta'_s$ , a także odchylenia średnie kwadratowe  $\delta_s$  i  $\delta_c$  są wzajemnie zależne ponieważ powoduje je jedna przyczyna - błąd w odległości.

## 2/ Błędy bieżących współrzędnych katowych celu.

Azymut i kąt położenia określa się niezależnie od siebie przez bezpośrednie celowanie w cel. Błędy azymutu i kąta położenia są przypadkowymi funkcjami czasu  $\Delta B(t)$  i  $\Delta E(t)$ . Z analizy materiału doświadczalnego wynika, że nadzieje matematyczne tych funkcji przypadkowych  $m_\beta(t)$  i  $m_\rho(t)$  są różne od zera, co oznacza, że przy celowaniu występują błędy systematyczne azymutu i kąta położenia, które z reguły posiadają charakter pozostający.

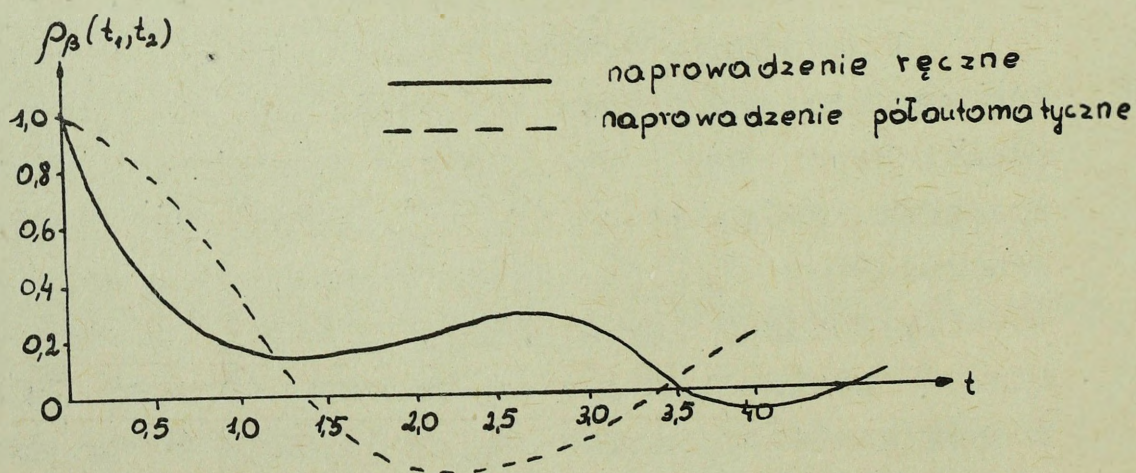
W ustalonym momencie czasu rozrzut przypadkowy błędów azymutu  $\Delta\beta$  i kąta położenia  $\Delta\rho$  względem nadziei matematycznych  $m_\beta$  i  $m_\rho$  podlega normalnym prawom o błędach średnich kwadratowych  $\sigma_\beta$  i  $\sigma_\rho$ . Wielkości błędów średnich kwadratowych  $\sigma_\beta$  i  $\sigma_\rho$  zależne są od położenia celu na kursie, rodzaju ognia /długości serii/ i rodzaju celowania. W tabeli 1 podane są średnie wartości  $\sigma_\beta$  i  $\sigma_\rho$  oraz błędów systematycznych  $m_\beta$ ,  $m_\rho$  dla 57 mm armat.

Tabela 1.

Wartości  $\sigma_\beta, \sigma_\rho$  i  $m_\beta, m_\rho$  dla 57 mm armat przeciwlotniczych

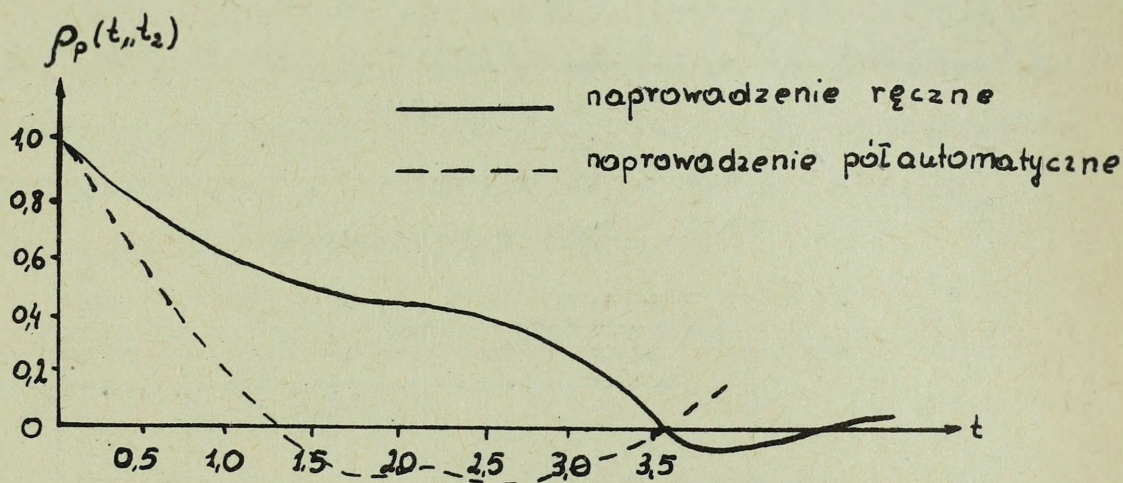
Rodzaj naprowadzenia	Rodzaj ognia	azymut		kąt położenia	
		$\sigma_\beta$	$m_\beta$	$\sigma_\rho$	$m_\rho$
Ręczne	serie 5-4 strzałów	0-12	-0-04	0-16	-0-03
	serie 9-10 strzałów	0-13	-0-02	0-13	-0-02
Półautomatyczne	serie 3-5 strzałów	0-12	-	0-09	-
	serie 9-10 strzałów	0-12	-	0-12	-

Przykładowa postać unormowanych funkcji korelacyjnych dla 57 mm armaty przedstawiona jest na rys.13 i 14. /ciągła linia - naprowadzenie ręczne, przerywana - naprowadzenie półautomatyczne/.



Rys.13. Unormowana korelacyjna funkcja błędów celowania /azymut/ 57 mm armaty przeciwlotniczej.

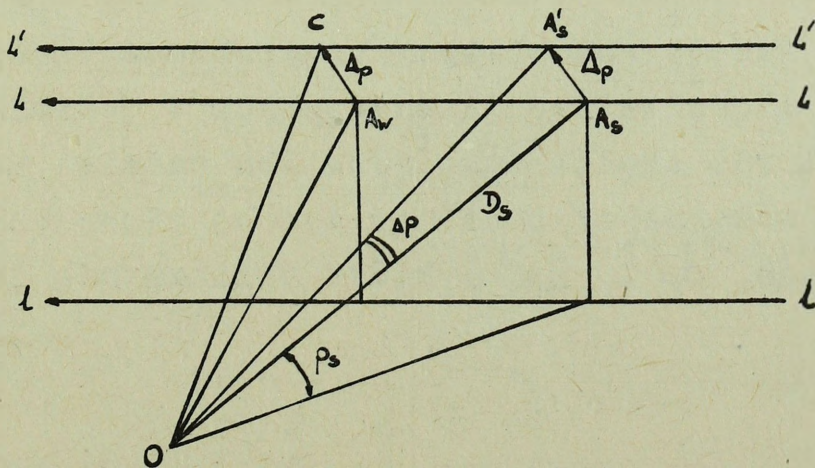
Rozpatrzmy wpływ błędów celowania na położenie trasy względem celu. Systematyczne błędy współrzędnych kątowych powodują systematyczne błędy strzelania, natomiast przypadkowe błędy współrzędnych kątowych, w ustalonym momencie rozpatrywanego strzelania, powodują przypadkowe błędy strzelania. Załóżmy, że w pewnym ustalonym momencie strzelania popełniono błąd w końcu położenia  $\Delta\rho$ . Błędowi kątowemu  $\Delta\rho$  odpowiada błąd-wektor  $\Delta p$ , skierowany wzdłuż prostopadłej do odległości  $D_s$  w płaszczyźnie pionowej /rys.15/.



Rys.14. Unormowana korelacyjna funkcja błędów celowania /kąt położenia/ 57 mm armaty przeciwlotniczej.

$$\Delta p = \Delta\rho \cdot D_s$$

gdzie  $\Delta\rho$  - błąd kątowy kąta położenia, wyrażony w radianach.



Rys.15. Odchylenie toru pocisku od celu  $\Delta p$ , spowodowane błędem kąta położenia  $\Delta\rho$ .

Celownik rozwiąże zadanie spotkania dla nieregularnego kursu celu  $(L, L')$ , przy prawidłowym czasie lotu  $t$  i prędkości celu  $V_c$  pocisk odchyli się od celu wzdłuż kierunku prostopadłego do  $D_s$  w płaszczyźnie pionowej o wielkość  $\Delta_p$

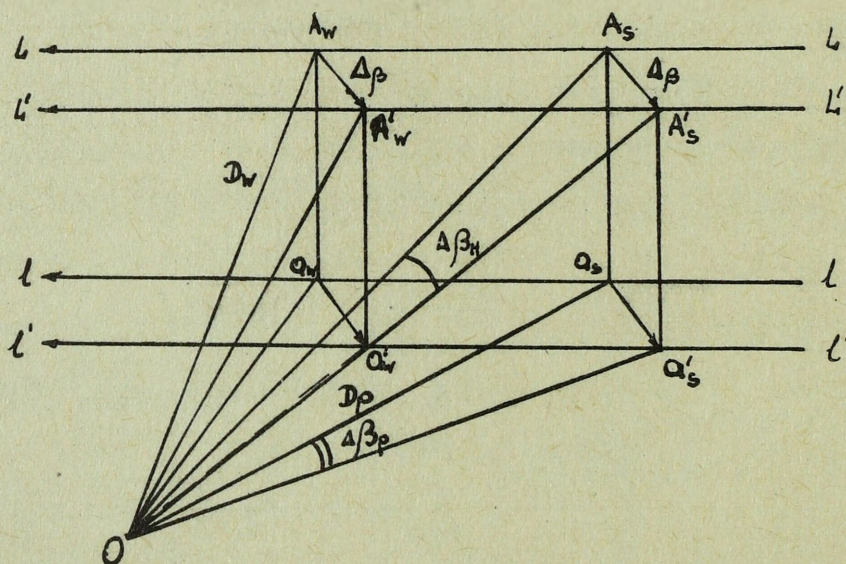
Podobnie, każdemu błędowi kątowemu azymutu  $\Delta\beta$  będzie odpowiadał błąd-wektor  $\Delta\beta$  skierowany prostopadłe do  $D_s$  w płaszczyźnie poziomej /rys.16/.

$\Delta\beta$  oblicza się ze wzoru

$$\Delta\beta = \Delta\beta_H \cdot D_s = \Delta\beta_p \cdot D_{ps}, \quad /40/$$

gdzie  $\Delta\beta_H$  - błąd azymutu w płaszczyźnie pochyłej wyrażony w radianach;

$\Delta\beta_p$  - błąd azymutu w płaszczyźnie poziomej, wyrażony także w radianach.



Rys.16. Odchylenie toru pocisku od celu  $\Delta\beta$ , spowodowane błędem azymutu  $\Delta\beta$ .

Jeżeli rozważymy przypadkowe błędy strzelania dla dużej ilości strzelań wykonanych w jednakowych warunkach, to rozrzut błędów względem ich nadziei matematycznych, można scharakteryzować za pomocą odchyleń średnich kwadratowych  $\delta_p$  i  $\delta_\beta$ , które oblicza się ze wzorów

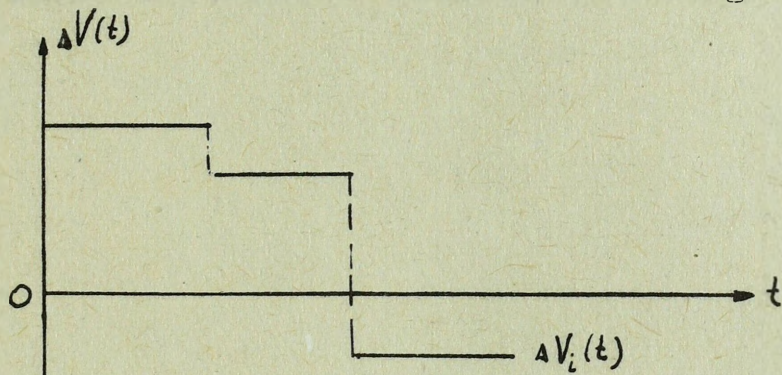
$$\left. \begin{aligned} \delta_p &= \sigma_p \cdot D_s \\ \delta_\beta &= \sigma_\beta \cdot D_s \end{aligned} \right\}$$

gdzie  $\sigma_p$  i  $\sigma_\beta$  - błędy średnie kwadratowe kąta położenia i azymutu, wyrażone w radianach.

Odchylenie średnie kwadratowe  $\delta_p$  skierowane jest wzdłuż prostopadłej do  $D_s$  w płaszczyźnie pionowej, a  $\delta_\beta$  - wzdłuż prostopadłej do  $D_s$  w płaszczyźnie poziomej.

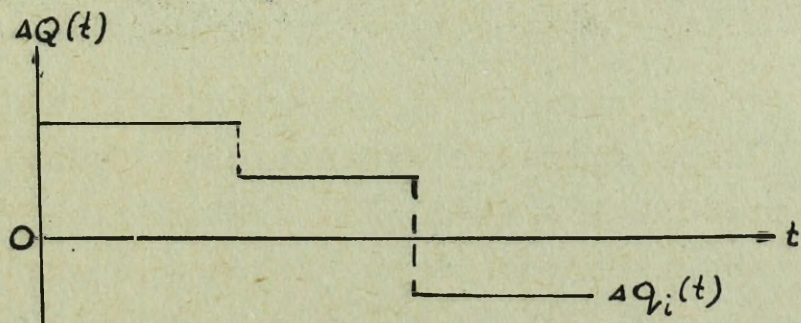
3/ Błędy w określeniu i uwzględnieniu czynników ruchu celu.

W celownikach typu wektorowego wykorzystuje się następujący układ czynników ruchu celu: prędkość celu  $V_c$ , kąt kursowy  $q$ , kąt nurkowania /wznoszenia/  $\lambda$ , które określają wielkość i kierunek wektora liniowego wyprzedzenia celu

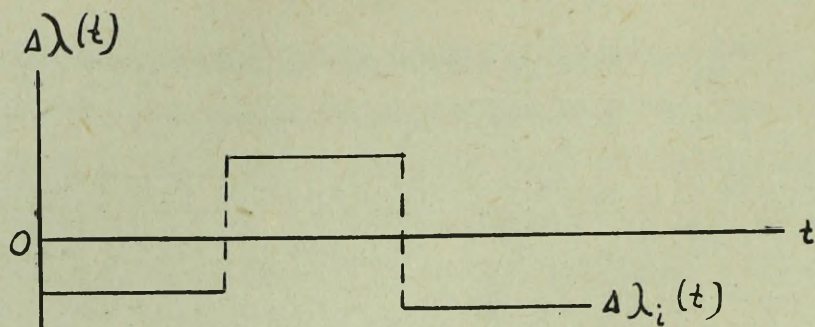


Rys.17. Realizacja funkcji przypadkowej  $\Delta V(t)$ .

Przy określaniu i uwzględnianiu czynników ruchu celu popełnia się błędy, które w ogólnym przypadku można rozpatrywać jako funkcje przypadkowe czasu  $\Delta V(t)$ ,  $\Delta Q(t)$  i  $\Delta \lambda(t)$



Rys.18. Realizacja funkcji przypadkowej  $\Delta Q(t)$ .



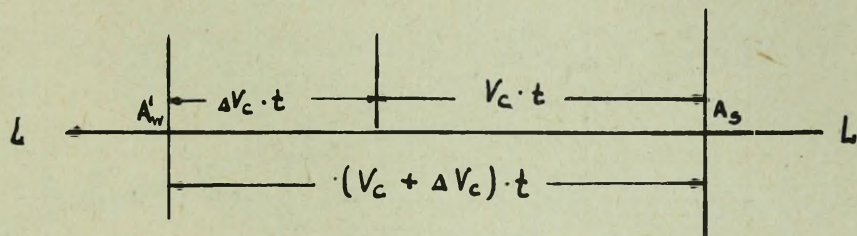
Rys.19. Realizacja funkcji przypadkowej  $\Delta \lambda(t)$ .

Konkretne postacie funkcji przypadkowych przedstawione są na rys.17, 18 i 19. Z rysunków wynika, że są one równoległe do osi odciętych. W określonych momentach czasu mogą występować skoki i przerwy. Te momenty czasu odpowiadają: dla błędów prędkości - wprowadzeniu poprawki, dla błędów kąta kursowego i kota nurkowania /wznoszenia/-udokładnieniu nastawy strzały kursowej w płaszczyźnie poziomej lub pionowej. Z tego wynika, że błędy czynników ruchu celu przed wprowadzeniem poprawki lub udokładnieniem nastawy strzały kursowej są niezmiennie dla wszystkich strzałów.

Analiza doświadczeń wskazuje, że nadzieje matematyczne przypadkowych funkcji błędów czynników ruchu celu są równe zeru, co świadczy o braku błędów systematycznych w określeniu czynników ruchu celu. W ustalonych momentach czasu rozrzut przypadkowych błędów czynników ruchu celu względem ich nadziei matematycznych podlega normalnemu prawu o błędach średnich kwadratowych  $\sigma_v$ ,  $\sigma_q$  i  $\sigma_\lambda$ . Rozpatrzmy wpływ błędów w określeniu i uwzględnieniu czynników ruchu celu. Jeśli w ustalonym momencie czasu prędkość celu określono i uwzględniono na celowniku z błędem  $\Delta V_c$ , to wyprzedzenie liniowe będzie obciążone przypadkowym błędem - wektorem  $\Delta_v$ .

$$\Delta_v = \Delta V_c \cdot t \quad /41/$$

gdzie  $t$  - czas lotu pocisku do punktu wyprzedzonego.



Rys.20. Odchylenie toru pocisku od celu spowodowane błędem w prędkości celu  $\Delta V_c$ .

Na skutek błędu przypadkowego w prędkości celu  $\Delta V_c$  wystąpi przypadkowy błąd - wektor  $\Delta V$ , skierowany wzdłuż kursu celu.

Odchylenie średnie kwadratowe błędów strzelania spowodowanych błędem w prędkości celu będzie równe

$$\delta_V = \sigma_V \cdot t$$

/42/

gdzie  $\sigma_V$  - błąd średni kwadratowy w określeniu i uwzględnieniu prędkości celu, który na podstawie danych doświadczalnych można przyjąć równy 15 %  $V_c$ .

Odchylenie średnie kwadratowe  $\delta_V$  skierowane <sup>jest</sup> wzdłuż kursu celu.

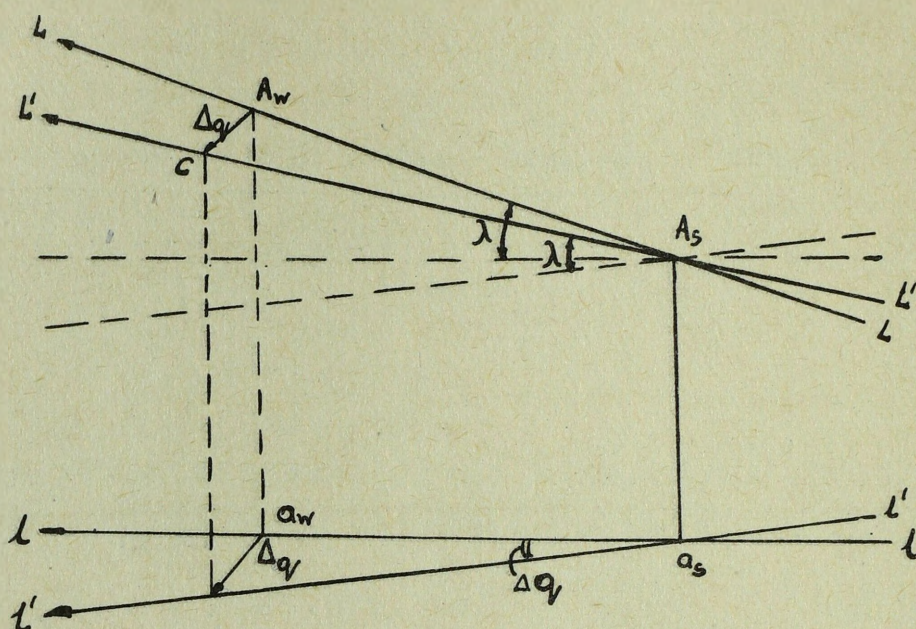
Przypadkowemu błędowi kątowemu w określeniu kursu  $\Delta q$  odpowiada przypadkowy błąd - wektor  $\Delta q$ , skierowany mniej więcej prostopadle do kursu celu w płaszczyźnie poziomej /rys.21/.

Z rys.21 wynika, że wielkość przypadkowego błędu wektora  $\Delta q$ , z dokładnością wystarczającą dla celów praktycznych, można obliczyć ze wzoru

$$\Delta q = V_c \cdot t \cdot \cos \lambda \cdot \Delta q ,$$

/43/

gdzie  $\Delta q$  - błąd kątowy kursu celu wyrażony w radianach.



Rys.21. Odchylenie toru pocisku od celu  $\Delta q$ , spowodowane błędem w kursie celu  $\Delta q$ .

Odchylenie średnie kwadratowe błędów strzelania

$$\delta q = v_c \cdot t \cos \lambda \sigma_q \quad /44/$$

gdzie  $\sigma_q$  - błąd średni kwadratowy w określeniu kursu celu, wyrażony w radianach, który na podstawie doświadczeń można przyjąć równy 0,15 radiana.

Przy poziomym locie celu, gdy  $\lambda = 0$ ,

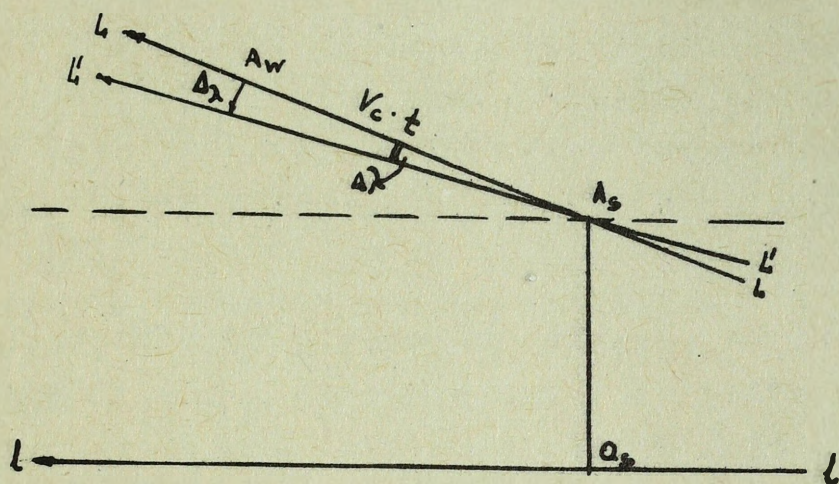
$$\delta q = v_c \cdot t \cdot \sigma_q \quad /45/$$

Przypadkowemu błędowi kątowemu  $\Delta \lambda$  odpowiada przypadkowy błąd - wektor  $\Delta \lambda$ , skierowany mniej więcej prostopadle do kursu celu w płaszczyźnie pionowej (rys.22).

Wielkość przypadkowego błędu - wektora  $\Delta \lambda$ , z wystarczającą dla praktyki dokładnością, można obliczyć ze wzoru

$$\Delta \lambda = v_c \cdot t \cdot \Delta \lambda, \quad /46/$$

gdzie  $\Delta \lambda$  - błąd przypadkowy kąta nurkowania /wznoszenia/, wyrażony w radianach.



Rys.22. Odchylenie toru pocisku od celu  $\Delta\lambda$ , spowodowane błędem kąta wznoszenia  $\Delta\lambda$ .

Odchylenie średnie kwadratowe błędów strzelania oblicza się ze wzoru

$$\delta_{\lambda} = v_c \cdot t \cdot \sigma_{\lambda},$$

gdzie  $\sigma_{\lambda}$  - błąd średni kwadratowy, który można przyjąć równy 0,15 radiana.

x

x

x

Przy projektowaniu automatycznych celowników, dla uproszczenia konstrukcji stosuje się różne tolerancje, które powodują systematyczne błędy danych wyjściowych celownika. Można wymienić następujące systematyczne błędy wyprzedzonych współrzędnych celu.

1. Przyjmuje się, że czas lotu pocisku nie zależy od kąta położenia celu, a jest funkcją tylko odległości rzeczywistej, to jest

$$t = f(D) \rho = \text{const}.$$

To założenie powoduje błąd systematyczny czasu lotu pocisku  $\Delta t$ , a tym samym systematyczny błąd strzelania skierowany wzdłuż kursu celu i równy  $V_c \cdot \Delta t$ .

Aby zmniejszyć wpływ tej tolerancji przy projektowaniu celowników przyjmuje się średnią wartość kąta położenia celu rzędu  $35-45^\circ$ .

2. Zakłada się, że obniżenie toru pocisku jest funkcją tylko odległości rzeczywistej i nie zależy od kąta położenia celu. Powoduje to błąd systematyczny kąta celownika

$\Delta \alpha$  i z kolei systematyczny błąd strzelania na kierunku prostopadłym do  $D_w$  w płaszczyźnie strzelania, równy  $\Delta \alpha \cdot D_w$ .

Aby zmniejszyć wpływ tego błędu obniżenie toru pocisku oblicza się dla średniego kąta położenia celu  $/35-45^\circ/$ .

3. Przyjmuje się, że średnia prędkość lotu pocisku do punktu wyprzedzonego równa jest średniej prędkości lotu pocisku do punktu strzału, tj. przyjmuje się, że

$$\frac{D_w}{t_w} = \frac{D_s}{t_s}$$

Innymi słowy nieuwzględnia się zmiany średniej prędkości lotu pocisku w czasie wyprzedzenia co powoduje systematyczny błąd strzelania. Jednak z obliczeń wynika, że błędy systematyczne strzelania spowodowane tolerancjami konstrukcyjnymi są nieznaczne w porównaniu z innymi błędami. Dlatego przy obliczeniach wskaźników skuteczności strzelania błędów tych się z reguły nie uwzględnia.

B. Błędy spowodowane nie uwzględnieniem odchylek warunków strzelania od tabelarycznych.

Konstrukcje stosowanych celowników typu wektorowego nie umożliwiają uwzględnienia odchylek warunków strzelania od tabelarycznych. Nie uwzględnienie tych odchylek w każdym konkretnym strzelaniu spowoduje dodatkowe błędy strzelania. Charakter wpływu tych błędów na wyniki strzelania jest analogiczny jak błędów w określeniu i uwzględnieniu odchylek warunków strzelania rozpatrzonych uprzednio.

Ustalono, że błędy spowodowane nie-uwzględnieniem zmiany prędkości początkowej pocisków podlegają normalnemu prawu o błędzie średnim kwadratowym  $\sigma_{\Delta v_0} = 3\% V_{0b}$ , przy czym błędów systematycznych nie ma.

Nieuwzględnienie wzdłużnej składowej wiatru  $W_x$  powoduje błędy czasu lotu pocisku  $\Delta t$  i kąta celownika  $\Delta c$ .

Dla przeciętnych warunków strzelania można przyjąć następujące wartości błędów średnich kwadratowych

$$\sigma_{t(w_x)} = 0,1 \text{ sek} \quad \text{i} \quad \sigma_{c(w_x)} = 0-01,5.$$

Nieuwzględnienie bocznej składowej wiatru  $W_z$  powoduje błędy kierunku bocznego, które charakteryzuje błąd średni kwadratowy  $\sigma_{\beta(w_z)} = 0-01,5$ .

### C. Błędy hipotezy ruchu celu.

Błędy hipotezy wynikają z powodu niezgodności ruchu celu w czasie wyprzedzenia z hipotezą przyjętą przy konstrukcji celownika. Przy projektowaniu celowników przyjmuje się hipotezę prostoliniowego i jednostajnego ruchu celu. Jednak w rzeczywistości pod wpływem przypadkowych czynników /zaburzenia atmosferyczne, nierównomierność pracy silników itp./ samolot nie porusza się jednostajnie i prostoliniowo. Niezgodność ruchu samolotu z przyjętą hipotezą powoduje błędy strzelania na jednym lub kilku kierunkach: na kierunku kursu celu z powodu niestałej prędkości, wzdłuż prostopadłej do kursu celu w płaszczyźnie poziomej na skutek niestałości kąta drogi, wzdłuż prostopadłej do kursu celu w płaszczyźnie pionowej na skutek niestałości kąta nachylenia kursu celu względem poziomu.

Błędy na dowolnym z trzech kierunków są przypadkowymi funkcjami czasu, a ich nadzieje matematyczne są równe zeru.

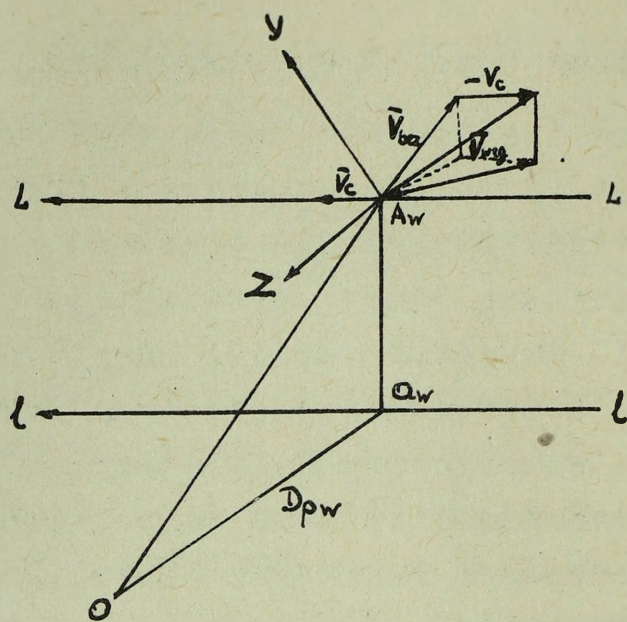
W ustalonych momentach czasu  $t$  rozrzut przypadkowy błędów względem ich nadziei matematycznych podlega normalnemu prawu o błędach średnich kwadratowych



#### 4. Sumaryczne błędy strzelania.

W czasie strzelania wszystkie źródła błędów wpływają jednocześnie powodując sumaryczne błędy strzelania. Zatem, sumaryczny błąd strzelania w pewnym ustalonym punkcie jest sumą geometryczną błędów strzelania, spowodowanych różnymi przyczynami. Wszystkie źródła błędów powodują błędy strzelania, które są przypadkowymi funkcjami czasu. W związku z tym i sumaryczne błędy strzelania, wynikające na skutek jednoczesnego działania wszystkich źródeł błędów także będą przypadkowymi funkcjami czasu. Przy obliczaniu wskaźników skuteczności strzelania a także przy rozwiązywaniu szeregu innych zagadnień trzeba znać prawdopodobieństwo-ściowe charakterystyki sumarycznego błędu strzelania, które określa się na podstawie prawdopodobieństwo-ściowych charakterystyk błędów strzelania wynikający z różnych źródeł.

Przy teoretycznych badaniach skuteczności strzelania do samolotów wygodnie jest rozpatrywać względny ruch pocisku co umożliwi uważać cel za nieruchomy i rozpatrywać błędy strzelania wzdłuż dwóch osi współrzędnych na płaszczyźnie, prostopadłej do średniego względnego toru. Taką płaszczyzną jest płaszczyzna  $yz$ , której osie posiadają kierunki: oś  $y$  - wzdłuż prostopadłej do wektora względnej prędkości w płaszczyźnie pionowej, oś  $z$  - wzdłuż prostopadłej do wektora względnej prędkości pocisku, przy czym dodatni kierunek osi skierowany jest zgodnie z ruchem celu /rys.24/. W wybranej płaszczyźnie  $yz$  sumaryczny błąd strzelania jest dwuwymiarowym wektorem przypadkowym. Położenie płaszczyzny  $yz$  w przestrzeni określa kierunek wektora względnej prędkości pocisku  $V_{wzg}$ .



Rys.24. Układ współrzędnych w ruchu względnym.

Kierunek wektora względnej prędkości pocisku w układzie współrzędnych \$x'y'z'\$ / oś \$x'\$ - wzdłuż kierunku wyprze-  
dzonej odległości poziomej, oś \$y'\$ - pionowo do góry i oś  
\$z'\$ - prostopadle do płaszczyzny \$xy'\$ przy czym dodatni kie-  
runek osi pokrywa się z kierunkiem ruchu celu / określają  
kosinusy kierunkowe:

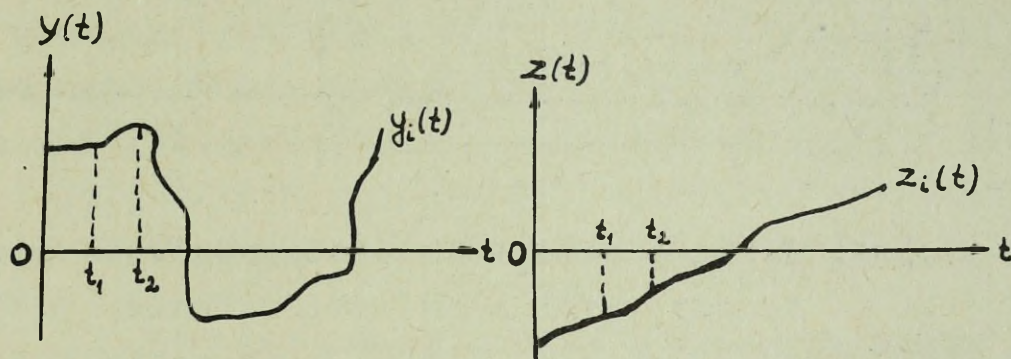
$$\left. \begin{aligned} S_1 = \cos(V_{wzg}, x') &= \frac{V_{bez} \cdot \cos \alpha + V_c \cdot \cos \lambda \cdot \cos \varphi}{V_{wzg}} \\ S_2 = \cos(V_{wzg}, y') &= \frac{V_{bez} \sin \alpha - V_c \cdot \sin \lambda}{V_{wzg}} \\ S_3 = \cos(V_{wzg}, z') &= - \frac{V_c \cos \lambda \cdot \sin \varphi}{V_{wzg}} \end{aligned} \right\} /48/$$

gdzie

$$V_{wzg} = \sqrt{V_{bez}^2 + V_c^2 + 2V_{bez} \cdot V_c (\cos \alpha \cos \lambda \cos \varphi - \sin \alpha \cdot \sin \lambda)}$$

Sumaryczny błąd strzelania można rozkładać na  
składowe wzdłuż kierunku osi wybranego układu współ-  
rzędnych \$yz\$.

Jeżeli zapisać zmianę składowych sumarycznego błędu wzdłuż osi  $y$  i  $z$  w przebiegu danego konkretnego strzelania, to można otrzymać wykresy, których przykładowa postać przedstawiona jest na rys.25.

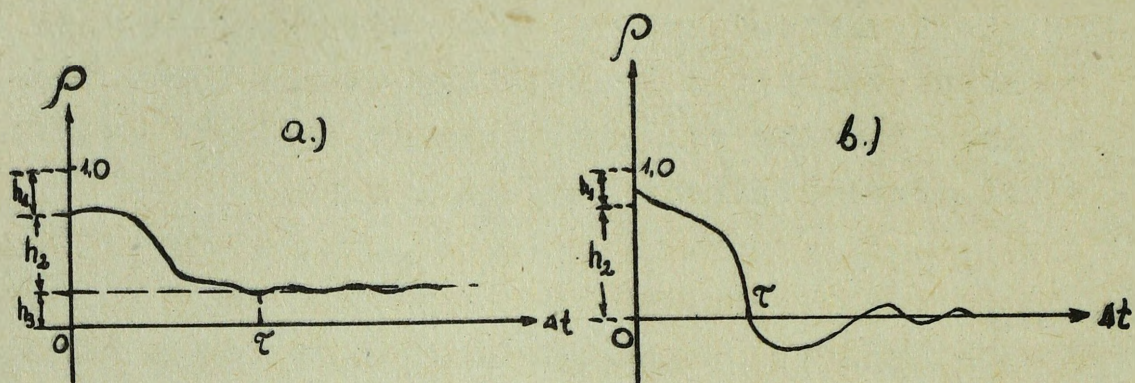


Rys.25. Realizacja przypadkowych funkcji składowych sumarycznego błędu.

Z wykresów wynika, że w czasie strzelania zmienia się zarówno wielkość jak i znak składowych sumarycznego błędu w płaszczyźnie prostopadłej do średniego względnego toru. Prócz tego, jak wynika z doświadczeń sumaryczne błędy na dowolnym kierunku wynikające w momencie czasu  $t_2$ , zależą od błędów, które wystąpiły w momencie czasu  $t_1$ . Tę zależność charakteryzuje współczynnik korelacji zależny od odstępu czasu  $\Delta t = t_2 - t_1$ . Im większy jest odstęp czasu  $\Delta t$  tym współczynnik korelacji będzie mniejszy i odwrotnie. W odniesieniu do strzelania oznacza to, że błędy na dowolnym kierunku, które wystąpiły przy pierwszym strzale, wpływają na błędy drugiego strzału bardziej niż na błędy wszystkich następnych strzałów.

Na rys.26 przedstawiono charakter zmiany współczynników korelacji sumarycznych błędów strzelania dla przypadku strzelania z dalmierzem D - 49 /a/ i SON-9 /b/.

Wielkości  $h_1$ ,  $h_2$  i  $h_3$  na wykresie można rozpatrywać jako względne wagi błędów strzelania o różnej zależności w ogólnym systemie sumarycznego błędu strzelania.



Rys.26. Wykresy zmiany współczynników korelacji sumarycznych błędów strzelania.

Gdzie  $h_1$  - względna waga niezależnych błędów strzelania /niepowtarzających się/;

$h_2$  - względna waga błędów strzelania o dowolnej zależności korelacyjnej i  $h_3$

$h_3$  - względna waga funkcjonalnie związanych /powtarzających się/ błędów strzelania.

Oczywiście, że  $h_1 + h_2 + h_3 = 1,0$ .

Wielkość  $\tau$  charakteryzuje odstęp czasu, w przeciągu którego zachowuje się dowolna korelacyjna zależność między sumarycznymi błędami strzelania.

Przy strzelaniu z PUAZO według danych RSA  $h_3 = 0$ . W tym przypadku dużą wagę w systemie sumarycznego błędu mają błędy wypracowane przez komplet nastaw do strzelania, tj. błędy o zmiennej zależności korelacyjnej, których względną wagę charakteryzuje wielkość  $h_2$ .

Przy strzelaniu z PUAZO według danych dalmierza  $h_3$  jest różny od zera, co wskazuje na istnienie powtarzających się błędów /chodzi tu głównie o błędy w regulacji dalmierza/, które są stałe w czasie danego strzelania. Z doświadczeń wynika, że sumaryczne błędy strzelania praktycznie można uważać za niezależne przy strzelaniu z celownikiem, gdy  $\Delta t \geq 15$  sek, przy strzelaniu z PUAZO według danych RSA, gdy  $\Delta t \geq 3-4$  sek. i przy strzelaniu z PUAZO według danych dalmierza gdy  $\Delta t \geq 5-6$  sek.

Nadzieje matematyczne przypadkowych funkcji składowych sumarycznych błędów strzelania  $Y/t/$  i  $Z/t/$  są różne od zera co wskazuje na istnienie systematycznych błędów występujących przy strzelaniu do samolotów.

Sumaryczne systematyczne błędy przy strzelaniu z PUAZO są głównie spowodowane systematycznymi błędami, występującymi przy określaniu bieżących współrzędnych celów, a przy strzelaniu z celownikiem - systematycznymi błędami naprowadzenia dział we współrzędnych kątowych i tolerancjami przyjętymi w konstrukcji celowników.

Aby określić sumaryczne systematyczne błędy strzelania, dla ustalonego momentu, nadzieje matematyczne funkcji przypadkowych  $Y/t/$  i  $Z/t/$  - trzeba, po pierwsze, znając systematyczne błędy strzelania wynikające z różnych źródeł obliczyć ich rzuty na osie współrzędnych  $y$  i  $z$

$$\left. \begin{aligned} \Gamma_{y,i} &= r_i \cdot \cos(r_i, y) \\ \Gamma_{z,i} &= r_i \cdot \cos(r_i, z) \end{aligned} \right\}, \quad /49/$$

a następnie obliczyć wielkości sumarycznych systematycznych błędów strzelania za pomocą wzorów

$$\left. \begin{aligned} \Gamma_y &= \sum_{i=1}^{\gamma} \Gamma_{y,i} \\ \Gamma_z &= \sum_{i=1}^{\gamma} \Gamma_{z,i} \end{aligned} \right\} \quad /50/$$

gdzie  $\gamma$  - ilość źródeł błędów.

We wzorach /49/  $r_i$  - systematyczny błąd strzelania <sup>spowodowany</sup>  $i$ -tą przyczyną;  $\cos /r_i, y/$  i  $\cos /r_i, z/$  - kosinusy kątów zawartych między  $r_i$  a osiami współrzędnych  $y$  i  $z$ .

Wzory na obliczenie kierunkowych kosinusów  $\cos /r_i, y/$  i  $\cos /r_i, z/$  będą analogiczne jak wzory podane w tabelach 2 i 3.

Obliczone wartości  $r_y$  i  $r_z$  są charakterystykami położenia środka ugrupowania 'sumarycznych błędów strzelania, względem którego występuje rozrzut przypadkowych sumarycznych błędów strzelania. Istnienie sumarycznych systematycznych błędów strzelania powoduje systematyczne jednostronne przesunięcie środka ugrupowania tras względem celu.

Prócz nadziei matematycznej sumarycznych błędów strzelania do charakterystyki funkcji przypadkowych  $Y/t/$  i  $Z/t/$  trzeba znać: korelacyjne funkcje sumarycznych błędów strzelania  $K_y/t_1, t_2/$  i  $K_z/t_1, t_2/$  korelacyjne funkcje więzów sumarycznych błędów strzelania.  $K_z/t_1, t_2/$  i  $K_{zy}/t_1, t_2/$  lub unormowane korelacyjne funkcje  $\rho_y/t_1, t_2/$ ,  $\rho_z/t_1, t_2/$  i unormowane korelacyjne funkcje wzajemne  $\rho_{yz}/t_1, t_2/$ ,  $\rho_{zy}/t_1, t_2/$ .

Kolejność określania wymienionych charakterystyk jest następująca:

1. Zakłada się warunki: prędkość celu  $V_c$ , wysokość lotu celu  $H$ , parametr kursowy  $P$ , kąt nurkowania /wznoszenia/ $\lambda$ .
2. Na podstawie danych doświadczalnych oblicza się błędy średnie kwadratowe spowodowane różnymi przyczynami  $\sigma_i$  i unormowane korelacyjne funkcje  $\rho_i/t_1, t_2/$ .
3. Na kursie celu wybiera się punkty wyprzedzone dla odstępu czasu  $\Delta t = t_1 - t_2$ , na przykład co 1-2 sek.
4. Dla wybranych punktów wyprzedzonych i odpowiadających im punktów strzału określa się współrzędne geometryczne, na podstawie których z tabel strzelniczych wypisuje się dane balistyczne niezbędne do obliczenia błęd odchyleń średnich kwadratowych błędów strzelania  $\delta_i$ .
5. Za pomocą wzorów podanych w tabelach 2 i 3 oblicza się odchylenia średnie kwadratowe błędów strzelania.

Tabela 2.

Rzuty odchyłeń średnich kwadratowych na osie współrzędnych y, z przy strzelaniu z PUAZO.

$\delta_i$	$\delta_{y,i}$	$\delta_{z,i}$
$\delta_\varphi$	$\delta_\varphi \left( \frac{\cos p_w}{\mu} + u s_1 s_2 \sin p_w \right)$	$\delta_\varphi u s_3 \sin p_w$
$\delta_{\beta_w}$	$-\delta_{\beta_w} u s_2 s_3$	$\delta_{\beta_w} u s_1$
$\delta_{c(w_0)}$	$\delta_{c(w_0)} \left( \frac{\cos p_w}{\mu} + u s_1 s_2 \sin p_w \right) + \delta_{t(w_0)} \left[ u s_2 \cos \lambda (s_1 \cos q_w - s_3 \sin q_w) + \frac{\sin \lambda}{\mu} \right]$	$\delta_{c(w_0)} u s_3 \sin p_w + \delta_{t(w_0)} u \cos \lambda (s_3 \cos q_w + s_1 \sin q_w)$
$\delta_{w_x}$	$\delta_{c(w_x)} \left( \frac{\cos p_w}{\mu} + u s_1 s_2 \sin p_w \right) + \delta_{t(w_x)} \left[ u s_2 \cos \lambda (s_1 \cos q_w - s_3 \sin q_w) + \frac{\sin \lambda}{\mu} \right]$	$\delta_{c(w_x)} u s_3 \sin p_w + \delta_{t(w_x)} u \cos \lambda \cdot (s_3 \cos q_w + s_1 \sin q_w)$
$\delta_{\beta_{w_2}}$	$-\delta_{\beta(w_2)} u s_2 s_3$	$\delta_{\beta(w_2)} u s_1$
$\delta_{r_N}$	$\delta_{r_N} \left( \frac{\cos p_w}{\mu} + u s_1 s_2 \sin p_w \right)$	$\delta_{r_N} u s_3 \sin p_w$
$\delta_{r_z}$	$-\delta_{r_z} u s_2 s_3$	$\delta_{r_z} u s_1$
$\delta_{\beta_{(0)}} + \delta_{p_{(0)}}$	$-\delta_{\beta_{(0)}} u s_2 s_3 + \delta_{p_{(0)}} (u s_1 s_2 \cos \lambda + \frac{\sin \lambda}{\mu})$	$\delta_{\beta_{(0)}} u s_1 + \delta_{p_{(0)}} u s_3 \cos \lambda$

Rzuty odchylen średnich kwadratowych na osie współrzędnych y, z przy strzelaniu z celownikiem

$\delta_i$	$\delta_{y,i}$	$\delta_{z,i}$
1	2	3
$\delta_{Dp}$	$\delta_c \left( \frac{\cos p_w}{\mu} + u s_1 s_2 \sin p_w \right) + \delta_s \left[ u s_2 \cos \lambda (s_1 \cos q_w - s_3 \sin q_w) + \frac{\sin \lambda}{\mu} \right]$	$\delta_c u s_3 \sin p_w + \delta_s u \cos \lambda (s_3 \cos q_w + s_1 \sin p_w)$
$\delta_V$	$\delta_v \left[ u s_2 \cos \lambda (s_1 \cos q_w - s_3 \sin q_w) + \frac{\sin \lambda}{\mu} \right]$	$\delta_v u \cos \lambda (s_3 \cos q_w + s_1 \sin p_w)$
$\delta_{(w_x)}$	$\delta_{c(w_x)} \left( \frac{\cos p_w}{\mu} + u s_1 s_2 \sin p_w \right) + \delta_{t(w_x)} \left[ u s_2 \cos \lambda (s_1 \cos q_w - s_3 \sin q_w) + \frac{\sin \lambda}{\mu} \right]$	$\delta_{c(w_x)} u s_3 \sin p_w + \delta_{t(w_x)} u \cos \lambda (s_3 \cos q_w + s_1 \sin p_w)$
$\delta_{(v_o)}$	$\delta_{c(v_o)} \left( \frac{\cos p_w}{\mu} + u s_1 s_2 \sin p_w \right) + \delta_{t(v_o)} \left[ u s_2 \cos \lambda (s_1 \cos q_w - s_2 \sin q_w) + \frac{\sin \lambda}{\mu} \right]$	$\delta_{c(v_o)} u s_3 \sin p_w + \delta_{t(v_o)} u \cos \lambda (s_3 \cos q_w + s_1 \sin p_w)$
$\delta_{\beta(w_z)}$	$-\delta_{\beta(w_z)} u s_2 s_3$	$\delta_{\beta(w_z)} u s_1$

1	2	3
$\delta_\beta$	$-\delta_\beta u s_2 [s_1 \sin(q_w - q_s) + s_3 \cos(q_w - q_s)]$	$\delta_\beta u [s_1 \cos(q_w - q_s) - s_3 \sin(q_w - q_s)]$
$\delta_p$	$\delta_p \left\{ u s_2 \sin p_s [s_1 \cos(q_w - q_s) - s_3 \sin(q_w - q_s)] + \frac{\cos p_s}{\mu} \right\}$	$\delta_p u \sin p_s [s_3 \cos(q_w - q_s) + s_1 \sin(q_w - q_s)]$
$\delta_q$	$\delta_q u s_2 (s_1 \sin q_w + s_3 \cos q_w)$	$\delta_q u (s_3 \sin q_w - s_1 \cos q_w)$
$\delta_\lambda$	$\delta_\lambda [u s_2 \sin \lambda (s_3 \sin q_w - s_1 \cos q_w) + \frac{\cos p_r}{\mu}]$	$\delta_\lambda u \sin \lambda (s_3 \cos q_w + s_1 \sin q_w)$
$\delta_{r_N}$	$\delta_{r_N} \left( \frac{\cos p_r}{\mu} + u s_1 s_2 \sin p_w \right)$	$\delta_{r_N} u s_3 \sin p_w$
$\delta_{r_z}$	$-\delta_{r_z} u s_2 s_3$	$\delta_{r_z} u s_1$

6. Oblicza się rzuty odchyłeń średnich kwadratowych  $\delta_i$  na osie współrzędnych y i z:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{y,i} &= \delta_i \cos(\delta_{i,y}) \\ \delta_{z,i} &= \delta_i \cos(\delta_{i,z}) \end{aligned} \right\} \quad /51/$$

gdzie  $\cos(\delta_{i,y})$  i  $\cos(\delta_{i,z})$  - kosinusy kątów zawartych między  $\delta_i$  i osiami współrzędnych y i z.

Wzory robocze na obliczenie rzutów odchyłeń średnich kwadratowych podane są w tabelach 2 i 3. Wartość  $\mu$  oblicza się z wyrażenia

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{S_1^2 + S_3^2}}$$

7. Oblicza się momenty korelacyjne sumarycznych błędów strzelania. Dla przypadku gdy sumaryczny błąd strzelania jest skutkiem jednoczesnego działania niezwiązanych ze sobą źródeł błędów, momenty korelacyjne sumarycznego błędu strzelania można obliczyć bezpośrednio na podstawie tabel rzutów odchyłeń średnich kwadratowych i unormowanych funkcji korelacyjnych dla wybranych punktów wyprzedzonych

$$\left. \begin{aligned} K_y(t_1, t_2) &= \sum_{i=1}^{\gamma} \rho_i(t_1, t_2) \delta_{y,i}(t_1) \delta_{y,i}(t_2) \\ K_z(t_1, t_2) &= \sum_{i=1}^{\gamma} \rho_i(t_1, t_2) \delta_{z,i}(t_1) \delta_{z,i}(t_2) \\ K_{yz}(t_1, t_2) &= \sum_{i=1}^{\gamma} \rho_i(t_1, t_2) \delta_{y,i}(t_1) \delta_{z,i}(t_2) \\ K_{zy}(t_1, t_2) &= \sum_{i=1}^{\gamma} \rho_i(t_1, t_2) \delta_{z,i}(t_1) \delta_{y,i}(t_2) \end{aligned} \right\} \quad /52/$$

gdzie  $\gamma$  - ilość niezależnych źródeł błędów;

$\delta_{y,i}, \delta_{z,i}$  - rzuty i-tego odchylenia średniego kwadratowego na osie y i z dla punktów wyprzedzonych odpowiadających czasom  $t_1$  i  $t_2$ ;

$\rho_{1/t_1, t_2}$  - współczynnik korelacji między błędami i-tego źródła na dwóch kierunkach dla punktów wyprzedzonych, odpowiadających czasem  $t_1$  i  $t_2$ .

Dyspersje sumarycznych błędów strzelania na kierunkach osi  $y$  i  $z$  będą równe

$$\left. \begin{aligned} D_y = K_y(t, t) &= \sum_{i=1}^r \delta_{y,i}^2 \\ D_z = K_z(t, t) &= \sum_{i=1}^r \delta_{z,i}^2 \end{aligned} \right\} \quad /53/$$

a odchylenia średnie kwadratowe sumarycznego błędu strzelania na kierunkach osi  $y$  i  $z$

$$\delta_y = \sqrt{D_y} \quad i \quad \delta_z = \sqrt{D_z}.$$

Oczywiście, że

$$K_{yz}(t, t) = K_{zy}(t, t) = \rho_{yz} \delta_y \delta_z = \sum_{i=1}^r \delta_{y,i} \delta_{z,i}$$

Dla ustalonego momentu czasu prawo błędów strzelania w układzie współrzędnych  $yz$  będzie posiadało postać

$$\varphi(y-r_y, z-r_z) = \frac{1}{2\pi \delta_y \delta_z \sqrt{1-\rho_{yz}^2}} e^{-\frac{1}{2(1-\rho_{yz}^2)} \left[ \frac{(y-r_y)^2}{\delta_y^2} - 2\rho_{yz} \frac{(y-r_y)(z-r_z)}{\delta_y \delta_z} + \frac{(z-r_z)^2}{\delta_z^2} \right]}$$

gdzie  $r_y, r_z$  - systematyczne błędy;

$$\rho_{yz} = \frac{\sum_{i=1}^r \delta_{y,i} \delta_{z,i}}{\delta_y \delta_z} - \text{współczynnik korelacji między błędami strzelania na kierunkach osi } y \text{ i } z.$$

8. Aby określić dyspersje sumarycznego błędu strzelania na kierunkach głównych osi rozrzutu trzeba odwrócić osie o kąt  $\alpha$ , który określa się z wyrażenia

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2K_{zy}}{D_z - D_y} = \frac{2\rho_{zy} \delta_y \delta_z}{\delta_z^2 - \delta_y^2} \quad /54/$$

Równanie /40/ określa kolejność kątów  $\alpha$ , uszeregowanych w odstępie  $\frac{\pi}{2}$ , ponieważ tangens posiada okres  $\pi$ .

Z dwóch kątów  $\alpha$  i  $\alpha + \frac{\pi}{2}$  w granicach jednego okresu należy brać ten, który spełnia warunek, że  $\sin 2\alpha$  posiada taki sam znak co i  $K_{zy}$ , a  $\cos 2\alpha$  posiada znak wielkości  $|D_z - D_y|$ . Jeżeli  $K_{zy} > 0$ , to kąt  $\alpha$  leży w I lub III ćwiartce, a jeżeli  $K_{zy} < 0$  - w drugiej lub czwartej ćwiartce. Przy tym warunku kąt  $\alpha$  będzie zawarty między większą osią elipsy rozrzutu i osią Z.

Kierunek większej osi elipsy rozrzutu przyjmujemy za oś  $\xi$  a małej osi elipsy - za oś  $\eta$ . Wówczas  $\alpha$  jest kątem zawartym między osią z i osią  $\xi$ .

Dyspersje sumarycznego błędu strzelania na kierunkach  $\xi$  i  $\eta$ :

- na kierunku większej półosi

$$D_{\xi} = \frac{1}{2} [D_y - D_z + \sqrt{(D_z - D_y)^2 + 4K_{yz}}]$$

- na kierunku małej półosi

$$D_{\eta} = \frac{1}{2} [D_y - D_z - \sqrt{(D_z - D_y)^2 + 4K_{yz}}]$$

/55/

Wzory / 55 / są jednoznaczne ze wzorami

$$D_{\xi} = D_y \sin^2 \alpha + D_z \cos^2 \alpha + K_{yz} \sin 2\alpha$$

$$D_{\eta} = D_y \cos^2 \alpha + D_z \sin^2 \alpha - K_{yz} \sin 2\alpha$$

/56/

Główne odchylenia średnie kwadratowe sumarycznego błędu strzelania, dla ustalonego momentu czasu, będą równe

$$\sigma_{\xi} = \sqrt{D_{\xi}} \quad i \quad \sigma_{\eta} = \sqrt{D_{\eta}}$$

Korelacyjne funkcje i korelacyjne funkcje wzajemne sumarycznego błędu strzelania na kierunkach głównych osi rozrzutu oblicza się ze wzorów:

$$K_{\xi} (t_1, t_2) = K_z(t_1, t_2) \cos \alpha(t_1) \cos \alpha(t_2) + K_y(t_1, t_2) \sin \alpha(t_1) \cdot \sin \alpha(t_2) + K_{yz}(t_1, t_2) \sin \alpha(t_1) \cdot \cos \alpha(t_2) + K_{zy}(t_1, t_2) \cos \alpha(t_1) \cdot \sin \alpha(t_2)$$

$$K_{\eta} (t_1, t_2) = K_z(t_1, t_2) \sin \alpha(t_1) \sin \alpha(t_2) + K_y(t_1, t_2) \cos \alpha(t_1) \cdot \cos \alpha(t_2) - K_{yz}(t_1, t_2) \sin \alpha(t_1) \cos \alpha(t_2) - K_{zy}(t_1, t_2) \cos \alpha(t_1) \sin \alpha(t_2)$$

$$K_{\xi \eta} (t_1, t_2) = K_y(t_1, t_2) \sin \alpha(t_1) \cos \alpha(t_2) + K_{zy}(t_1, t_2) \cos \alpha(t_1) \cdot \cos \alpha(t_2) - K_z(t_1, t_2) \cos \alpha(t_1) \cos \alpha(t_2) - K_{yz}(t_1, t_2) \sin \alpha(t_1) \sin \alpha(t_2)$$

$$K_{\eta \xi} (t_1, t_2) = K_y(t_1, t_2) \cos \alpha(t_1) \sin \alpha(t_2) + K_{yz}(t_1, t_2) \cos \alpha(t_1) \cdot \cos \alpha(t_2) - K_z(t_1, t_2) \sin \alpha(t_1) \cos \alpha(t_2) - K_{zy}(t_1, t_2) \sin \alpha(t_1) \cdot \sin \alpha(t_2)$$

Oczywiście, że  $K_{\xi \eta} (t_1, t_2) = K_{\eta \xi} (t_1, t_2) = 0$ .

Sumaryczne systematyczne błędy strzelania na kierunkach głównych osi rozrzutu będą równe

$$\left. \begin{aligned} \Gamma_{\xi} &= \Gamma_z \cos \alpha + \Gamma_y \sin \alpha \\ \Gamma_{\eta} &= -\Gamma_z \sin \alpha + \Gamma_y \cos \alpha \end{aligned} \right\} /58/$$

Wzorem na obliczenie głównych odchyłeń średnich kwadratowych sumarycznego błędu strzelania niekiedy nadaje się następującą postać:

$$\sigma_{\xi} = \sqrt{A + B \operatorname{tg} \alpha} \quad \text{i} \quad \sigma_{\eta} = \sqrt{C - B \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad /59/$$

gdzie  $A = D_y = \sum_{i=1}^r \delta_{y,i}^2$ ,  $C = D_z = \sum_{i=1}^r \delta_{z,i}^2$ ,

$$B = K_{yz} = \sum_{i=1}^r \delta_{y,i} \delta_{z,i}, \quad \operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2B}{A-C}$$

/z dwóch kątów  $\alpha$  trzeba brać ten, dla którego  $\cos 2\alpha$  posiada ten sam znak, co i różnica  $A-C$ /.

Gęstość prawdopodobieństwa prawa rozkładu sumarycznego błędu strzelania w układzie współrzędnych  $\xi \eta$  można zapisać w sposób następujący:

$$\Psi(\xi - r_{\xi}, \eta - r_{\eta}) = \frac{1}{2\pi \sigma_{\xi} \sigma_{\eta}} e^{-\frac{1}{2} \left[ \frac{(\xi - r_{\xi})^2}{\sigma_{\xi}^2} + \frac{(\eta - r_{\eta})^2}{\sigma_{\eta}^2} \right]} \quad /60/$$

Dotychczas nie ma dogodnej metody obliczania prawdopodobieństwa rażenia samolotu serią automatycznego ognia składającej się z  $n$  strzałów z uwzględnieniem dowolnej korelacyjnej zależności między strzałami. Dlatego stosuje się przybliżoną metodę polegającą na tym, że realny układ sumarycznych błędów strzelania zastępuje się układem dwóch grup błędów strzelania. Pod pojęciem układu dwóch grup błędów strzelania rozumie się taki układ, w którym wszystkie błędy obarczające każdy strzał serii dzieli się na dwie niezależne od siebie grupy. Stąd dowolny błąd w jednej grupie nie zależy od błędów drugiej grupy. Prócz tego w ramach pierwszej grupy błędy odnoszące się do różnych strzałów także nie są ze sobą związane, a w ramach drugiej grupy związane są zależnością funkcjonalną.

Innymi słowy pierwszą grupę tworzą błędy posiadające współczynnik korelacji dla dowolnego odstępu czasu  $\Delta t = t_2 - t_1$  równy zeru, to jest niepowtarzające się błędy, a drugiej grupy należą błędy, których współczynnik korelacji dla dowolnego  $\Delta t$  jest równy jedności, tj. powtarzające się błędy. W wyniku takiego zastąpienia realnego układu błędów przez układ dwóch grup błędów seria składająca się z  $n$  strzałów przekształca się w salwę  $n$  strzałów. W rzeczywistości przy strzelaniu salwą gdy  $n$  strzałów oddaje się w tym samym momencie czasu wszystkie błędy można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej grupy wejdą błędy, które powodują rozrzut oddzielnych tras względem środka ugrupowania, a do drugiej grupy - błędy powodujące rozrzut środków ugrupowania tras względem celu /pod warunkiem, że nie ma systematycznych błędów/.

Błędy pierwszej grupy dla każdego strzału w salwie będą niezależne od siebie. Błędy drugiej grupy nie będą zależne do błędów pierwszej grupy i pozostaną niezależne dla wszystkich strzałów salwy, tj. będą ze sobą związane zależnością funkcjonalną.

Przy sprowadzaniu ogólnego przypadku zależności korelacyjnej strzałów do układu dwóch grup błędów, w istocie rzeczy, zastępuje się zmienne współczynniki korelacji pewnymi średnimi wartościami. Innymi słowy przyjmuje się średnie wartości współczynników korelacji na odpowiednich warunkach. W przybliżeniu można brać współczynniki korelacji równe średnim arytmetycznym zmiennych współczynników korelacji.

Jeżeli współczynniki korelacji znacznie się różnią między sobą to należy brać średnie wartości kwadratów współczynników korelacji.

Na podstawie średnich wartości współczynników korelacji określa się dyspersje powtarzających się i niepowtarzających błędów

$$\left. \begin{aligned} D_{y,II} &= \rho_{y,ir} D_y & \text{lub } D_{g,II} &= \rho_{g,ir} D_g \\ D_{z,II} &= \rho_{z,ir} D_z & \text{lub } D_{\eta,II} &= \rho_{\eta,ir} D_{\eta} \\ D_{y,I} &= D_y - D_{y,II} & \text{lub } D_{g,I} &= D_g - D_{g,II} \\ D_{z,I} &= D_z - D_{z,II} & \text{lub } D_{\eta,I} &= D_{\eta} - D_{\eta,II} \end{aligned} \right\}$$

/61/

Znając dyspersje można przejść do odchyleń średnich kwadratowych błędów strzelania.

---

## R O Z D Z I A Ł    I I

### BŁĘDY STRZELANIA ARTYLERII PRZECIWLOTNICZEJ SK DO CELÓW POWIETRZNYCH

#### 5. Podział błędów strzelania

W celu zbadania wpływu różnych źródeł błędów na wyniki strzelania wszystkie błędy przypadkowe, towarzyszące strzelaniu rozpryskowemu z PUAZO, celowo jest podzielić na następujące niezależne od siebie grupy:

- błędy w wypracowaniu nastaw do strzelania;
- błędy w określeniu i uwzględnieniu odchyleń warunków strzelania od tabelarnych;
- błędy przygotowania sprzętu i amunicji do strzelania;
- błędy technicznego rozrzuotu rozprysków.

Powyższy podział błędów na niezależne grupy ułatwia określenie charakterystyk prawdopodobieństw sumarycznych błędów strzelania.

Jako charakterystyki błędów stosuje się:

- nadzieję matematyczną błędów /błąd systematyczny/  
 $m_1$ ;
- błąd średni kwadratowy /charakterystyka rozrzuotu możliwych wartości błędów w okół nadziei matematycznej/  
 $\sigma_i$ ;
- moment korelacyjny  $K_1/t_1, t_2$ / lub unormowany współczynnik korelacji  $\rho_1/t_1, t_2$ /, wskazujący na zależność między błędami w momentach czasu  $t_1$  i  $t_2$ .

Odchylenia rozprysków od celu, wywołane wymienionymi wyżej błędami, przyjęto nazywać błędami strzelania. Charakterystyki prawdopodobieństwoowe strzelania oznaczają się:

- nadzieję matematyczną /systematyczny błąd strzelania/ -  $t_i$ ;

- odchylenie średnie kwadratowe błędów strzelania -  $\delta_1$ .

Zarówno błędy wywołane różnymi źródłami, jak odpowiadające im błędy strzelania są przypadkowymi funkcjami czasu. Rozrzut ich możliwych wartości w okół nadziei matematycznej, dla danego momentu czasu  $t$ , w większości wypadków, podlega rozkładowi normalnemu.

#### 6. Błędy w wypracowaniu nastaw do strzelania i ich wpływ na położenie rozprysku

Nastawami do strzelania z PUAZO są: azymut wyprzedzony  $\beta_w$ , kąt podniesienia  $\varphi$  i nastawa zapalnika  $z$ . Głównymi przyczynami wywołującymi błędy w wypracowaniu nastaw do strzelania są: błędy w określeniu i wprowadzeniu do PUAZO bierzących współrzędnych celu; błędy hipotezy ruchu celu w czasie wyprzedzenia; błędy PUAZO jako maszyny matematycznej; błędy napędów siłowych.

Na dokładność wypracowania nastaw do strzelania, w trakcie samego strzelania, jednocześnie wpływają wszystkie źródła błędów, w wyniku czego na działa przekazywane są współrzędne punktu wyprzedzonego z błędami, powodującymi błędy strzelania.

Jak wykazują doświadczenia nadzieje matematyczne funkcji przypadkowych błędów w wypracowaniu nastaw do strzelania - błędy systematyczne  $m_{\beta_w}(t)$ ,  $m_{\varphi}(t)$  i  $m_z(t)$  - nie są równe zeru. Tłumaczy się to tym, że przy konstrukcji PUAZO przyjęto pewne upraszczające założenia, jak również obecnością błędów systematycznych w określeniu i wprowadzeniu do przelicznika bieżących współrzędnych celu i nie nadążaniem w dynamice urządzeń śledzących.

Wartości błędów systematycznych w wypracowaniu nastaw do strzelania dla 100 mm baterii plot. przy strzelaniu do pojedynczego celu ilustruje tabela 4.

Tabela 4.

Sposób określenia bie- żących współrzędnych celu	Warunki lotu celu			Błędy systematycz- ne	t (sek) do parametru							t (sek) za parametrem				
	H (m)	P (m)	$v$ (w m/s)		70	60	50	40	30	20	10	0	10	20		
SON-9				$m_{\beta w}$ (w tys.)	-9	-10	-9	-4	-4	-10	-5	0	10	20	+2	+2
				$m_{\varphi}$ (w tys.)	-5	-6	-10	-3	-7	-3	+4	+5	+5	+5	+5	+5
				$m_z$ (w p.z.)	+0,3	+2	+1	-1	+1	+1	+1	0	0	-1	-2	-2
D-49				$m_{\beta w}$ (w tys.)	+3	0	-2	+2	+2	+10	+12	+10	+8	+8	+4	+4
				$m_{\varphi}$ (w tys.)	-12	-10	-7	-11	-9	-4	-3	-4	-8	-8	-10	-10
				$m_z$ (w p.z.)	-3,8	-0,5	+1	-1	-2	-2,5	-3	-2,5	-2	-2	+3,8	+3,8

Jak wynika z tabeli 4, błędy systematyczne nie zachowują stałych wartości w toku strzelania. Zrozumiałe, że błędy systematyczne w wypracowaniu nastaw do strzelania znacznie obniżają skuteczność strzelania.

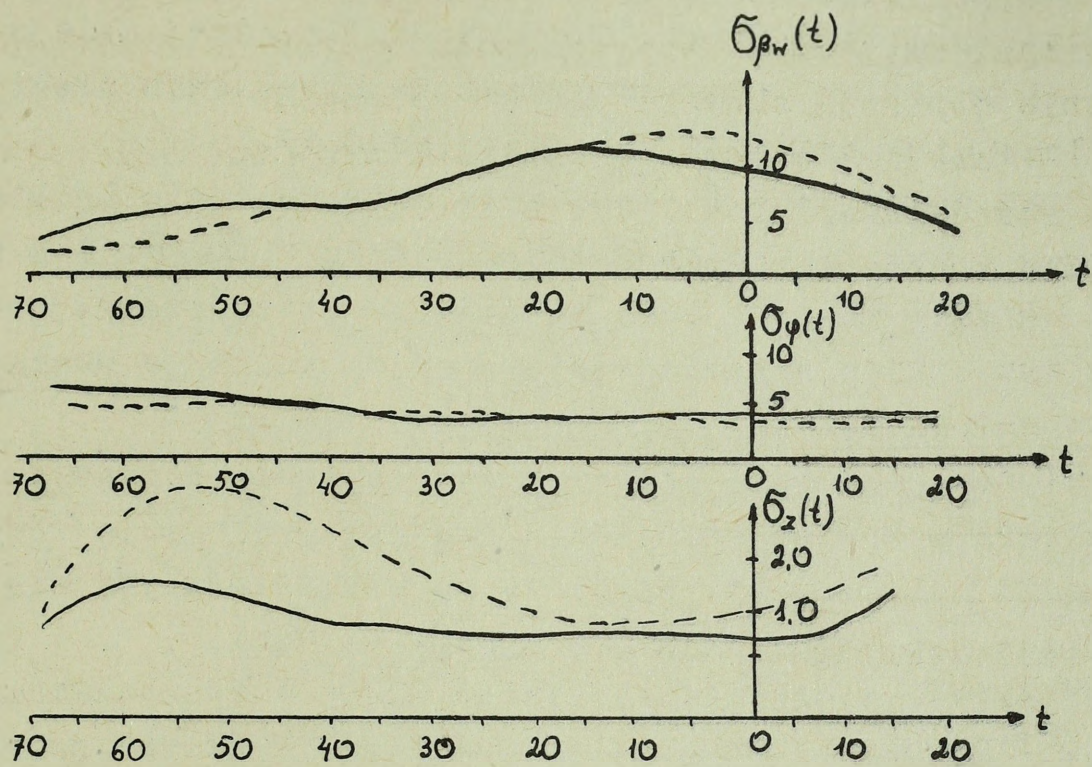
W tabeli 5 podane są wartości prawdopodobieństwa rażenia samolotu przy strzelaniu 100 mm baterii dla warunków i błędów podanych w tabeli 4.

Tabela 5

Rodzaj pracy PUAZO	Brak błędów systematycznych	Są błędy systematyczne
"Od radiolokatora tylko odległość"	0,262	0,179
"Radiolokator"	0,215	0,140
"Dalmierz - lot poziomy"	0,190	0,035

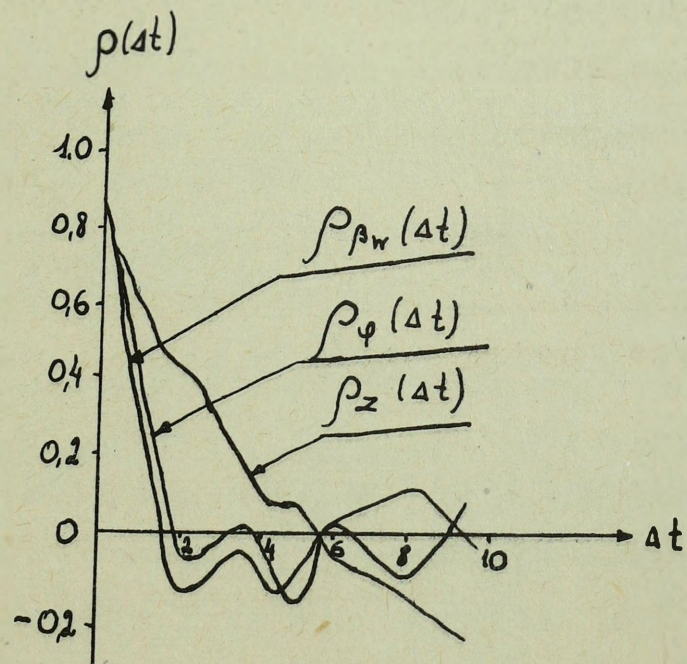
Na rys.27 pokazany jest charakter zmiany błędów średnich kwadratowych  $\sigma_{\beta_w}$ ,  $\sigma_{\varphi}$  i  $\sigma_z$ , charakteryzujących rozrzut błędów przypadkowych w wypracowaniu nastaw do strzelania w okół ich nadziei matematycznej i w zależności od położenia celu na kursie.

Wykresy sporządzono dla przypadku strzelania 100 mm baterii z PUAZO-6 i SON-9, przy określeniu bieżących współrzędnych celu przez RSA /linia ciągła/ i dalmierz /linia przerywana/ oraz warunków :  $H = 8000$  m,  $P = 4000$  m i  $V_c = 200$  m/sek./cel pojedynczy/.



Rys.27

Krzywe na Rysunku 28 przedstawiają unormowane korelacyjne funkcje błędów wypracowania nastaw do strzelania.



Rys.28

Z rysunku 28 wynika, że ze zwiększeniem odstępu czasu zależność między błędami dowolnej współrzędnej maleje i przy  $\Delta t \geq 2$  sek można je uważać za niezależne praktycznie /współczynnik korelacji mniejszej od 0,5/.

Tak więc, jeżeli strzelanie prowadzi się będzie z odstępem 5 sek, to błędy w wypracowaniu  $\beta_w, \psi$  i z praktycznie między salwami będą niezależne /niepowtarzające się/, a dla wszystkich strzałów jednej salwy można je uważać jako funkcjonalnie zależne /powtarzające się/.

I tak, obecność błędów w wypracowaniu nastaw do strzelania powoduje odchylenia środków grupowania rozprysków salw od celu, tj. błędy te są powtarzającymi się w salwach lecz nie powtarzają się między salwami.

Jak wykazują doświadczenia, błędy w wypracowaniu  $\beta_w, \psi$  i z między sobą można praktycznie uważać za niezależne /wartości unormowanych korelacyjnych funkcji wzajemnych nie przekraczają 0,3-0,4/. Dlatego też wpływ błędów w wypracowaniu nastaw do strzelania na położenie rozprysków w stosunku do celu /obliczanie odpowiadających im błędów strzelania/ można rozpatrywać z osobną, niezależnie jednych od drugich. Innymi słowy, można rozpatrywać wpływ błędów jednej wielkości, zakładając, że pozostałe wypracowane są bez błędów.

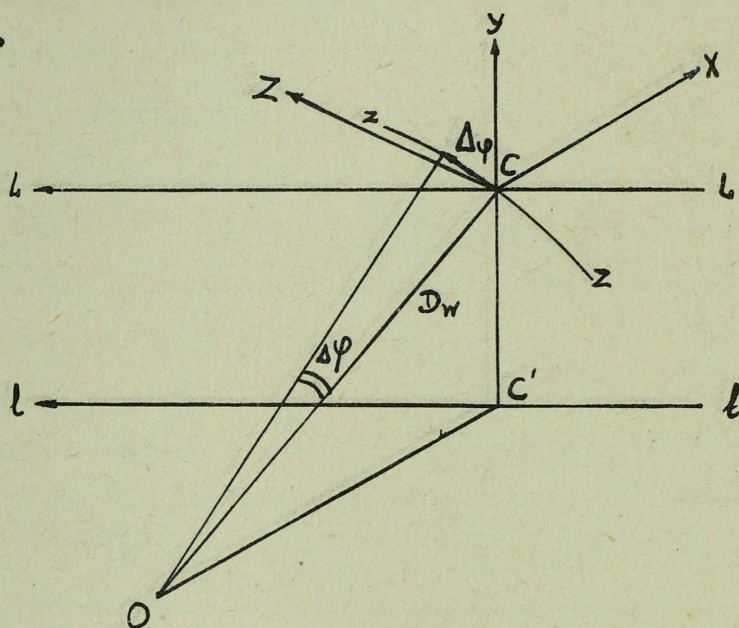
Jeżeli popełniono błąd tylko w wypracowaniu azymutu wyprzedzonego  $\Delta\beta_w$  i nie uwzględniając rozrzutu dział jak również innych błędów, to rozprysk nastąpi na krzywej izozapalnikowej, przechodzącej przez cel w płaszczyźnie poziomej.

Jednakże w granicach możliwych zmian błędów  $\Delta\beta_w$  krzywizna izozapalnikowej jest nieznaną, w wyniku czego odcinek krzywej RC /R'C'/ można przyjąć za prostą/rys.29/.



gdzie:  $l_\varphi$  - przesunięcie liniowe wzdłuż izozapalnikowej krzywej przy zmianie kąta podniesienia w 1 tys., które można określić z tabel strzelniczych.

Kierunek  $\Delta\varphi$  pokrywa się ze styczną do izozapalnikowej krzywej, przechodzącej przez cel w płaszczyźnie pionowej /rys.30/.



Rys.30.

Kąt  $\alpha_\varphi$  zawarty między  $\Delta\varphi$  i poziomem można odczytać z wykresu balistycznego. Doświadczenia wykazują, że  $\alpha_\varphi$  mało różni się od wartości  $90^\circ + p_w$ . Dlatego też błąd strzelania  $\Delta\varphi$  praktycznie można obliczyć ze wzoru

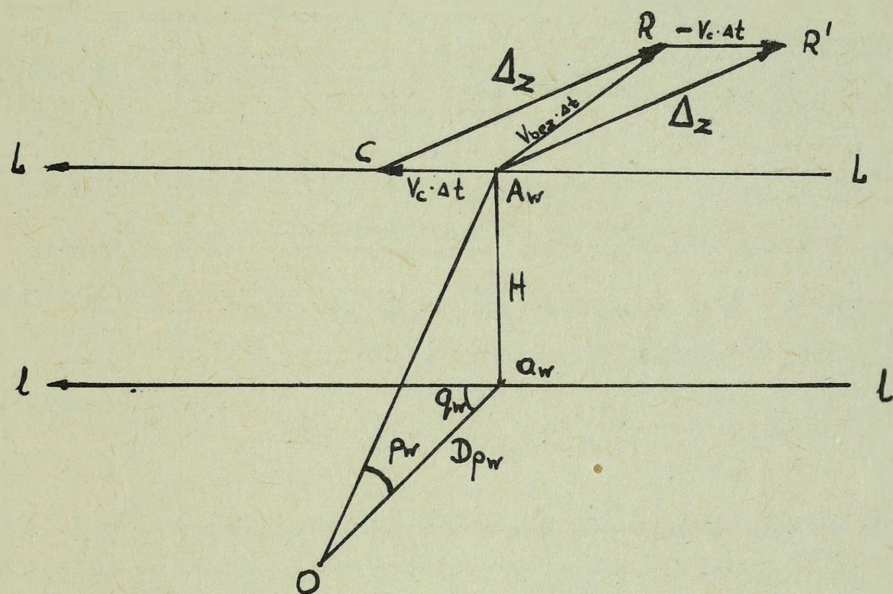
$$\Delta\varphi = \Delta\psi \cdot D_w \quad / \quad \text{w radianach} / \quad /64/$$

Nadzieja matematyczna i odchylenie średnie kwadratowe błędu strzelania, jako przypadkowego wektora w wyniku błędów kąta podniesienia, może być określone ze wzorów

$$\left. \begin{aligned} r_\varphi &= m_\varphi \cdot D_w \\ \delta_\varphi &= \sigma_\varphi \cdot D_w \end{aligned} \right\} \quad /65/$$

Założmy z kolei, że w rejestrowanym momencie czasu, odpowiadającym momentowi oddania któregoś z salw, popełniono błąd w wypracowaniu nastawy zapalnika  $\Delta z$  /w p.z./

w stronę zwiększenia nastawy. W wyniku tego błędu rozprysk nastąpi później w czasie o  $\Delta t$ ; w tym to czasie pocisk po swoim torze przeleci odcinek  $A_W R = V_{\text{bez}} \cdot \Delta t$  /rys.31/.



Rys.31.

$V_{\text{bez}}$  - prędkość pocisku na wysokości  $H$  i odległości poziomej  $D_{pw}$ .

Najczęściej  $\Delta t$  małe, dlatego odcinek toru pocisku  $A_W R$  można przyjąć za prostą, pokrywającą się z wektorem prędkości bezwzględnej. Kierunek wektora prędkości bezwzględnej w stosunku do poziomu charakteryzuje kąt  $\alpha$ , który można określić na podstawie tabel strzelniczych.

W czasie  $\Delta t$  cel przesunie się wzdłuż kursu na odległość  $A_W C = V_c \cdot \Delta t$ , stąd  $\Delta_z = C R$ .

Nie trudno zauważyć, że  $\Delta_z$  jest wektorem prędkości względnej ruchu pocisku w czasie  $\Delta t$ . Istotnie, przenieśmy wektor  $\Delta_z$  równoległe w stosunku do siebie tak, aby jego początek pokrywał się z punktem  $A_W$ , wówczas  $\Delta_z = A_W R'$ . Z rysunku wynika, że  $\overline{RR'} = \overline{A_W C}$  jest odcinkiem przenoszenia celu, a wektor  $\overline{A_W R}$  - bezwzględnym przesunięciem pocisku. Stąd wektor  $\Delta_z = \overline{A_W R'}$  jest wektorem względnego ruchu pocisku w czasie  $\Delta t$ , który charakteryzuje wzajemne położenie celu i pocisku /zakłada się przy tym, że cel znajduje się w punkcie  $A_W$ /.

Wartość wektora  $\Delta_z$  może być obliczona w sposób następujący:

$$\bar{\Delta}_z = \bar{V}_{bez} \cdot \Delta t - \bar{V}_c \cdot \Delta t = (\bar{V}_{bez} - \bar{V}_c) \cdot \Delta t = \bar{V}_{wzg} \cdot \Delta t.$$

gdzie:

$$V_{wzg} = \sqrt{V_{bez}^2 + V_c^2 + 2V_{bez} \cdot V_c (\cos \alpha \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda - \sin \lambda \cdot \sin \alpha)}$$

Błąd czasu lotu pocisku  $\Delta t$  w sek. związany jest z błędem czasu działania zapalnika  $\Delta z$  /w p.z./ zależnością  $\Delta t = l_z \cdot \Delta z$ , tu  $l_z$  - wartość jednej podziałki zapalnika mianowana w sekundach,

$$\text{wówczas } \Delta_z = V_{wzg} \cdot l_z \cdot \Delta z \quad /66/$$

Wartość  $l_z$  dla konkretnych warunków strzelania można określić na podstawie tabel strzelniczych. Dla zapalników mechanicznych typu WM-30 średnio można przyjąć, że

$$l_z = 0,16 \text{ sek, a dla zapalnika T-5 - } l_z = 1,7 \text{ sek.}$$

Dla małych  $\Delta t$  tor pocisku  $A_w R'$  można przyjąć za linię prostą, pokrywającą się z wektorem prędkości względnej pocisku. Dlatego też przyjmuje się, że błąd strzelania  $\Delta_z$  w wyniku błędu w wypracowaniu nastawy zapalnika  $\Delta z$  pokrywa się z kierunkiem wektora prędkości względnej pocisku. Nadzieja matematyczna  $r_z$  i odchylenie średnie kwadratowe  $\delta_z$  określa się ze wzorów:

$$r_z = V_{wzg} \cdot m_z \cdot l_z \quad i \quad \delta_z = V_{wzg} \cdot \sigma_z \cdot l_z \quad /67/$$

Rozpatrzone błędy strzelania  $\Delta \beta_w$ ,  $\Delta \varphi$  i  $\Delta z$  są składowymi przypadkowego wektora w przestrzeni - sumarycznego błędu strzelania.

Przy określaniu parametrów sumarycznego przypadkowego wektora należy dla każdego z osobna przypadkowego wektora określić nadzieje matematyczne /składowe błędu systematycznego/ i dyspersje na kierunkach osi wybranego układu współrzędnych. Wówczas składowe sumarycznego systematycznego błędu /współrzędne środka rozrzutu sumarycznego

przypadkowego wektora/ mogą być określone na podstawie twierdzenia o sumie nadziei matematycznych, a mianowicie:

$$\Gamma_x = \sum_1^3 \Gamma_{x,i} ; \Gamma_y = \sum_1^3 \Gamma_{y,i} ; \Gamma_z = \sum_1^3 \Gamma_{z,i}$$

/68/

Dyspersje tego wektora na dowolnym kierunku mogą być określone na podstawie twierdzenia o sumie składowych dyspersji: ~~na wybranym kierunku będą się równać~~, np. na kierunku osi współrzędnych  $x$

$$D_x = D_{\rho_w, x} + D_{\varphi, x} + D_{z, x} .$$

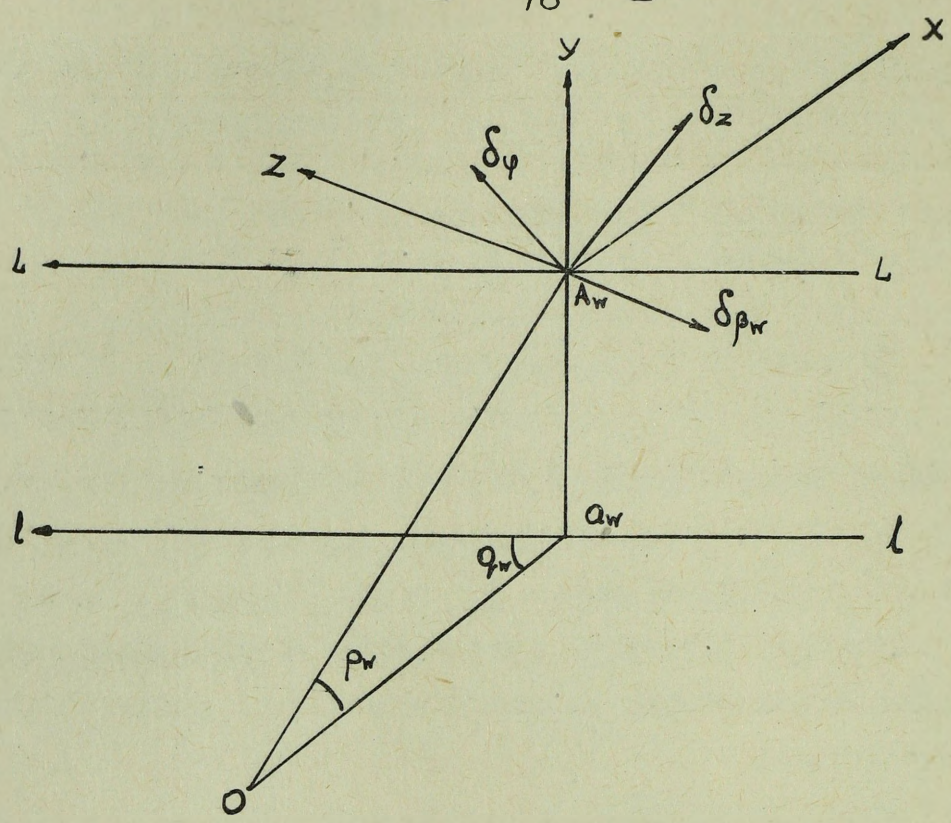
Znając wartości dyspersji łatwo obliczyć odchylenia średnie kwadratowe na kierunkach osi prostokątnego układu współrzędnych

$$\left. \begin{aligned} \delta_x &= \sqrt{D_x} = \sqrt{\delta_{\varphi, x}^2 + \delta_{z, x}^2} \\ \delta_y &= \sqrt{D_y} = \sqrt{\delta_{\varphi, y}^2 + \delta_{z, y}^2} \\ \delta_z &= \sqrt{D_z} = \sqrt{\delta_{\rho_w, z}^2 + \delta_{z, z}^2} \end{aligned} \right\}$$

/69/

Na rysunku 32 przedstawione są odchylenia średnie kwadratowe w prostokątnym układzie współrzędnych.

Określone ~~wyżej~~ parametry charakteryzują błędy strzelania, powtarzające się w salwach, lecz nie powtarzające się między salwami.



Rys. 32.

Rzutowanie parametrów przypadkowych wektorów na osie współrzędnych odbywa się na ogólnych zasadach rzutowania wektora na osie współrzędnych.

Robocze wzory podane są w tabeli 6.

Tabela 6

$\delta_i$	$\delta_{i,x}$	$\delta_{i,y}$	$\delta_{i,z}$
$\delta_{\beta_w} = D_{\beta_w} \cdot \delta_{\beta_w}$	0	0	$\delta_{\beta_w}$
$\delta_{\varphi} = D_w \cdot \delta_{\varphi}$	$-\delta_{\varphi} \cdot \sin p_w$	$\delta_{\varphi} \cdot \cos p_w$	0
$\delta_z = V_{wz} \cdot \delta_z \cdot l_z$	$\delta_z l_z (V_{bez} \cos \alpha + V_c \cos \lambda \cdot \cos q_w)$	$\delta_z l_z (V_{bez} \sin \alpha - V_c \cdot \sin \lambda)$	$-\delta_z l_z V_c \cdot \cos \lambda \cdot \sin q_w$

W sposób zupełnie podobny można rzutować błędy systematyczne strzelania, tj.  $\Gamma_{\beta_w}$ ,  $\Gamma_{\varphi}$  i  $\Gamma_z$ .

7. Błędy w określaniu i uwzględnianiu odchyłek balistycznych i meteorologicznych warunków strzelania od tabelarycznych i ich wpływ na strzelania.

Przy strzelaniu rozpryskowym artylerii przeciwlotniczej z PUAZO do celów powietrznych uwzględnia się:

- sumaryczną odchyłkę prędkości początkowej pocisku od tabelarycznej  $\Delta V_{0\text{sum}}$  ;
- sumaryczną balistyczną odchyłkę gęstości powietrza od tabelarycznej  $\Delta G_{\text{sum}}$  ;
- sumaryczną odchyłkę czasu działania zapalnika  $\Delta t_{\text{sum}}$  ;
- wiatr balistyczny
- itd.

Zarówno przy określaniu jak i przy uwzględnianiu wymienionych wyżej wielkości popełniane są błędy, będące funkcjami przypadkowymi czasu. Ich nadzieje matematyczne są równe zeru, tj. istniejące sposoby określania i uwzględniania odchyłek na balistyczne i meteorologiczne warunki strzelania od tabelarycznych nie są obarczone błędami systematycznymi.

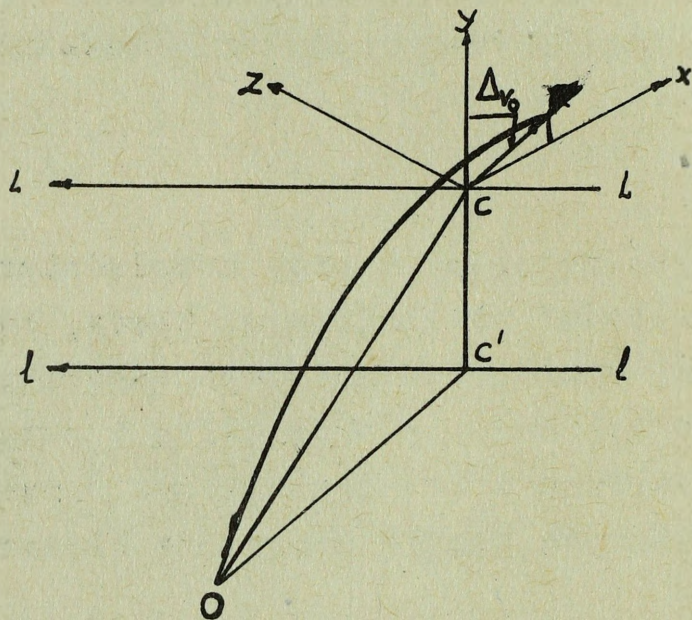
Ponieważ błąd przypadkowy, popełniony przy określaniu i uwzględnianiu odchyłki dowolnego balistycznego lub meteorologicznego czynnika od wartości tabelarycznej, zachowuje swoją wartość w ciągu całego strzelania, to można twierdzić, że między błędami przypadkowymi pojawiającymi się w momencie  $t_1$  i  $t_2$  jest zależność funkcjonalna /współczynnik korelacji równy jest jedności/. Wobec tego, omawiane błędy są powtarzającymi się w jednym strzelaniu lub w kilku strzelaniach aż będzie dokonane ponowne obliczenie poprawek na odchyłki balistycznych i meteorologicznych warunków strzelania. Powodują one odchylenia środków grupowania rozprysków wszystkich salw.

a/ Wpływ na strzelanie błędów w określeniu i uwzględnieniu  $\Delta V_{0\text{sum}}$ .

Założmy, że w pewnym momencie czasu wystąpił błąd przypadkowy w określeniu i uwzględnieniu  $\Delta V_{0\text{sum}}$

$$\Delta V_0 = \Delta V_{0\text{sum, uwzgl.}} - \Delta V_{0\text{sum, rzecz.}}$$

Założmy, że na PUAZO uwzględniono  $\Delta V_{0\text{sum, uwzgl.}}$  przelicznik, wypracuje dane do strzelania dla punktu C /rys.33/. Temu punktowi odpowiadać będzie określony



Rys.33

czas lotu pocisku, a tym samym i nastawa zapalnika, określona wartość azymutu wyprzedzonego i kąta podniesienia.

Ponieważ  $\Delta V_{0\text{sum}}$  uwzględniono z błędem, to tor pocisku, nie uwzględniają innych błędów, nie przejdzie przez punkt C, a przejdzie wyżej lub niżej

w zależności od znaku błędu  $\Delta V_0$  /przy  $\Delta V_0$  ze znakiem plus tor przejdzie niżej, a przy  $\Delta V_0$  ze znakiem minus - wyżej/.

Rozprysk nastąpi w momencie gdy cel znajdować się będzie w punkcie C, ponieważ przelicznik rozwiązuje zadanie spotkania dla tego punktu. W wyniku tego, że prędkość początkowa pocisku różni się od tej, dla której przelicznik rozwiązał zadanie spotkania, rozprysk przy tym samym czasie lotu pocisku nastąpi dalej lub bliżej celu. Tak więc, dla konkretnego momentu czasu w wyniku błędu  $\Delta V_0$  w określeniu i uwzględnieniu  $\Delta V_{0\text{sum}}$  wystąpi błąd strzelania  $\Delta v_0$ , leżący w płaszczyźnie strzelania i pod kątem  $\angle \epsilon_{v_0}$  do poziomemu

$$\left. \begin{aligned} \Delta v_0 &= \Delta V_0 \sqrt{\Delta D_{p(r),tab}^2 + \Delta H_{(r),tab}^2} \\ \operatorname{tg} \epsilon_{v_0} &= \frac{\Delta H_{(r),tab}}{\Delta D_{p(r),tab}} \end{aligned} \right\} /70/$$

gdzie:  $\Delta D_{p(r),tab}$  i  $\Delta H_{(r),tab}$  - odchylenia rozprysku od celu w odległości pozi-  
mej i wysokości, odpowiadające zmianie prędkości po-  
czątkowej pocisku o 1 %. Można je określić z tabel  
strzelniczych na podstawie  $D_{pw}$  i  $H$ .

Jak wykazują doświadczenia kąt  $\epsilon_{v_0}$  mało różni się  
od kąta rzutu  $\epsilon_0$ , tj. praktycznie można przyjąć, że błąd  
strzelania  $\Delta v_0$  będzie działał wzdłuż wektora prędkości  
początkowej pocisku.

Błąd strzelania  $\Delta v_0$  w wyniku błędów w określeniu  
i uwzględnieniu  $\Delta V_{0sum}$  jako przypadkowy wektor dla reje-  
strowanego momentu czasu  $t$  może charakteryzować nadzieja  
matematyczna równa zeru i odchylenie średnie kwadratowe:

$$\delta_{v_0} = \sigma_{\Delta V_{0sum}} \sqrt{\Delta D_{p(r),tab}^2 + \Delta H_{(r),tab}^2} \quad /71/$$

gdzie:  $\sigma_{\Delta V_{0sum}}$  - błąd średni kwadratowy, charakteryzujący  
dokładność określenia i uwzględnienia  
 $\Delta V_{0sum}$ .

W zależności od sposobu określenia składowych  $\Delta V_{0sum}$  war-  
tość jego może się równać 0,4-0,9 %  $v_0$ .

b/ Wpływ na strzelanie błędów w określeniu i uwzględnieniu  
sumarycznej balistycznej odchyłki gęstości powietrza od  
tabelarycznej  $\Delta G_{sum}$ .

Wpływ na strzelanie błędów w określeniu i uwzględnie-  
niu  $\Delta G_{sum}$  jest podobny do wpływu na strzelanie błędów  
w określaniu i uwzględnianiu  $\Delta V_{0sum}$ .

Błąd przypadkowy określenia i uwzględnienia  $\Delta G_{\text{sum}}$   $\Delta G$  dla rejestrowanego momentu czasu  $t$  spowoduje odchylenie środka grupowania rozprysków salwy od celu w płaszczyźnie strzelania o wielkość

$$\Delta_G = \Delta G \sqrt{\Delta D_{p(G),\text{tab}}^2 + \Delta H_{(G),\text{tab}}^2}$$

/72/

gdzie:  $\Delta D_{p(G),\text{tab}}$  i  $\Delta H_{(G),\text{tab}}$  - odchylenia rozprysków od celu wzdłuż odległości poziomej i wysokości, odpowiadające zmianie gęstości powietrza od tabelarycznej o 1%. Wielkości te można określić z tabel skutecznych na podstawie odległości poziomej do punktu wyprzedzonego i wysokości.

Błąd strzelania  $\Delta_G$  tworzą z poziomem kąt  $\varepsilon_G$ , który można obliczyć ze wzoru

$$\text{tg } \varepsilon_G = \frac{\Delta H_{(G),\text{tab}}}{\Delta D_{p(G),\text{tab}}}$$

W praktyce przyjmuje się, że  $\varepsilon_G \approx \varepsilon_0$ .

Przy popełnieniu błędu  $\Delta G$  ze znakiem dodatnim rozprysk nastąpi dalej i wyżej w stosunku do celu i na odwrót, przy  $\Delta G$  ujemnym - rozprysk nastąpi bliżej i niżej. Wypadkowe odchylenie rozprysku od celu będzie w przybliżeniu skierowane równoległe do linii rzutu /do wektora prędkości początkowej/.

Charakterystyką błędu strzelania  $\Delta_G$  dla rejestrowanego momentu czasu  $t$  będzie nadzieja matematyczna, równa zeru i odchylenie średnie kwadratowe

$$\delta_G = \sigma_{\Delta G_{\text{sum}}} \sqrt{\Delta D_{p(G),\text{tab}}^2 + \Delta H_{(G),\text{tab}}^2}$$

/72'/

gdzie:  $\sigma_{\Delta G_{\text{sum}}}$  - błąd średni kwadratowy, charakteryzujący dokładność określenia i uwzględnienia  $\Delta G_{\text{sum}}$ , wartość którego średnio równa się 1,3%  $G_0$ .

a/ Wpływ na strzelanie błędów w określeniu i uwzględnianiu sumarycznej odchyłki czasu działania zapalnika od tabelarycznego /  $\Delta t_{\text{sum}}$  /.

Odchylenie czasu działania zapalnika od tabelarycznego  $\Delta t_{\text{sum}}$  uwzględnia się przez wprowadzenie poprawki do nastawy zapalnika. Dlatego też wpływ błędów w określeniu i uwzględnianiu  $\Delta t_{\text{sum}}$  jest taki sam jak wpływ błędów w wypracowaniu nastawy zapalnika o czym była mowa wyżej.

Istnienie błędu  $\Delta t$  w określeniu i uwzględnianiu odchyłki czasu działania zapalnika od tabelarycznego dla rejestrowanego momentu czasu  $t$  spowoduje odchylenie środka grupowania rozprysków salwy od celu wzdłuż wektora prędkości względnej o wielkość

$$\Delta_t = V_{\text{wzg}} \cdot \Delta t$$

/73/

Błąd strzelania  $\Delta_t$  jako wektor przypadkowy dla momentu czasu  $t$  charakteryzuje nadzieja matematyczna, równa zeru i odchylenie średnie kwadratowe

$$\delta_t = V_{\text{wzg}} \cdot \sigma_{\Delta t_{\text{sum}}}$$

/73' /

gdzie:  $\sigma_{\Delta t_{\text{sum}}}$  - błąd średni kwadratowy, charakteryzujący dokładność określenia i uwzględnienia sumarycznej odchyłki czasu działania zapalnika od tabelarycznego, wartość której dla zapalników mechanicznych można przyjąć równą 0,09 sek, a dla zapalników prochowych - 2,7 %  $t$ .

d/ Wpływ na strzelanie błędów w określeniu i uwzględnieniu wiatru balistycznego.

Przy nastawieniu na przeliczniku prędkości wiatru balistycznego  $W$  i jego azymutu  $\beta_w$  z błędem, rozpryski pocisków będą odchodzić się od celu w płaszczyźnie strzelania i na kierunku prostopadłym do niej. Przy jednakowej wartości błędów

w prędkości wiatru balistycznego  $\Delta W$  wielkości odchyłek rozprysków od celu wzdłuż kierunku strzelania i prostopadłe do niego, dla danego momentu strzelania zależą od kierunku wiatru balistycznego  $\beta_w$  stosunku do płaszczyzny strzelania, określanego kątem  $\psi = \beta_w - \beta_w$ .

W celu określenia tych odchyłek trzeba wektor  $\Delta \bar{W}$  rozłożyć na składowe: wzdłużną  $\Delta W_x$  i boczną  $\Delta W_z$ , tj.

$\Delta W_x = \Delta W \cdot \cos \psi$  i  $\Delta W_z = \Delta W \cdot \sin \psi$ . Wówczas błędy strzelania na skutek popełnienia błędu w określeniu i uwzględnieniu wiatru balistycznego będą równe:

$$(74) \quad \begin{cases} - \text{wzdłuż kierunku strzelania } \Delta_{W_x} = \Delta W_x \sqrt{\Delta D_{p(w_x), \text{tab}}^2 + \Delta H_{(w_x), \text{tab}}^2} \\ - \text{wzdłuż prostopadłej do kierunku strzelania } \Delta_{W_z} = \Delta W_z \cdot \Delta Z_{(w_z), \text{tab}} \end{cases}$$

gdzie:  $\Delta D_{p(w_x), \text{tab}}$ ,  $\Delta H_{(w_x), \text{tab}}$  i  $\Delta Z_{(w_z), \text{tab}}$  - wielkości odchyłek rozprysków od celu wzdłuż odległości poziomej, wysokości i wzdłuż kierunku bocznego, wywołane zmianą wiatru o 1 m/sek.

Wielkości odchyłek można określić z tabel strzelniczych na podstawie odległości poziomej  $D_{pw}$  i wysokości  $H$  punktu wyprzedzonego. Błąd  $\Delta_{W_x}$  z poziomem tworzy kąt  $\epsilon_{W_x}$  i można go obliczyć ze wzoru

$$\text{tg } \epsilon_{W_x} = \frac{\Delta H_{(w_x), \text{tab}}}{\Delta D_{p(w_x), \text{tab}}}$$

Jeżeli przyjmiemy, że wektor  $\Delta \bar{W}$  może z jednakowym prawdopodobieństwem być skierowany pod dowolnym kątem do płaszczyzny strzelania, to można uważać, że błędy w określeniu i uwzględnieniu wiatru balistycznego podlegają prawu kołowemu. Błąd średni kwadratowy tego prawa, na podstawie doświadczeń, można przyjąć  $\sigma_{W_x} = \sigma_{W_z} \approx 2 \text{ m/sek}$ .

Błędy strzelania jako przypadkowe wektory w wyniku błędów w określeniu i uwzględnieniu wiatru balistycznego, dla rejestrowanego momentu czasu  $t$ , charakteryzuje nadzieja matematyczna, równa zeru i odchylenia średnie kwadratowe wzdłuż odpowiednich kierunków.

$$\left. \begin{aligned} \delta_{Wz} &= \sigma_{\Delta Wz} \sqrt{\Delta D_{p(wz),tab}^2 + \Delta H_{(wz),tab}^2} \\ \delta_{Wz} &= \sigma_{\Delta Wz} \cdot \Delta Z_{(wz),tab} \end{aligned} \right\} /74' /$$

Rozpatrzone oddzielnie błędy strzelania wywołane błędami w określaniu i uwzględnianiu poprawek na odchyłki balistycznych i meteorologicznych warunków strzelania od tabelarycznych, jako wektory przypadkowe jednowymiarowe, w sumie tworzą wektor przypadkowy w przestrzeni - sumaryczny błąd strzelania. Ponieważ nadzieje matematyczne poszczególnych błędów strzelania równe są zeru, to i nadzieja matematyczna sumarycznego błędu strzelania również będzie się równać zeru.

Aby obliczyć odchylenie średnie kwadratowe sumarycznego błędu strzelania należy znaleźć rzuty odchyłeń średnich kwadratowych składowych błędów na osie współrzędnych. Wówczas składowe odchylenia średniego kwadratowego sumarycznego błędu strzelania na kierunkach osi współrzędnych x, y, z będą równe

$$\left. \begin{aligned} \delta_x &= \sqrt{\delta_{r,x}^2 + \delta_{s,x}^2 + \delta_{t,x}^2 + \delta_{Wz,x}^2} \\ \delta_y &= \sqrt{\delta_{r,y}^2 + \delta_{s,y}^2 + \delta_{t,y}^2 + \delta_{Wz,y}^2} \\ \delta_z &= \sqrt{\delta_{Wz}^2 + \delta_{t,z}^2} \end{aligned} \right\} /75/$$

Wzory robocze do określania rzutów odchyłeń średnich kwadratowych składowych błędów strzelania na osie współrzędnych podane są w tabeli 7.

Tabela 7.

$\delta_i$	$\delta_{i,x}$	$\delta_{i,y}$	$\delta_{i,z}$
$\delta_{V_c} = \sigma_{\Delta V_{osum}} \cdot \sqrt{\Delta D_{p(v_c), tab}^2 + \Delta H_{(v_c), tab}^2}$	$\sigma_{\Delta V_{osum}} \cdot \Delta D_{p(v_c), tab}$	$\sigma_{\Delta V_{osum}} \cdot \Delta H_{(v_c), tab}$	0
$\delta_G = \sigma_{\Delta G_{sum}} \cdot \sqrt{\Delta D_{p(G), tab}^2 + \Delta H_{(G), tab}^2}$	$\sigma_{\Delta G_{sum}} \cdot \Delta D_{p(G), tab}$	$\sigma_{\Delta G_{sum}} \cdot \Delta H_{(G), tab}$	0
$\delta_z = V_{wzq} \cdot \sigma_{\Delta z_{sum}}$	$\sigma_{\Delta z_{sum}} (V_{bez} \cdot \cos \alpha + V_c \cdot \cos \lambda \cdot \cos \varphi_w)$	$\sigma_{\Delta z_{sum}} (V_{bez} \cdot \sin \alpha - V_c \cdot \sin \lambda)$	$-\sigma_{\Delta z_{sum}} \cdot V_c \cdot \cos \lambda \cdot \sin \varphi_w$
$\delta_{wz} = \sigma_{\Delta Wz} \cdot \sqrt{\Delta D_{p(wz), tab}^2 + \Delta H_{(wz), tab}^2}$	$\sigma_{\Delta Wz} \cdot \Delta D_{p(wz), tab}$	$\sigma_{\Delta Wz} \cdot \Delta H_{(wz), tab}$	0
$\delta_{wz} = \sigma_{\Delta Wz} \cdot \Delta Z_{(wz), tab}$	0	0	$\sigma_{\Delta Wz} \cdot \Delta Z_{(wz), tab}$

Otrzymane parametry sumarycznego błędu strzelania, w wyniku błędów określenia i uwzględnienia odchyłek balistycznych i meteorologicznych warunków strzelania od tabelarycznych, charakteryzują błędy strzelania, powtarzając się dla wszystkich strzałów w strzelaniu.

### 8. Niepowtarzające się błędy i ich wpływ na strzelanie

Niepowtarzającymi się błędami nazywamy takie błędy, które nie są zależne między sobą. Są one charakterystyczne dla oddzielnych dział i powodują rozrzut tylko pojedynczych rozprysków. Do błędów tych zaliczamy głównie błędy z powodu nieuwzględnienia odsunięcia dział od środka stanowiska ogniowego, błędy technicznego rozrzutu oraz błędy w określeniu i uwzględnieniu średniego dla baterii czasu ładowania dział.

a/ Błędy nieuwzględnienia odsunięcia dział od środka stanowiska ogniowego.

Działa baterii w zasadzie rozstawia się na stanowisku ogniowym na okręgu o promieniu  $r$ . Przelicznik wypracowuje współrzędne wyprzedzone w stosunku do środka SO baterii. Wobec tego bateria prowadzi ogień snopem równoległym i przy założeniu, że innych błędów nie ma rozpryski będą się układały na okręgu o promieniu  $r$  ze środkiem w punkcie wyprzedzonym.

Przy omawianiu błędów strzelania uderzeniowego mówiliśmy, że błędy strzelania w wyniku błędów nieuwzględnienia przesunięcia dział względem środka SO podlegają prawu arcusinususa.

W prostokątnym układzie współrzędnych funkcja gęstości prawdopodobieństwa przyjmie postać:

- na kierunku odległości poziomej

$$f(x) = \frac{1}{\pi \sqrt{r^2 - x^2}}$$

- na kierunku bocznym

$$f(z) = \frac{1}{\pi \sqrt{r^2 - z^2}}$$

/76/

Nadzieje matematyczne błędów strzelania na tych kierunkach równają się zeru, a odchylenia średnie kwadratowe

$$\delta_{D_p(\omega)} = \delta_{\beta(\omega)} = \frac{r}{\sqrt{2}}$$

/77/

Należy zauważyć, że przyjęcie błędów z powodu nieuwzględnienia przesunięcia dział względem środka stanowiska ogniowego za niepowtarzające jest do pewnego stopnia umowne, ponieważ błędy te przy dokładnym ich rozpatrzeniu mają złożoną korelację dla wszystkich strzałów.

b/ Błędy technicznego rozrzutu dział.

Wiadomo, że jest szereg przyczyn powodujących rozrzut rozprysków zarówno w płaszczyźnie strzelania jak i w kierunku bocznym, prostopadłym do płaszczyzny strzelania. Przyczyny, powodujące rozrzut rozprysków w płaszczyźnie strzelania, praktycznie nie zależą od przyczyn, powodujących rozrzut rozprysków w kierunku bocznym. Wobec tego błędy te nie są zależne między sobą. W tabelach strzelniczych podane są charakterystyki błędów technicznego rozrzutu rozprysków w postaci uchyleń środkowych w: odległości poziomej  $r_{D_p}$ , wysokości  $r_H$ , kierunku  $r_z$ , odległości rzeczywistej  $r_D$  i na kierunku prostopadłym do odległości rzeczywistej /w płaszczyźnie ekranowej/  $r_N$ . Wykorzystując te wielkości można określić odchylenia średnie kwadratowe błędów strzelania:

- wzdłuż odległości poziomej

$$\delta_{D_p} = \frac{1}{\rho\sqrt{2}} \cdot r_{D_p}$$

- wzdłuż wysokości

$$\delta_H = \frac{1}{\rho\sqrt{2}} \cdot r_H$$

- w kierunku bocznym

$$\delta_z = \frac{1}{\rho\sqrt{2}} \cdot r_z$$

/78/

Współczynnik korelacji błędów strzelania wzdłuż odległości poziomej /osi x/ i wysokości /osi y/ będzie równy

$$\rho_{x,y} = \frac{r_H^2 \sec^2 p - r_{Dp}^2 \cdot \operatorname{tg}^2 p - r_H^2}{2 r_{Dp} \cdot r_H \cdot \operatorname{tg} p} \quad /79/$$

Przy obliczeniach odchyłeń średnich kwadratowych sumarycznego niepowtarzającego się błędu strzelania, wygodniej jest przejść od zależnych między sobą  $\delta_{Dp}$  i  $\delta_H$  do niezależnych odchyłeń średnich kwadratowych  $a_1$  i  $b_1$ , skierowanych wzdłuż sprzężonych półośi elipsy rozprysków w płaszczyźnie pionowej. Wartości  $a_1$  i  $b_1$  można obliczyć ze wzorów

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \delta_{Dp} \sqrt{1 - \rho_{x,y}^2} \\ b_1 &= \sqrt{\delta_{Dp}^2 \rho_{x,y}^2 + \delta_H^2} \end{aligned} \right\} \quad /80/$$

Odchylenia średnie kwadratowe  $a_1$  i  $b_1$  są skierowane odpowiednio, wzdłuż odległości poziomej i kierunku będącego sprzężonym z kierunkiem odległości poziomej. Kąt między nimi zawarty  $\gamma$ , określamy z wyrażenia

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\delta_H}{\rho_{x,y} \delta_{Dp}}$$

c/ Błędy w określeniu i uwzględnieniu średniego dla baterii czasu ładowania dział.

Czas ładowania każdego działka zależy od kąta podniesienia i innych czynników i różni się dla każdego strzału od średniego dla baterii czasu ładowania  $\tau$ , określonego i uwzględnionego w czasie wstępnego przygotowania baterii do strzelania. Dlatego też dla każdego strzału w salwie będzie działkał swoisty błąd czasu ładowania  $\Delta\tau$ , który będzie się zmieniał od strzału do strzału.

Błąd strzelania  $\Delta_{\tau_T}$  spowodowany błędem czasu ładowania, określi się z wyrażenia już nam znanego, a mianowicie

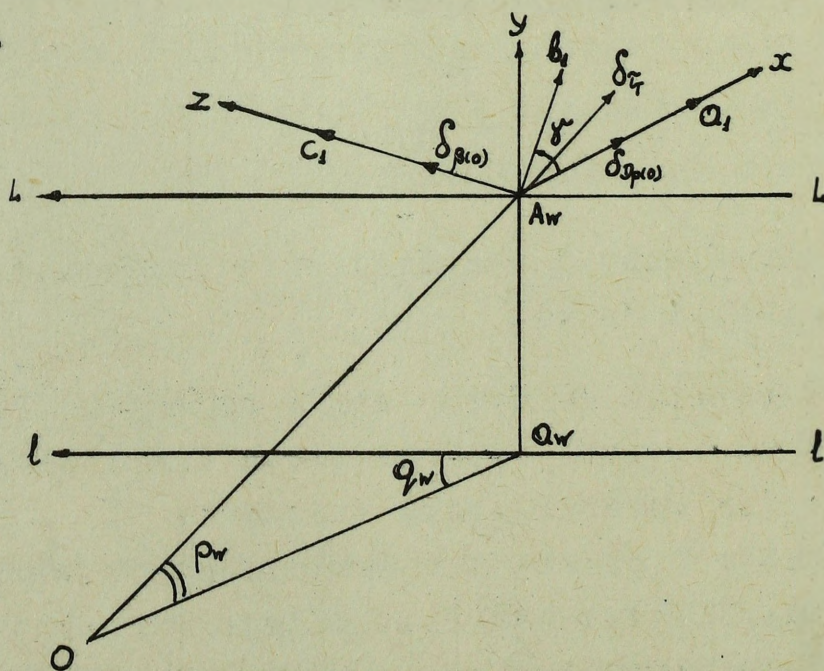
$$\Delta_{\tau_T} = \Delta Z(\omega_{\tau_T}) \cdot l_z \cdot V_{wzq} \quad /81/$$

Nadzieja matematyczna błędu strzelania  $\Delta_{\tau_T}$  równa się zeru, a odchylenie średnie kwadratowe

$$\delta_{\tau_T} = \sigma_{z(\omega_{\tau_T})} \cdot l_z \cdot V_{wzq} \quad /81'/$$

gdzie:  $\sigma_{z(\omega_{\tau_T})}$  - błąd średni kwadratowy, charakteryzujący dokładność nastawy zapalnika w wyniku błędów czasu ładowania dział.

Prócz rozpatrzonych wyżej źródeł błędów niepowtarzających się w czasie całego strzelania, mogą być zaliczone jeszcze błędy przygotowania dział do strzelania: błędy poziomowania i orientowania, błędy sprawdzenia i regulacji, błędy sprawdzenia synchronicznego przekazywania i odpracowanie danych przez napędy siłowe dział. Jednakże ciężar gatunkowy tych błędów w strzelaniu, w porównaniu z omawianymi wyżej błędami, jest bardzo mały i dlatego przy obliczaniu wskaźników skuteczności strzelania ich nie uwzględnia się.



Rys.34.

W toku samego strzelania wszystkie źródła niepowtarzających się błędów działają jednocześnie powodując błąd sumaryczny strzelania. /rys.34/.

Nadzieja matematyczna sumarycznego niepowtarzającego się błędu strzelania równa się zeru, a odchylenie średnie kwadratowe na kierunkach osi współrzędnych x, y, z będą równe

$$\left. \begin{aligned} \delta_x &= \sqrt{a_1^2 + b_{1,x}^2 + \delta_{\tau,x}^2 + \delta_{\rho(\omega),x}^2} \\ \delta_y &= \sqrt{b_{1,y}^2 + \delta_{\tau,y}^2} \\ \delta_z &= \sqrt{c_1^2 + \delta_{\tau,z}^2 + \delta_{\rho(\omega),z}^2} \end{aligned} \right\} \quad /82/$$

Wzory robocze dla określania rzutów odchyleń średnich kwadratowych składowych błędów strzelania na osie współrzędnych x, y, i z podano w tabeli 8.

Tabela 8

$\delta_i$	$\delta_{i,x}$	$\delta_{i,y}$	$\delta_{i,z}$
$a_1 = \frac{v_{Dp}}{\rho \sqrt{2}} \sqrt{1 - \rho_{xy}^2}$	$a_1$	0	0
$b_1 = \sqrt{\left(\frac{v_{Dp}}{\rho \sqrt{2}}\right)^2 \rho_{xy}^2 + \left(\frac{v_{Dp}}{\rho \sqrt{2}}\right)^2}$	$b_1 \cdot \cos \gamma$	$b_1 \cdot \sin \gamma$	0
$\delta_{\rho(\omega)} = \frac{r}{\sqrt{2}}$	$\frac{r}{\sqrt{2}}$	0	0
$\delta_{\beta(\omega)} = \frac{r}{\sqrt{2}}$	0	0	$\frac{r}{\sqrt{2}}$
$c_1 = \frac{v_z}{\rho \sqrt{2}}$	0	0	$c_1$
$\delta_{\tau} = \sigma_{z(\omega_{\tau})} \cdot V_{wz\gamma}$	$\sigma_{z(\omega_{\tau})} (V_{bez} \cdot \cos \epsilon + V_c \cdot \cos \lambda \cdot \cos q_w)$	$\sigma_{z(\omega_{\tau})} (V_{bez} \cdot \sin \epsilon - V_c \cdot \sin \lambda)$	$-\sigma_{z(\omega_{\tau})} \cdot V_c \cdot \cos \lambda \cdot \sin q_w$

## 9. Sumaryczne błędy strzelania

Sumaryczne odchylenia rozprysków od celu na wybranych kierunkach, wywołane jednoczesnym wpływem kilku lub wszystkich źródeł błędów, nazywamy sumarycznym błędem strzelania.

W wielu wypadkach, np. przy obliczeniu wskaźników skuteczności strzelania, wynika konieczność znajomości sumarycznych błędów strzelania, składającego się z jednego strzału z jednej lub kilku salw.

Jeżeli strzelanie składa się z jednego strzału, to charakter wpływu błędów wszystkich wymienionych wyżej źródeł na odchylenie rozprysku od celu jest taki sam. Dlatego też należy znać parametry sumarycznego błędu strzelania jako sumarycznego wektora przypadkowego w przestrzeni, stanowiącego geometryczną sumę pojedynczych błędów-wektorów przypadkowych strzelania wywołanych różnymi źródłami.

W układzie współrzędnych prostokątnych  $x, y, z$  z początkiem w punkcie wyprzedzonym /oś  $x$ -wzdłuż kierunku odległości poziomej, oś  $y$ -wzdłuż wysokości, oś  $z$ -wzdłuż kursu celu/ parametrami sumarycznego błędu strzelania będą nadzieje matematyczne na kierunkach osi współrzędnych  $x, y, z$  /składowe sumarycznego błędu systematycznego/ i odchylenia średnie kwadratowe na tychże kierunkach.

Składowa sumarycznego błędu systematycznego strzelania na kierunku  $i$ -tej osi współrzędnych oblicza się z wyrażenia

$$r_i = \sum_{j=1}^k r_{j,i}$$

gdzie:  $k$  - ilość pojedynczych błędów strzelania;

$r_{j,i}$  - rzut systematycznego błędu strzelania  $j$ -tego źródła na  $i$ -tą oś współrzędnych, wzory robocze do dokonania których przytoczone były w tabeli 1.

Dowolny moment łączności sumarycznego błędu strzelania równać się będzie sumie odpowiednich momentów łączności pojedynczych błędów strzelania.

Z teorii prawdopodobieństwa wiadomo, że momenty korelacyjne jednowymiarowych wektorów przypadkowych są równe iloczynowi rzutów odchylenia średniego kwadratowego danego wektora na odpowiednie osie współrzędne

$$K_{i,r}^{(j)} = \delta_{j,i} \cdot \delta_{j,r}$$

gdzie:  $\delta_{j,i}$ ,  $\delta_{j,r}$  - rzuty odchylenia średniego kwadratowego błędu strzelania j-tego źródła błędów na i-tą i r-ną oś.

Rzuty te można obliczyć ze wzorów podanych w powyższych tabelach.

Wobec tego momenty korelacyjne sumarycznego błędu strzelania będą równe

$$\left. \begin{aligned} K_{xx} &= \sum_{j=1}^k K_{xx}^{(j)} ; K_{yy} = \sum_{j=1}^k K_{yy}^{(j)} ; K_{zz} = \sum_{j=1}^k K_{zz}^{(j)} \\ K_{xy} &= \sum_{j=1}^k K_{xy}^{(j)} ; K_{yz} = \sum_{j=1}^k K_{yz}^{(j)} ; K_{xz} = \sum_{j=1}^k K_{xz}^{(j)} \end{aligned} \right\} \quad /83/$$

gdzie:

$$\left. \begin{aligned} K_{xx}^{(j)} &= D_x = \delta_{j,x}^2 ; K_{yy}^{(j)} = D_y = \delta_{j,y}^2 ; K_{zz}^{(j)} = D_z = \delta_{j,z}^2 \\ K_{xy}^{(j)} &= \delta_{j,x} \cdot \delta_{j,y} ; K_{xz}^{(j)} = \delta_{j,x} \delta_{j,z} ; K_{yz}^{(j)} = \delta_{j,y} \delta_{j,z} \end{aligned} \right\} \quad /84/$$

Odchylenia średnie kwadratowe błędu sumarycznego strzelania dla rejestrowanego momentu czasu t mogą być określone z wyrażen

$$\delta_x = \sqrt{K_{xx}} ; \delta_y = \sqrt{K_{yy}} \quad i \quad \delta_z = \sqrt{K_{zz}} .$$

Znając momenty korelacji sumarycznego błędu strzelania, na odpowiednich kierunkach, można określić współczynniki korelacji, a mianowicie

$$\left. \begin{aligned} \rho_{xy} &= \frac{K_{xy}}{\delta_x \delta_y} \\ \rho_{xz} &= \frac{K_{xz}}{\delta_x \delta_z} \\ \rho_{yz} &= \frac{K_{yz}}{\delta_y \delta_z} \end{aligned} \right\} \quad /25/$$

Wyznacznik macierzy, zestawiony z momentów łączności sumarycznego błędu strzelania, równa się:

$$\begin{aligned} |\Delta| &= \begin{vmatrix} K_{xx} & K_{xy} & K_{xz} \\ K_{xy} & K_{yy} & K_{yz} \\ K_{xz} & K_{yz} & K_{zz} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \delta_x^2 & \delta_x \delta_y \rho_{xy} & \delta_x \delta_z \rho_{xz} \\ \delta_x \delta_y \rho_{xy} & \delta_y^2 & \delta_y \delta_z \rho_{yz} \\ \delta_x \delta_z \rho_{xz} & \delta_y \delta_z \rho_{yz} & \delta_z^2 \end{vmatrix} = \\ &= \delta_x^2 \delta_y^2 \delta_z^2 (1 + 2\rho_{xy}\rho_{xz}\rho_{yz} - \rho_{xy}^2 - \rho_{xz}^2 - \rho_{yz}^2). \end{aligned}$$

Wówczas gęstość prawdopodobieństwa prawa rozkładu sumarycznego błędu strzelania, w układzie współrzędnych  $x, y, z$ , może być zapisana w postaci:

$$\varphi(x-r_x; y-r_y; z-r_z) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2}} \frac{1}{\sqrt{|\Delta|}} e^{-\frac{1}{2}Q(x-r_x; y-r_y; z-r_z)}$$

gdzie:

$$Q(x-r_x; y-r_y; z-r_z) = \frac{1}{1 + 2\rho_{xy}\rho_{xz}\rho_{yz} - \rho_{xy}^2 - \rho_{xz}^2 - \rho_{yz}^2} \cdot$$

$$\cdot \left[ \frac{1 - \rho_{yz}^2}{\delta_x^2} (x-r_x)^2 + \frac{1 - \rho_{xz}^2}{\delta_y^2} (y-r_y)^2 + \frac{1 - \rho_{xy}^2}{\delta_z^2} (z-r_z)^2 - \right.$$

$$- 2 \frac{\rho_{xy} - \rho_{xz}\rho_{yz}}{\delta_x \delta_z} (x-r_x)(z-r_z) - 2 \frac{\rho_{xz} - \rho_{xy}\rho_{yz}}{\delta_x \delta_y} (x-r_x)(y-r_y) -$$

$$\left. - 2 \frac{\rho_{xy} - \rho_{xz}\rho_{yz}}{\delta_y \delta_z} (y-r_y)(z-r_z) \right].$$

W celu określenia odchyleń średnich kwadratowych na kierunkach głównych osi rozrzutu należy rozwiązać układ trzech równań liniowych i prócz tego należy rozwiązać równania łączności korelacji między kierunkowymi kosinusami kątów  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  między głównymi osiami rozrzutu i osiami współrzędnych  $x$ ,  $y$ ,  $z$ :

$$(\delta_x^2 - \lambda_j) \alpha_j + \delta_x \delta_y \rho_{xy} \beta_j + \delta_x \delta_z \rho_{xz} \gamma_j = 0$$

$$\delta_x \delta_y \rho_{xy} \alpha_j + (\delta_y^2 - \lambda_j) \beta_j + \delta_y \delta_z \rho_{yz} \gamma_j = 0$$

$$\delta_x \delta_z \rho_{xz} \alpha_j + \delta_y \delta_z \rho_{yz} \beta_j + (\delta_z^2 - \lambda_j) \gamma_j = 0$$

$$\alpha_j^2 + \beta_j^2 + \gamma_j^2 = 1$$

$$(j = 1, 2, 3)$$

Odchylenia średnie kwadratowe na kierunkach głównych osi rozrzutu będą równe

$$\sigma_{\xi} = \sqrt{\lambda_1} ; \sigma_{\eta} = \sqrt{\lambda_2} \quad i \quad \sigma_{\zeta} = \sqrt{\lambda_3}$$

gdzie:  $\lambda_1, \lambda_2$  i  $\lambda_3$  - pierwiastki równań

$$\begin{vmatrix} (\delta_x^2 - \lambda) & \delta_x \delta_y \rho_{xy} & \delta_x \delta_z \rho_{xz} \\ \delta_x \delta_y \rho_{xy} & (\delta_y^2 - \lambda) & \delta_y \delta_z \rho_{yz} \\ \delta_x \delta_z \rho_{xz} & \delta_y \delta_z \rho_{yz} & (\delta_z^2 - \lambda) \end{vmatrix} = 0$$

Jeżeli oznaczymy przez

$$\left. \begin{aligned} s_1 &= \delta_x \delta_y^2 \delta_z \rho_{xy} \rho_{yz} - \delta_x \delta_z \rho_{xz} (\delta_y^2 - \lambda_j) \\ s_2 &= \delta_x^2 \delta_y \delta_z \rho_{xy} \rho_{xz} - \delta_y \delta_z \rho_{yz} (\delta_x^2 - \lambda_j) \\ s_3 &= (\delta_x^2 - \lambda_j)(\delta_y^2 - \lambda_j) - \delta_x^2 \delta_y^2 \rho_{xy}^2 \end{aligned} \right\} (j=1,2,3)$$

$$A = \sqrt{s_1^2 + s_2^2 + s_3^2} ,$$

to kierunkowe kosinusy kątów  $\alpha_j, \beta_j$  i  $\gamma_j$  można odnaleźć ze wzorów

$$\alpha_j = \frac{s_1}{\pm A} ; \beta_j = \frac{s_2}{\pm A} \quad i \quad \gamma_j = \frac{s_3}{\pm A} ,$$

przy czym

	$\xi$	$\eta$	$\zeta$
$x$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$
$y$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$
$z$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$

Po wykonaniu pewnych przekształceń gęstość prawdopodobieństwa prawa rozkładu sumarycznego błędu strzelania, w układzie współrzędnych  $\xi, \eta$  i  $\zeta$ , osie którego są równoległe do głównych osi rozrzutu, przyjmie postać

$$\Psi(\xi - \xi_0; \eta - \eta_0; \zeta - \zeta_0) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \sigma_\xi \sigma_\eta \sigma_\zeta} e^{-\frac{1}{2} \left[ \frac{(\xi - \xi_0)^2}{\sigma_\xi^2} + \frac{(\eta - \eta_0)^2}{\sigma_\eta^2} + \frac{(\zeta - \zeta_0)^2}{\sigma_\zeta^2} \right]}$$

gdzie:  $\xi_0, \eta_0$  i  $\zeta_0$

- rzuty sumarycznego błędu systematycznego na osie współrzędnych  $\xi, \eta$  i  $\zeta$ , które można określić ze wzorów:

$$\left. \begin{aligned} \xi_0 &= \xi_x \alpha_1 + \xi_y \beta_1 + \xi_z \gamma_1 \\ \eta_0 &= \xi_x \alpha_2 + \xi_y \beta_2 + \xi_z \gamma_2 \\ \zeta_0 &= \xi_x \alpha_3 + \xi_y \beta_3 + \xi_z \gamma_3 \end{aligned} \right\}$$

1864.

Jeżeli strzelanie składa się z jednej salwy, to charakter wpływu różnych błędów na odchylenie rozprysków od celu będzie różny. Powtarzające się błędy będą wpływały na odchylenie wszystkich rozprysków salwy jednakowo, a niepowtarzające się błędy będą wpływać na odchylenie rozprysków niejednakowo. Dlatego też, przy obliczeniach wskaźników skuteczności strzelania salwami, wszystkie błędy strzelania dzieli się na dwie grupy: powtarzające się błędy /punkt 2 i 3 rozdz.II/, i na błędy niepowtarzające się w salwie /punkt 4 rozdz.II/.

Jeżeli strzelanie składa się z kilku salw, to z punktu widzenia charakteru wpływu wszystkie błędy strzelania można podzielić na trzy grupy: niepowtarzające się błędy /pkt.4/, powtarzające się błędy w salwie /pkt.2/ i powtarzające się błędy między salwami /pkt.3/.

Aby więc określić wskaźniki skuteczności strzelania, trzeba obliczyć charakterystyki sumarycznych błędów strzelania każdej grupy. Metoda ich obliczenia analogiczna do rozpatrzonej wyżej.

