



AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego

KATEDRA OPL

237

ARCHIWUM
BIBLIOTEKI SZKOLENIAWY
AKADEMII SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego
27693

Egz. Nr 1

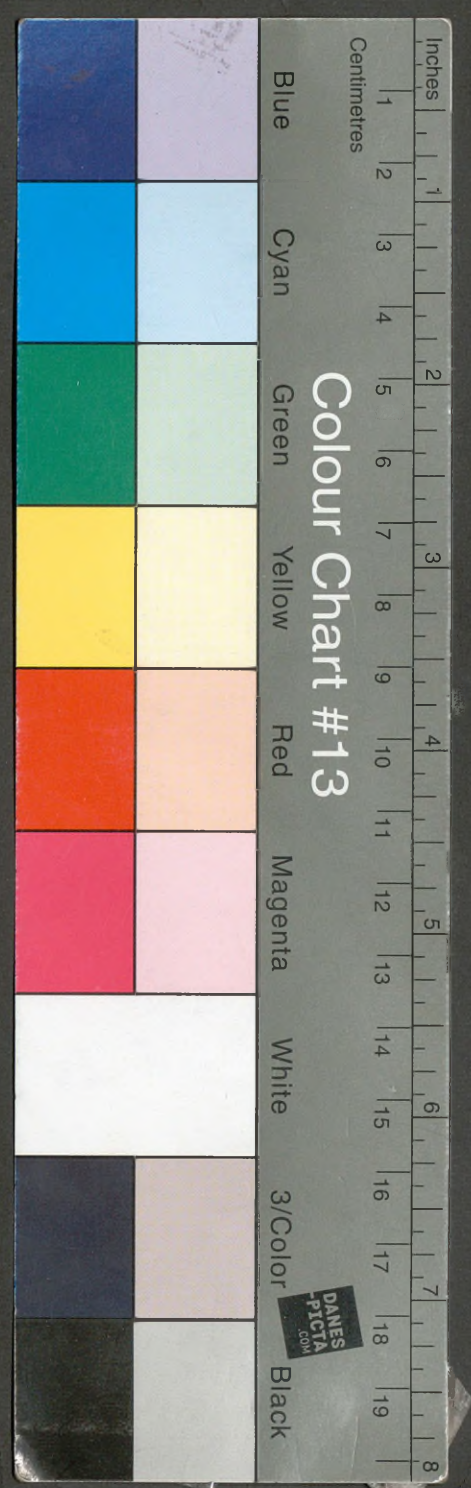
mjr dypl. WŁODZIMIERZ BOJKO

**Temat: RAŻENIE CELU POWIETRZNEGO PRZY
STRZELANIU NAZIEMNYCH ŚRODKÓW
OBRONY PRZECIWLOTNICZEJ**
(Skrypt)

Biblioteka Szkoleniowa A-00
Wz. 2400
2400

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego

27693

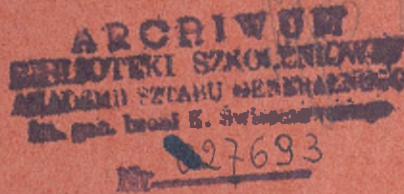


AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego

KATEDRA OPL

257

~~SECRET~~
Egz. Nr 1



mjr dypl. WŁODZIMIERZ BOJKO

Temat: RAŻENIE CELU POWIETRZNEGO PRZY
STRZELANIU NAZIEMNYCH ŚRODKÓW
OBRONY PRZECIWLOTNICZEJ

(Skrypt)



27693

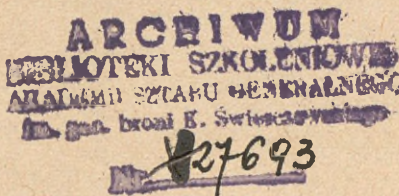
KATEDRA OPL

ZATWIERDZAM
SZEFA KATEDRY OPL

Egz. Nr ... 1

płk dypl.prof. Józef D A C

Oklas. just 12357



mjr dypl. Włodzimierz BOJKO

Temat: Rażenie celu powietrznego przy strzelaniu
naziemnych środków obrony przeciwlotniczej

/skrypt/



ZGADZAM SIĘ:
Z-CA SZEFA KATEDRY OPL

ppłk dypl. dr Stefan MAKOWSKI

Przy rozpatrywaniu zagadnień skuteczności strzelania naziemnych środków obrony przeciwlotniczej z punktu widzenia kryteriów ilościowych, spotykamy się z pojęciem "rażenie samolotu". Pod pojęciem rażenia samolotów rozumie się strącenie lub uszkodzenie go w stopniu uniemożliwiającym dalsze wykonywanie zadania. Rażenie samolotu uzyskujemy przez strzelanie naziemnych środków obrony przeciwlotniczej, przez odpowiedni dobór parametrów ruchu pocisku lub rakiety przeciwlotniczej i celu ponadto rażenie uzyskuje się dzięki odpowiedniej mocy działania pocisków. Warunki spotkania się pocisku z celem oraz energia rażenia pocisków i rakiet przeciwlotniczych bezpośrednio wpływają na prawdopodobieństwo rażenia samolotu. Ta wielkość z kolei jest charakterystyką skuteczności strzelania na równi z prawdopodobieństwem trafienia. Nas interesuje zależność prawdopodobieństwa rażenia samolotu od ilości pocisków, które trafiły w cel. Zależność ta przy określonych stałych warunkach strzelania nazywa się prawem rażenia samolotu $G / m /$ i może być przedstawiona w postaci funkcji analitycznej, wykresu lub tabeli. Rozpatrzmy kolejno czynniki wpływające na wielkość prawdopodobieństwa rażenia samolotu.

Strzelanie uderzeniowe artylerii przeciwlotniczej.

Prędkość względna i energia rażenia pocisku.

Przy strzelaniu do celów ruchomych mamy do czynienia z dwoma ruchami - ruchem celu i ruchem pocisku. W wielu przypadkach utrudnia to rozwiązanie szeregu praktycznych zagadnień i wtedy przechodzimy do tak zwanego ruchu względnego. To pojęcie jest nam znane z mechaniki.

Prędkość ciał w ruchu względnym nazywamy prędkością względną V_{wzg} /prędkość jednego ciała ruchomego względem drugiego ruchomego/. W przypadku gdy ruch jednego ciała rozpatrujemy względem nieruchomego punktu początkowego stykamy się z ruchem bezwzględnym. Prędkość przy takim ruchu nazywamy prędkością bezwzględną V_{bwzg} /. Prędkość jednego, ciała ruchomego względem drugiego nazwaliśmy prędkością względną, a prędkość drugiego ciała w tym wypadku będziemy nazywali prędkością przenoszenia. Prędkość względna i bezwzględna związane są ze sobą zasadą równoległoboku, zgodnie z którą prędkość bezwzględna V_{bwzg} równa się sumie geometrycznej prędkości względnej V_{wzg} i prędkości przenoszenia V_c /

$$\bar{V}_{bwzg} = \bar{V}_{wzg} + \bar{V}_c$$

skąd

$$\bar{V}_{wzg} = \bar{V}_{bwzg} - \bar{V}_c \quad /1/$$

Otrzymany wektor prędkości względnej przedstawia wielkość i kierunek prędkości pocisku względem celu, z uwzględnieniem prędkości celu czyli rozpatrując prędkość względną, możemy cel uważać za nieruchomy, a pocisk za lecący z prędkością względną. Prędkość względną pocisku możemy obliczyć rzutując wektory V_c i V_{bwzg} na osie x y z prostokątnego układu współrzędnych skąd otrzymamy

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

kierunek wektora prędkości względnej wyznaczają kąty, które tworzy on z osiami współrzędnych. Cosinusy tych kątów obliczamy ze wzorów

$$\cos(\widehat{Vwz} x) = \frac{V_{bwz} \cdot \cos d + V_c \cos \lambda \cdot \cos q_w}{V_{wz}}$$

$$\cos(\widehat{Vwz} y) = \frac{V_{bwz} \cdot \sin d - V_c \sin \lambda}{V_{wz}}$$

$$\cos(\widehat{Vwz} z) = - \frac{V_c \cdot \cos \lambda \cdot \sin q_w}{V_{wz}}$$

3

Głównym warunkiem określającym dobór i konstrukcję pocisków artylerii przeciwlotniczej jest ogólna ocena żywotności celu i wytrzymałości jego poszczególnych części.

Niektóre części samolotu jak: silnik, uzbrojenie, zbiorniki paliwowe, są bardzo wytrzymałe i do ich uszkodzenia wymagana jest duża siła zewnętrzna. Inne natomiast części samolotu jak kabina pilota i inne są bardziej wrażliwe łatwiej je uszkodzić, a w takim samym stopniu wpływają na zdolność samolotu do wykonania zadania. Do niszczenia różnych przeszkód /celów/ niezbędne jest mechaniczne działanie, wielkość którego uzależniona jest od wytrzymałości przeszkody. Przy strzelaniu do celów powietrznych spotykamy się ze zjawiskiem ruchu pocisku i celu lecz uprzednio powiedzieliśmy, że możemy rozpatrywać pocisk w ruchu względnym. Dla poznania siły działania ruchomego pocisku wykorzystujemy pojęcie energii kinetycznej. Jest ona równa połowie iloczynu masy ciała będącego w ruchu i jego prędkości do kwadratu

$$E_{kin} = \frac{m \cdot V^2}{2} \quad 4$$

ponieważ

$$q = m \cdot g$$

gdzie q - ciężar ciała; $g = 9,81 \text{ m/sek}^2$

Wobec tego energię kinetyczną pocisku w danym punkcie toru możemy określić ze wzoru

$$E_{kin} = \frac{q V^2}{2g}$$

Nas jednak interesuje energia rażenia pocisku w momencie zetknięcia się z przeszkodą czyli interesuje nas energia przypadająca na jednostkę powierzchni styku pocisku z przeszkodą. Taką energię nazywamy jednostkową energią rażenia i obliczamy ze wzoru

$$E_r = \frac{E_{kin}}{S} = \frac{qV^2}{2qS} \text{ kGm/cm}^2 \quad 5$$

Poniższa tabela podaje wartości jednostkowej energii rażenia niezbędnej do rażenia niektórych przeszkód

Lp	Przeszkoda	k Gm/cm ²
1	Gumowe zbiorniki paliwowe	25
2	Pancerz lotniczy o grubości 1 mm	80
3	Pancerz lotniczy o grubości 12 mm	320

Pocisk 57 mm armaty przeciwlotniczej o ciężarze 2,8 kg na wysokości 5000 m przy prędkości lotu 249 m/sek posiada jednostkową energię rażenia wynoszącą 347 kGm/cm². Taka energia wystarczy do rażenia pancerza lotniczego o grubości 12 mm.

Działanie uderzeniowe i burzące granatu z zapalnikiem uderzeniowym.

Pociski odłamkowe z zapalnikiem uderzeniowym stosuje się w artylerii przeciwlotniczej małego kalibru do rażenia celów powietrznych oraz do rażenia nawodnych i naziemnych żywych celów.

Działanie pocisków odłamkowych z zapalnikiem uderzeniowym w czasie wybuchu charakteryzuje się:

- działaniem uderzeniowym w momencie zetknięcia się z celem;
- działaniem burzącym wynikającym z działania fali uderzeniowej gazów powstałych przy wybuchu pocisku;
- działaniem odłamkowym - rażeniem odłamkami powstałymi przy kruszeniu granatu.

Odłamkowe pociski stosowane w artylerii przeciwlotniczej małego kalibru mogą posiadać zapalniki o działaniu natychmiastowym lub z bardzo małą zwłoką.

Przy natychmiastowym działaniu zapalnika pocisk eksploduje w momencie zetknięcia się z przeszkodą, z zasady nie przebijając jej i strefa rażenia w takich wypadkach jest mała. Oprócz tego, zapalniki natychmiastowe są bardzo wrażliwe i nawet kropla deszczu może spowodować rozerwanie się pocisku. Najczęściej stosuje się zapalniki z małą zwłoką, która pozwala pociskowi na wniknięcie w przeszkodę, zwiększając tym samym strefę rażenia.

Działanie burzące pocisku małego kalibru jest małe, ponieważ posiada on zbyt mało materiału wybuchowego by wytworzyć taką falę uderzeniową, która miałaby wystarczającą siłę niszczenia elementów konstrukcji współczesnych samolotów.

Przy strzelaniu pociskami odłamkowymi z zapalnikami uderzeniowymi zasadnicze działanie rażące dają odłamki. Charakter działania odłamkowego rozpatruje się tylko na niewielkich odległościach od punktu wybuchu niezależnie od tego czy nastąpił on bezpośrednio po zetknięciu się z przeszkodą czy też po wniknięciu w nią. Z doświadczeń wynika, że ilość odłamków powstających przy wybuchu małokalibrowego pocisku jest bardzo duża, lecz w większości są to odłamki małe i lekkie.

Przy rozpatrywaniu działania rażącego pocisku małego kalibru, zazwyczaj rozpatrujemy wspólnie działanie odłamkowe i działanie burzące gdyż jedno wzmacnia drugie.

Działanie rażące pocisku 57 mm powoduje zniszczenie około 1 m^2 powierzchni poszycia samolotu. Z praktyki wiadomo, że do zniszczenia niektórych części samolotu wystarczy jedno trafienie w taką część, jak np. silnik, zbiorniki paliwowe, załoga. Do zniszczenia kadłuba stateczników, potrzebna jest większa ilość trafień.

Artyleria przeciwlotnicza może być użyta do zwalczania naziemnych celów opancerzonych. Przebijanie pancerza przez pocisk artyleryjski jest szczególnym przypadkiem działania uderzeniowego. Pocisk przenika przez pancerz i rozrywa się wewnątrz czołgu czy wozu pancernego, rażąc znajdującą się

wewnątrz załogę, silniki, amunicję itp. Pociski przeciwpancerne 57 mm armaty przeciwlotniczej posiadają zapalniki denne MD-10 ze zwłoką pozwalającą na przeniknięcie przez szkody.

Grubość pancerza przebijanego przez dany pocisk przeciwpancerny można obliczyć za pomocą empirycznego wzoru Jakuba de Marra.

$$b^{0.7} = \frac{V_p \cdot q^{0.5} \cdot \cos \alpha}{K \cdot d^{0.75}} \quad 6$$

gdzie: V_p - prędkość pocisku w m/sek w momencie zetknięcia się z pancerzem;
 d - kaliber pocisku w decymetrach;
 b - grubość pancerza w decymetrach;
 q - ciężar pocisku w kilogramach;
 α - kąt odchylenia stycznej do toru w punkcie uderzenia od normalnej;
 K - współczynnik zależny od właściwości pancerza i pocisku, określany doświadczalnie.

Wzór Jakuba de Marra daje wyniki zbliżone do rzeczywistych tylko wówczas, jeżeli grubość pancerza jest zbliżona do kalibru pocisku.

Jak wynika ze wzoru, grubość przebijanego przez dany pocisk pancerza jest proporcjonalna do prędkości pocisku w momencie uderzenia i do cosinusa kąta odchylenia toru od normalnej /przy stałym q /.

Prawo rażenia celu powietrznego przy strzelaniu uderzeniowym.

Prawdopodobieństwo rażenia celu zależy od warunków strzelania, ogólnej liczby oddanych strzałów n , odkładności strzelania i mocy burzącej pocisku. Dla ustalonych warunków strzelania prawdopodobieństwo rażenia celu można zapisać w następującej postaci:

$$R = \int \dots \int 2n \dots \int G(y_1 z_1, \dots, y_n z_n) \times \\ \times \varphi(y_1 z_1, \dots, y_n z_n) dy_1 \dots dy_n dz_1 \dots dz_n \quad 7$$

gdzie

n - ilość strzałów;

$\Psi(y_1 z_1, \dots, y_n z_n)$ - gęstość prawdopodobieństwa trafienia pocisków w punkty o współrzędnych $y_1 z_1, \dots, y_n z_n$;

$G(y_1 z_1, \dots, y_n z_n)$ - prawdopodobieństwo rażenia samolotu, obliczone w założeniu, że współrzędne punktów upadków posiadają wartości $y_1 z_1, \dots, y_n z_n$ /w płaszczyźnie prostopadłej do średniego toru względnego/.

We wzorze /7/ funkcja $\Psi(y_1 z_1, \dots, y_n z_n)$ charakteryzuje dokładność strzelania w danych ustalonych warunkach, a funkcja $G(y_1 z_1, \dots, y_n z_n)$ - wrażliwość samolotu na dany typ pocisków.

Przy ustalonych warunkach strzelania warunkowe prawdopodobieństwo $G(y_1 z_1, \dots, y_n z_n)$ jest funkcją ilości trafień pocisków w cel i współrzędnych punktów trafienia. Oczywiście, będzie ona równa zero dla tych kombinacji wartości argumentów, przy których ani jeden z pocisków nie trafia w cel. Jeśli chociażby jedna z par wartości $(y_1 z_1), \dots, (y_n z_n)$ odpowiada trafieniu pocisku w cel, funkcja $G(y_1 z_1, \dots, y_n z_n)$ posiada pewną wartość zawartą między 0 i 1.

Wzór /7/ na obliczenie prawdopodobieństwa rażenia samolotu nie może być stosowany jako wzór roboczy z następujących powodów:

Obliczanie $2n$ - krotnej całki przy dużych wartościach n jest utrudnione; nie ma praktycznych możliwości określenia wrażliwości samolotu w postaci funkcji $G(y_1 z_1, \dots, y_n z_n)$, zależnej od wielu argumentów. Dlatego, dla uproszczenia obliczeń prawdopodobieństwa rażenia samolotu zakłada się pewne uproszczenia. Zasadnicze uproszczenie polega na tym, że zakłada się zależność warunkowego prawdopodobieństwa rażenia samolotu tylko od ilości trafień pocisków m i niezależność od prawa rozrzutu. Uproszczenie to jest szczególnie uzasadnione w przypadku, gdy wymiary celu są nieduże w porównaniu z rozrzutem pocisków w płaszczyźnie prostopadłej do średniego względnego

nego toru, w wyniku czego można założyć równomierny i niezależny rozkład współrzędnych punktów upadków pocisków na powierzchni celu. Przyjęcie tego uproszczenia umożliwia zapisanie ogólnego wzoru na prawdopodobieństwo rażenia samolotu w następującej postaci:

$$R = \sum_{m=1}^n P_m G(m) \quad 8$$

gdzie

- P_m - prawdopodobieństwo trafienia w samolot m pocisków przy n strzałach;
 $G/m/$ - warunkowe prawdopodobieństwo rażenia samolotu przy m trafieniach.

Przy założonym uproszczeniu obliczanie prawdopodobieństwa rażenia samolotu dzieli się na dwa niezależne zadania: obliczanie prawdopodobieństwa trafienia założonej ilości pocisków w cel i obliczanie warunkowego prawdopodobieństwa rażenia celu przy zamierzonej ilości trafień.

Prawdopodobieństwo zamierzonej ilości trafień pocisków w samolot P_m określają warunki strzelania, błędy strzelania, geometryczne wymiary celu w płaszczyźnie prostopadłej do średniego względnego toru i ogólna ilość oddanych strzałów n .

Warunkowe prawdopodobieństwo rażenia celu $G/m/$ zależy głównie od mocy pocisku, warunków spotkania się pocisku z celem i właściwości konstrukcyjnych celu /wytrzymałość samolotu/.

Funkcję $G/m/$ nazywa się warunkowym prawem rażenia samolotu, lub po prostu prawem rażenia samolotu. Z tego wynika że prawem rażenia samolotu przy strzelaniu uderzeniowym nazywa się zależność prawdopodobieństwa rażenia samolotu od ilości pocisków, które w niego trafiły przy określonych, ustalonych warunkach strzelania.

Prawo rażenia samolotu $G/m/$ jest zasadniczą charakterystyką skuteczności działania danego pocisku na cel przy ustalonych warunkach strzelania, do których głównie zalicza się kierunek strzelania i prędkość spotkania się pocisku z celem.

Na podstawie definicji prawa rażenia samolotu można ustalić następujące właściwości tego prawa:

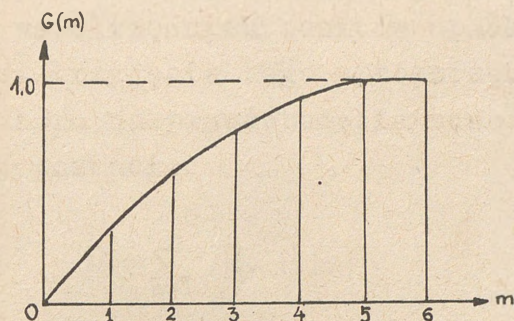
1. Prawo rażenia samolotu jest nie malejącą funkcją ilości trafień m , tj. ze wzrostem ilości trafień m prawdopodobieństwo rażenia $G/m/$ rośnie lub pozostaje wielkością stałą $G/m/$ $G(m+1) \geq G(m)$
2. Przy $m = 0$ $G/0/ = 0$ i przy $m \rightarrow \infty$ $\lim_{m \rightarrow \infty} G/m/ = 1$, ponieważ przy dużej ilości trafień prawdopodobieństwo rażenia celu będzie bardzo zbliżone do jedności. Praktycznie $G/m/$ przyjmuje wartość równą jedności przy ograniczonej wartości $m = n$ przy czym n zależy od kalibru pocisku wytrzymałości celu i warunków strzelania.

Prawo rażenia jest charakterystyką określającą wytrzymałość celu, kaliber lub moc pocisku i warunki strzelania. Im mniej wytrzymały samolot i im większa moc pocisku tym większe prawdopodobieństwo warunkowe $G/m/$ przy danym m .

Pod warunkami strzelania rozumiemy kierunek ostrzału samolotu. Przy ostrzale z jednego kierunku pociski mogą trafiać tylko w określone agregaty lub sekcje, a pozostałe będą osłonięte. Dlatego dla różnych kierunków ostrzału prawdopodobieństwo rażenia będzie różne. Z powyższego wynika, że dla każdej kombinacji pocisk - samolot - warunki strzelania istnieje określone prawo rażenia. Jednak posługiwanie się w praktyce dużą ilością praw rażenia jest niemożliwe, dlatego parametry, od których one zależą są wypośredkowane i praktycznie posługujemy się średnim prawem rażenia.

Co realizuje się w następujący sposób:

1. Określa się średnie warunki strzelania;
2. Porównuje się wytrzymałość kilku typów samolotów o podobnej konstrukcji z wytrzymałością samolotu, którego prawo rażenia jest nam zane /na przykład Canberra i IL-28
3. Funkcją $G/m/$ określa się dla całkowitych wartości argumentu $m = 0, 1, 2, \dots, n$. Na podstawie obliczeń sporządza się wykres dla większej przejrzystości, otrzymane punkty łączy się płynną krzywą bez względu na to, że $G/m/$ jest wartością skokową - /rys. 1/



Rys. 1 Prawo rażenia.

Akumulacja uszkodzeń

Pod pojęciem "akumulacja uszkodzeń" rozumie się zjawisko polegające na tym, że samolot może być rażony w wyniku jednoczesnego działania dwóch lub więcej trafnych pocisków, z których ani jeden wzięty oddzielnie nie może razić celu. Odwrotnie, przy braku akumulacji cel może być rażony w wyniku jednego udanego trafienia. Przy braku akumulacji uszkodzeń samolot można przedstawić jako składający się z dwóch wydatnie różniących się pod względem wrażliwości części; pierwsza część bardzo wrażliwa i trafienie w nią chociażby jednym pociskiem powoduje niechybne rażenie samolotu; druga praktycznie niewrażliwa i trafienie w nią nawet szeregu pocisków nie powoduje rażenia samolotu.

Oczywiście, że w danym przypadku G/m należy obliczać według zasad określania prawdopodobieństwa chociażby jednego trafienia w pierwszą wrażliwą część przy m trafieniach w samolot.

Ogólne wyrażenie G/m możemy ułożyć w następujący sposób. Jeżeli oznaczymy przez $q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_m$ prawdopodobieństwo nierażenia samolotu przy trafieniu w niego 1, 2, ..., i , ..., m pocisków, to prawdopodobieństwo rażenia samolotu przy trafieniu w niego m pocisków będzie równe prawdopodobieństwu rażenia chociażby jednym z trafnych pocisków, czyli:

$$G(m) = 1 - q_1 \cdot q_2 \cdot \dots \cdot q_i \cdot \dots \cdot q_n \quad \text{lub}$$

$$G(m) = 1 - \prod_{i=1}^m q_i \quad 9$$

stąd

$$G(m) = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_i)$$

gdzie: p_i - prawdopodobieństwo rażenia przy i - tym trafieniu

Jeżeli $q_1 = q_2 = \dots = q_i = \dots = q_m$ to tak zwanej akumulacji uszkodzeń nie ma, czyli każdy następny pocisk oddziałuje na cel w sposób analogiczny do pierwszego pocisku w tym przypadku

$$G(m) = 1 - q^m = 1 - (1 - p)^m \quad 10$$

i prawo rażenia nazywamy wykładniczym prawem rażenia. Wykładnicze prawo rażenia istnieje dla:

1. Takiego celu, który składa się z krańcowo przeciwnych, pod względem wytrzymałości, części lub zespołów, a mianowicie z zespołów, które będą rażone przy jednym trafieniu i zespołów, które praktycznie nie podlegają działaniu pocisków /nie podlegają rażeniu/ przy dowolnej ilości trafień;
2. Takiego celu, gdzie rażenie chociażby jednego z bezwarunkowo zniszczalnych zespołów prowadzi do rażenia całego samolotu.

Przy takim układzie wytrzymałościowym zespołów samolotu, trafiający w niego pocisk razi cel lub też nie wyrządza mu żadnych strat. W rzeczywistości zaś takie nieskomplikowane cele nie istnieją, ponieważ realne samoloty:

1. Posiadają zespoły, których prawdopodobieństwo rażenia, przy trafieniu w nich pocisku, jest różne od zera i jedności;
2. Posiadają zniszczalne kombinacje zespołów;
3. Istnieje akumulacja uszkodzeń.

Dlatego też realne prawa rażenia samolotów w znacznym stopniu różnią się od wykładniczych praw.

Srednia niezbędna ilość trafień

Podstawową charakterystyką prawa rażenia samolotu $G/m/$ jest ω - średnia ilość pocisków niezbędnych do rażenia celu. Ponieważ cel może być rażony przy różnej ilości trafień, to ilość trafień powodujących rażenie celu jest wielkością przypadkową.

Dla określenia średniej ilości trafień, przy której występuje rażenie celu znajdujemy nadzieję matematyczną ilości trafień, którą nazywamy średnią niezbędną ilością trafień. Nadzieja matematyczna ilości trafień niezbędnych do rażenia celu ω jest zasadniczą charakterystyką dowolnego prawa rażenia niezależnie od jego postaci i oblicza się ją ze wzoru

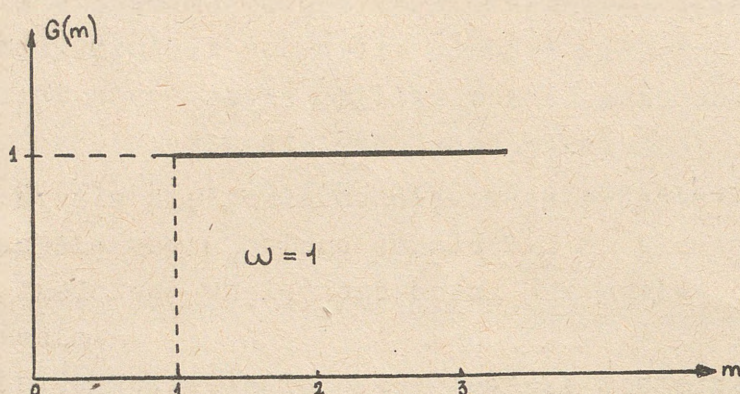
$$\omega = \sum_{m=0}^{\infty} [1 - G(m)] \quad 11$$

Górny przedział sumy " ∞ " ma tylko sens symboliczny, ponieważ praktycznie ograniczony jest tą wartością m , przy której wielkość $G(m)$ można przyjąć równą jedności. Średnia niezbędna ilość trafień ω jest dogodną charakterystyką prawa rażenia celu, a z kolei i skuteczności działania pocisku, ponieważ poglądowo przedstawia, jaka jest wrażliwość celu na pociski danego typu.

W poniższej tabeli podano średnie wartości ω dla niektórych typów samolotów w zależności od kalibru pocisku

Typ samolotu	Średnia wartość ω dla pocisku	
	37 - mm	57 ^{mm} mm
B - 26	3,0	1,06
B - 36	3,7	2,2
B - 47	5,6	3,4
"CANBERRA"	3,4	1,9
F - 84	1,05	1,0
F - 86	1,06	1,0

W przypadku gdy $\omega = 1$ świadczy to o tym, że samolot jest rażony przy pierwszym trafieniu pocisku bez względu na to w jaką część samolotu trafi pocisk. Prawo rażenia w tym przypadku ma charakter jak na rys. 2.



Rys. 2. Stopniowe prawo rażenia

Dla wykładniczego prawa mamy

$$\begin{aligned} \omega &= \sum_{m=0}^{\infty} [1 - G(m)] = \sum_{m=0}^{\infty} \{1 - [1 - (1-p)^m]\} = \sum_{m=0}^{\infty} (1-p)^m = \\ &= \sum_{m=0}^{\infty} q^m = \frac{1}{1-q} = \frac{1}{p} \end{aligned}$$

$\omega = \frac{1}{p}$ stąd $p = \frac{1}{\omega}$ i po podstawieniu do wzoru 10 otrzymamy wykładnicze prawo rażenia wyrażone przez średnią niezbędną ilość trafień ω

$$G(m) = 1 - \left(1 - \frac{1}{\omega}\right)^m \quad 12$$

Wzór /12/ potwierdza tezę, że przy wykładniczym prawie rażenia, ω jednocześnie charakteryzuje prawo rażenia samolotu. Ta właściwość wykładniczego prawa rażenia upraszcza obliczanie prawdopodobieństwa rażenia samolotu.

W ogólnym przypadku akumulacji uszkodzeń, gdy prawo rażenia różni się od wykładniczego, wielkość ω nie jest wyczerpującą charakterystyką prawa rażenia i do obliczenia prawdopodobieństwa rażenia samolotu trzeba znać prawo rażenia $G/m/$.

W praktyce zawsze występuje akumulacja uszkodzeń, ponieważ realne samoloty posiadają nie tylko wymienione uprzednio elementy, lecz również takie elementy, których trafienie, chociaż powoduje rażenie celu, to jednak wymaga więcej niż jednego trafienia.

Oprócz tego cel może posiadać również takie elementy, które trafione oddzielnie nie powodują rażenia samolotu, natomiast trafienie zespołu elementów powoduje pewne rażenie celu. Dlatego realne prawo rażenia z reguły nie mają charakteru wykładniczego.

Jeśli akumulacja uszkodzeń w ogólnym bilansie rażenia celu odgrywa małą rolę, to prawo rażenia będzie zbliżone do wykładniczego i w celu uproszczenia obliczeń można stosować wzór /10/.

Metoda obliczania prawa rażenia

Obecnie prawa rażenia samolotów określa się sposobem eksperymentalno-obliczeniowym. Istota tego sposobu jest następująca:

Samolot, dla którego określa się prawo rażenia, umownie dzieli się na szereg części - sekcji według zasady:

- 1/ Każda część powinna spełniać w składzie samolotu określoną funkcję /np. silnik, zbiorniki z paliwem, kabina pilota, stery itd./, powinna być jednorodna pod względem wrażliwości i rażenie jednej sekcji powinno prowadzić do rażenia samolotu. Granice zespołów zaznacza się na powierzchni samolotu.
- 2/ Przeprowadza się strzelanie pojedynczymi strzałami, rejestruje się wyniki zniszczenia spowodowane każdym trafnym pociskiem i na podstawie otrzymanych wyników sporządza się charakterystykę wrażliwości poszczególnych sekcji.
- 3/ Określa się częstość rażenia danej sekcji przy trafieniu w nią jednego pocisku. Częstość tą przyjmują za prawdopodobieństwo

$$\tau = \frac{\text{ilość rażących pocisków}}{\text{ilość trafnych pocisków}} \approx p_i$$

4/ Określa się warunkowe prawdopodobieństwo trafienia w i-tą sekcję

$$r = q_i = \frac{S_i}{S}$$

Dlatego określa się powierzchnię rzutu i-tej sekcji S_i i powierzchnię rzutu całego samolotu S na płaszczyznę prostopadłą do średniego względnego toru. Następnie oblicza się prawo rażenia.

Istotę określania prawa rażenia rozpatrzmy na przykładzie. Należy określić prawo rażenia celu, charakterystyki którego podane są w poniższej tabeli:

	Nr Nr sekcji		
	1	2	3
ω_i	1	2	∞
S_i	S_1	S_2	S_3
$q_i = \frac{S_i}{S}$	q_1	q_2	q_3

Zazwyczaj wyniki strzelania doświadczalnego opracowuje się w następującej kolejności:

1. Obliczamy doświadczalne prawo rażenia $G_d / m /$ dla wielu m ograniczając się tą wartością, przy której $G_d / m / \approx 1$
2. Sporządzamy wykres doświadczalnego prawa rażenia $G_d / m /$.
3. Dobieramy wyrażenie analityczne dla $G_d / m /$.
4. Określamy średnią niezbędną ilość trafień dla rażenia samolotu.
5. Zastępujemy doświadczalne prawo rażenia prawem wykładniczym i określamy błąd takiej zamiany $|\Delta| /$.

Obliczanie $G_d / m /$

Przyjmując kolejno wartości m obliczamy $G_d / m /$

przy $m = 0$ $G_d(0) = 0$

przy $m = 1$ $G_d(1) = q_1$

przy $m = 2$ $G_d(2) = q_1^2 + 2q_1 \cdot q_2 + q_2^2$

W przypadku 2 trafień samolot będzie rażony jeżeli:

1. Oba pociski trafią w pierwszą sekcję.
2. Jeden pocisk trafi w pierwszą a drugi w drugą sekcję i na odwrót.
3. Jeden pocisk trafi w pierwszą sekcję a drugi w trzecią.
4. Oba pociski trafią w drugą sekcję.

$$G_d(2) = 1 - \overline{G_d(2)}^* = 1 - (q_3^2 + 2q_2 \cdot q_3) = 1 - q_3(q_3 + 2q_2)$$

$$\text{przy } m=3 \quad G_d(3) = 1 - (q_3^3 + 3q_2 q_3^2) = 1 - q_3^2(q_3 + 3q_2)$$

$$\text{dla } m = 4 \quad G_d(4) = 1 - (q_3^4 + 4q_2 q_3^3) = 1 - q_3^3(q_3 + 4q_2)$$

na podstawie powyższych rozważań dochodzimy do wniosku, że dla m strzałów doświadczalne prawo rażenia da się przedstawić w następującej postaci analitycznej:

$$G_d(m) = \left| 1 - q_3^{m-1} (q_3 + m q_2) \right| \quad 13$$

Następnie określamy doświadczalną ilość niezbędnych trafień ω_d

$$\omega_d = \sum_{m=0}^{m=\infty} \left[1 - G_d(m) \right]$$

Dla uproszczenia obliczeń doświadczalne prawo rażenia zastępujemy wykładniczym

$$G_m = 1 - \left(1 - \frac{1}{\omega_d} \right)^m$$

sporządzamy jego wykres i określamy błąd zamiany

$$\Delta = \frac{G(m) - G_d(m)}{G_d(m)} \cdot 100 [\%]$$

Zamiana doświadczalnego prawa rażenia wykładniczym jest możliwa przy rozpatrywaniu strzelań małokalibrowej artylerii przeciwlotniczej. Rozpatrzony wyżej przykład wskazuje, że obliczenia są dość skomplikowane, a w przypadku gdy samolot składa się z wielu sekcji i posiada kombinację rażenia

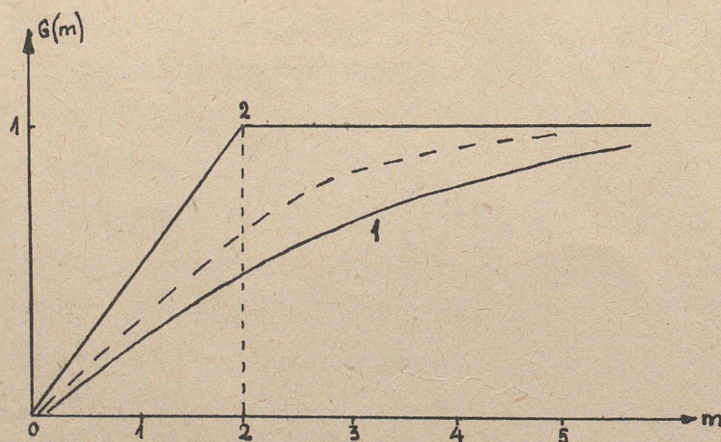
* $\overline{G_d(2)}$ - prawo nierażenia samolotu $[G_d(2) = 1 - \overline{G_d(2)}]$

złożoność ta wzrasta wielokrotnie. Dla uproszczenia obliczeń stosuje się zamianę realnego skomplikowanego celu celami mniej skomplikowanymi składającymi się tylko z dwóch sekcji, przy czym jedna z nich jest bezwarunkowo rażona.

W rozpatrzonej metodzie określania doświadczalnego prawa rażenia akumulacji uszkodzeń nie uwzględnia się. Ponieważ przy obliczeniach przyjmowaliśmy prawdopodobieństwo rażenia jednakowe dla wszystkich przypadków trafienia. Przy znacznej akumulacji uszkodzeń taka metoda obliczeń nie zdaje egzaminu. Obecnie nie posiadamy dokładnego sposobu określania akumulacji uszkodzeń i korzystamy z przybliżonego, istota którego polega na tym, że stawiamy dwa skrajne założenia o charakterze akumulacji w danej i -tej sekcji:

1. Akumulacja uszkodzeń nie istnieje.
2. Istnieje maksymalna akumulacja uszkodzeń, przy której wszystkie pociski trafiające w cel, zaczynając od drugiego, rażą cel z prawdopodobieństwem równym jedności.

Za przybliżoną wartość prawa rażenia i -tej sekcji bierzemy takie prawo, wykres którego przechodzi po wypadkowej między krzywą 1 i łamaną 2 /rys. 3/. W ten sposób uwzględniamy akumulację uszkodzeń.



Rys. 3. Uwzględnianie akumulacji uszkodzeń.

Przykład: Obliczyć i sporządzić wykres prawa rażenia samolotu oraz znalezione prawo zastąpić wykładniczym prawem rażenia, jeżeli samolot pod względem wrażliwości możemy podzielić na 3 sekcje:

1. Pierwsza sekcja będzie rażona przy trafieniu w nią jednym pociskiem, rażenie tej sekcji prowadzi do rażenia całego samolotu. Powierzchnia tej sekcji wynosi 50 m^2 .
2. Druga sekcja o powierzchni 30 m^2 jest rażona przy trafieniu w nią 2 pociskami. Rażenie tej sekcji prowadzi do rażenia całego samolotu.
3. Trzecia sekcja o powierzchni 20 m^2 praktycznie jest niezniszczalna.

Rozwiązanie:

1. Zestawmy tabelę charakterystyk celu

	Nr Nr sekcji		
	1	2	3
W_i	1	2	∞
S_i	50 m^2	30 m^2	20 m^2
$q_i = \frac{S_i}{S}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{10}$	$\frac{1}{5}$

2. Określmy doświadczalne prawo rażenia dla m trafnych

$$G_d(m) = 1 - q_3^{m-1} (q_3 + m q_2)$$

$$G_d(0) = 0$$

$$G_d(1) = 1 - \left(\frac{1}{5}\right)^0 \left(\frac{1}{5} + 1 \cdot \frac{3}{10}\right) = 1 - 1 \left(\frac{2 + 3}{10}\right) = 1 - \frac{5}{10} = \frac{5}{10} = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$G_d(2) = 1 - \frac{1}{5} \left(\frac{1}{5} + 2 \cdot \frac{3}{10}\right) = 1 - \frac{1}{5} \cdot \frac{8}{10} = 1 - \frac{8}{50} = \frac{42}{50} = 0.84$$

$$G_d(3) = 1 - \left(\frac{1}{5}\right)^2 \left(\frac{1}{5} + 3 \cdot \frac{3}{10}\right) = 1 - \frac{1}{25} \cdot \frac{11}{10} = 1 - \frac{11}{250} = \frac{239}{250} = 0.956$$

$$G_d(4) = 1 - \left(\frac{1}{5}\right)^3 \left(\frac{1}{5} + 4 \cdot \frac{3}{10}\right) = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{13}{10} = 1 - \frac{13}{1250} = \frac{1237}{1250} = 0.989$$

3. Obliczamy średnią niezbędną ilość trafień ω

$$\omega = \sum_{m=0}^{\infty} [1 - G_d(m)]$$

$$\omega = (1-0) + (1-0,5) + (1-0,84) + (1-0,956) + (1-0,989) =$$

$$= 1 + 0,5 + 0,16 + 0,044 + 0,011 = 1,715$$

4. Przechodzimy do wykładniczego prawa rażenia i obliczamy jego wartość dla poszczególnych m .

$$G(m) = 1 - \left(1 - \frac{1}{\omega}\right)^m, \quad \frac{1}{\omega} = \frac{1}{1,715} = 0,583$$

$$G(0) = 0$$

$$G(1) = 1 - (1 - 0,583)^1 = 0,583$$

$$G(2) = 1 - (1 - 0,583)^2 = 1 - (0,417)^2 = 1 - 0,174 = 0,828$$

$$G(3) = 1 - (1 - 0,583)^3 = 1 - (0,417)^3 = 1 - 0,072 = 0,918$$

$$G(4) = 1 - (1 - 0,583)^4 = 1 - (0,417)^4 = 1 - 0,030 = 0,970$$

5. Sporządzamy wykres doświadczalnego i wykładniczego prawa rażenia.

Strzelanie rozpryskowe artylerii przeciwlotniczej
=====

Kruszenie granatu na odłamki i charakter ich rozlotu.

Sredniokalibrowa artyleria przeciwlotnicza prowadzi strzelanie do celów powietrznych granatem odłamkowym z zapalnikiem czasowym lub zbliżeniowym /radiowym/. Rażące działanie pocisku średniego kalibru składa się z działania odłamkowego i burzącego. Przy rozerwaniu się granatu w przestrzeni zajmowanej przez samolot, zostaje on rażony w wyniku bezpośredniego działania fali uderzeniowej powstałej przy wybuchu i odłamków, przy czym rażeniu podlegają nawet takie części samolotu jak płyty nośne, usterzenie ogłowe, które na działanie pojedynczych odłamków są całkowicie odporne. Dla istniejących kalibrów pocisków przeciwlotniczych średniego kalibru, rozerwanie się pocisku wewnątrz samolotu powoduje rażenie samolotu z prawdopodobieństwem równym jedności. Oprócz tego istnieje przestrzeń bezpośrednio przylegająca do samolotu charakteryzująca się tym, że przy rozerwaniu się pocisku wewnątrz tej przestrzeni następuje rażenie samolotu z prawdopodobieństwem równym jedności. Granice tej przestrzeni znajdują się na odległości 0,5÷1,0 m od powierzchni samolotu. Tę przestrzeń nazywamy strefą bezpośredniego działania. Strefa ta, szczególnie dla współczesnych ciężkich bombowców ma znaczne wymiary. Jednak biorąc pod uwagę, że:

1. Współczynnik napełnienia granatów przeciwlotniczych materiałem wybuchowym ma małą wartość w związku z czym ich działanie burzące jest małe.
2. Rozrzut rozprysków osiąga znaczne wielkości.
3. Przy rozerwaniu się granatu tworzą się wystarczająco ciężkie odłamki w wyniku czego promień ich działania jest wystarczająco duży, w teorii strzelania artylerii przeciwlotniczej przy obliczaniu wskaźników skuteczności strzelania strefy bezpośredniego działania nie uwzględnia się.

Przy trafieniu odłamków w samolot rażenie poszczególnych agregatów i samolotu w całości uzyskujemy przez mechaniczne działanie lub zapalenie baków paliwowych. Jednak

jak wynika z doświadczeń zapalenie się baków paliwowych na wysokościach większych od 14000 m jest praktycznie niemożliwe. Dlatego też przy strzelaniu do celów wysokościowych zapalającego działania odłamków nie uwzględnia się.

Zasadniczymi elementami samolotu, rażenie których prowadzi do rażenia samolotu w całości, są:

1. Zbiorniki paliwa.
2. Przewody zasilania silników paliwem.
3. Załoga.
4. Zespoły sterowania.

Powierzchnia wrażliwych części samolotu osiąga 3-15% ogólnej powierzchni samolotu, w zależności od typu samolotu i kierunku strzelania. Przy czym zasadniczą część wrażliwej powierzchni 80-85% tworzą zbiorniki na paliwo, pozostałe 20-25% to te wrażliwe części samolotu, których rażenie uzyskujejmy przez mechaniczne działanie odłamków.

Chcąc poznać charakter działania granatu przeciwlotniczego na samolot powinniśmy przede wszystkim zapoznać się z charakterystykami rozlotu odłamków przy rozerwaniu się pocisku na torze.

Do charakterystyk rozlotu odłamków zaliczamy:

1. Gęstość odłamków różnych grup wagowych.
2. Początkowa prędkość odłamków i jej rozrzut.

Charakterystyki rozlotu odłamków określa się drogą analityczną na podstawie znanych charakterystyk kruszenia granatu i danych o prędkości pocisku oraz jej kierunku w momencie rozprysku.

Kruszenie granatu na odłamki charakteryzują następujące wielkości.

1. Ogólna ilość odłamków powstających przy rozprysku granatu oraz ich podział według grup wagowych.
2. Rozkład odłamków według kierunków przy rozerwaniu się granatu w statyce.
3. Prędkość dodatkowa odłamków oraz jej rozrzut.

Ogólną ilość odłamków powstających przy rozerwaniu się pocisku określa się doświadczalnie przez rozerwanie pocisku w opancerzonej jamie. Po wykonaniu doświadczenia oblicza się ilość odłamków i dokonuje się podziału na poszczególne grupy wagowe. Po przeprowadzeniu szeregu doświadczeń otrzymano

następujące ilości odłamków w poszczególnych grupach wagowych /patrz poniższa tabela/

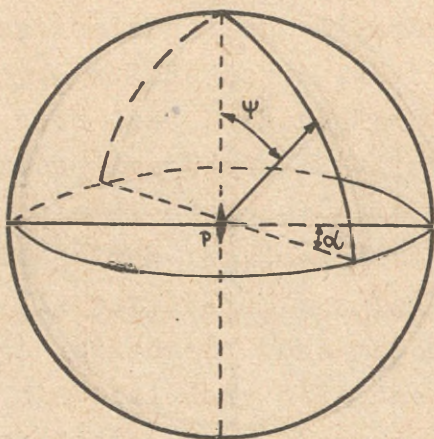
grupy wagowe kaliber	1-5g /3/	5-15g /10/	15-25g /20/	25-75g /50/	75-125g /100/	Ogółem
85 mm	230	158	77	79	5	549
100 mm	550	293	120	123	8	1094

Rozkład odłamków według kierunków przy rozerwaniu pocisku w statyce

W wyniku działania gazów, powstałych przy rozerwaniu się materiału kruszącego granatu, odłamki rozlatują się w różnych kierunkach od punktu rozprysku. Zazwyczaj rozkład odłamków według kierunków przy rozerwaniu pocisku w statyce charakteryzuje się gęstością odłamków danej grupy wagowej czyli średnią ilością odłamków danej grupy wagowej, przypadającą na 1 m^2 powierzchni oddalonej o 1 m od punktu rozprysku.

Każdy odłamek powstały przy rozerwaniu granatu w statyce charakteryzują następujące wielkości:

1. Ciężar odłamka q .
2. Prędkość dodatkowa V_d .
3. Kierunek wektora prędkości dodatkowej czyli kąt γ zawarty między osią pocisku i kierunkiem wektora prędkości dodatkowej oraz kąt α zawarty między płaszczyzną, przyjętą jako początkowa i płaszczyzną zawierającą wektor prędkości dodatkowej i przechodzącą przez oś pocisku /rys. 5/.



Rys. 5. Kierunek wektora prędkości dodatkowej.

Przy każdorazowym rozerwaniu pocisku powstaje n odłamków. Ponieważ każdy odłamek charakteryzują cztery wielkości to w przypadku powstawania n odłamków układ 4 wielkości q, V_d, Ψ, α przyjmie n szczególnych wartości. Przy rozpatrywaniu dostatecznie dużej ilości doświadczeń układ czterech wielkości można rozpatrywać jako układ wielkości przypadkowych, który przy każdym konkretnym doświadczeniu przyjmuje n wartości. Przy czym n również jest wielkością przypadkową. Układ ten może być przedstawiony za pomocą prawa rozkładu $\varphi(q, V_d, \Psi, \alpha)$, oprócz tego układ ten może być całkowicie scharakteryzowany za pomocą praw rozkładu poszczególnych wielkości przypadkowych wchodzących w układ lub za pomocą warunkowych praw rozkładu innych wielkości przypadkowych tego układu. Doświadczalnie ustalono, że V_d i jej kierunek Ψ i α , nie zależą od ciężaru odłamka. Dlatego też przy badaniu rozkładu odłamków różnych grup wagowych według kierunków wystarczy posługiwać się układem dwóch niezależnych wielkości przypadkowych Ψ i α . Z powyższych względów gęstość rozkładu prawdopodobieństw układu dwóch wielkości przypadkowych $\varphi(\Psi, \alpha)$ możemy przedstawić w postaci

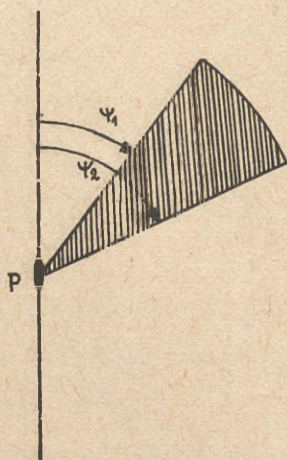
$$\varphi(\Psi, \alpha) = \varphi_1(\Psi) \cdot \varphi_2(\alpha)$$

Uwzględniając to, że pocisk posiada symetrię osiową wnioskujemy, że wielkość przypadkowa α jest rozłożona według pra-

wa jednakowego prawdopodobieństwa w przedziale od 0 do 2π z prawdopodobieństwem równym $\frac{1}{2\pi}$

$$\Psi_2(\alpha) = \frac{1}{2\pi}$$

Znając gęstość rozkładu $\Psi_1(\Psi)$ możemy określić prawdopodobieństwo trafienia odłamka i-tej wagowej grupy w powierzchnię pasa kulistego ograniczonego kątami Ψ_1 Ψ_2 /rys. 6/.



Rys. 6

$$P_{\Psi_i} = \int_0^{2\pi} \int_{\Psi_1}^{\Psi_2} \Psi_1(\Psi) \Psi_2(\alpha) d\Psi d\alpha =$$

$$= \int_{\Psi_1}^{\Psi_2} \Psi_1(\Psi) d\Psi \cdot \int_0^{2\pi} \frac{d\alpha}{2\pi} ;$$

ponieważ

$$\int_0^{2\pi} \frac{d\alpha}{2\pi} = \frac{\alpha}{2\pi} \Big|_0^{2\pi} = \frac{1}{2\pi} (2\pi - 0) = 1$$

to

$$P_{\Psi_i} = \int_{\Psi_1}^{\Psi_2} \Psi_1(\Psi) d\Psi$$

Przy rozerwaniu pocisku powstaje m_i odłamków i-tej wagowej grupy. Dlatego średnia ilość odłamków i-tej wagowej grupy trafiająca w pas kulisty będzie równa

$$m_{\Psi_i} = m_i \cdot P_{\Psi_i}$$

więc gęstość odłamków i-tej wagowej grupy na danym pasie kulistym na odległości l m od punktu rozprysku będzie równa stosunkowi średniej ilości odłamków danej wagowej grupy trafiającej w powierzchnię tego pasa kulistego do jego powierzchni

$$N_{\Psi_i} = \frac{m_{\Psi_i}}{2\pi (\cos \Psi_1 - \cos \Psi_2)}$$

W ten sposób widzimy, że do określenia gęstości odłamków powinniśmy znać prawo rozkładu wielkości przypadkowej Ψ ; zadanie to możemy rozwiązać wykorzystując dane doświadczalne.

Dlatego by określić jaki jest charakter rozlotu odłamków w stożku rozlotu przeprowadza się specjalne doświadczenia. Doświadczenie to polega na rozerwaniu pocisku nad półkulistą powierzchnią /czaszą/, na którą naniesiona jest siatka współrzędnych podobna do geograficznej, "równoleżniki" naniesione są co $\Delta \Psi = 5^\circ$, a "południki" co $\Delta \alpha = 10^\circ$. W związku z tym, że czasza taka w czasie wybuchu ulega zniszczeniu i należy ją po doświadczeniu odtwarzać, rozerwania pocisku dokonują nad płaszczyznę poziomą, na której naniesiono rzuty "równoleżników" i "południków". Na podstawie wyników doświadczeń określa się ilość odłamków, danej wagowej grupy, przypadających na powierzchnię $S_{\Psi\alpha}$ ograniczoną krzyżującymi się "równoleżnikami" i "południkami". Na podstawie tych danych oblicza się charakterystyki rozkładu odłamków w stożku rozlotu przy rozerwaniu granatu w statyce czyli określa się:

1. Przybliżoną wartość nadziei matematycznej i dyspersji ilości odłamków danej grupy wagowej przypadającej na płaszczyznę $S_{\Psi\alpha}$.
2. Gęstość odłamków.
3. Przybliżoną wartość współczynnika korelacji między ilością odłamków trafiających w poszczególne płaszczyzny i ilością odłamków poszczególnych grup wagowych trafiających w jedną płaszczyznę.

Po otrzymaniu tych wyników i po przeprowadzeniu analizy możemy dojść do następujących wniosków:

1. Ilość odłamków, trafiającą w płaszczyznę $S_{\Psi\alpha}$ praktycznie nie zależy od ilości odłamków trafiających w inną płaszczyznę.
2. Rozkład odłamków według ciężaru na poszczególnych płaszczyznach jest również niezależny.
3. Odłamki wewnątrz stożka rozlotu według ciężaru i kierunku są rozłożone nierównomiernie, w części głowicowej stożka znajdują się w zasadzie odłamki z zapalnika i głowicy granatu. Są to odłamki lekkie o wadze 1-2 g. Między głowicowym i bocznym stożkiem odłamków praktycznie nie ma. Zasadnicza

masa odłamków /80-85%/ znajduje się w bocznym stożku, są to odłamki z bocznych ścianek granatu w zasadzie o wadze 5-40g. Odłamki te posiadają decydujący wpływ na skuteczność strzelania. Dlatego też w dalszych rozważaniach będziemy brali pod uwagę tylko odłamki znajdujące w bocznym stożku. W dennym stożku znajduje się mało odłamków w zasadzie ciężkich powstałych z dnia pocisku.

4. Ilość odłamków trafiających w płaszczyznę $S_{\psi\alpha}$ zależy wyłącznie od tego pod jakim kątem Ψ położona jest płaszczyzna i nie zależy od kąta α .
5. Średnia wartość ilości odłamków danej wagowej grupy trafiająca w płaszczyznę $S_{\psi\alpha}$ praktycznie jest równa dyspersji ilości trafień, można więc przypuszczać, że rozkład ilości odłamków poszczególnych grup wagowych trafiających w płaszczyznę $S_{\psi\alpha}$ podlega prawu Poissona.

Rozpatrując szereg doświadczeń możemy uzyskać zbiór wartości $\Psi\alpha$. Wartości Ψ i α są między sobą niezależne i α posiada rozkład równomierny w przedziale od 0 do 2π , to grupując Ψ według określonych grup możemy w wyniku opracowania otrzymać przybliżoną wartość nadziei matematycznej $\bar{\Psi}$ i odchylenia średniego kwadratowego σ_{Ψ} , które dla 100 mm armaty przeciwlotniczej wynoszą

$$\bar{\Psi} = 92,2^{\circ} ; \quad \sigma_{\Psi} = 7,2^{\circ}$$

Wyniki opracowania danych wskazują na to, że wielkość przypadkowa Ψ podlega normalnemu prawu rozkładu o parametrze $\bar{\Psi}$ i σ_{Ψ}

Prędkość dodatkowa odłamka jest to prędkość jaką uzyskuje odłamek w wyniku działania gazów powstałych przy wybuchu granatu. Doświadczenia wskazują na to że prędkość dodatkowa odłamka jest wielkością przypadkową i zależy od jakości materiału wybuchowego, współczynnika napełnienia, właściwości metalu pocisku, konstrukcji pocisku i innych. Przy obliczeniach praktycznych zazwyczaj korzystamy z średnich wartości prędkości dodatkowych określonych dla poszczególnych kalibrów

kaliber	v_d	σ_{vd}
85 mm	720 m/sek	44 m/sek
100 mm	870 m/sek	61 m/sek

Charakterystyki działania odłamkowego granatu

Do charakterystyk działania odłamkowego granatu zaliczamy:

1. Charakterystyki kruszenia granatu.
2. Charakterystyki rozlotu odłamków przy rozerwaniu granatu w statyce.
3. Charakterystyki efektywności odłamków czyli wielkości, które charakteryzują wrażliwość celu lub jego agregatów w stosunku do działania poszczególnych odłamków.

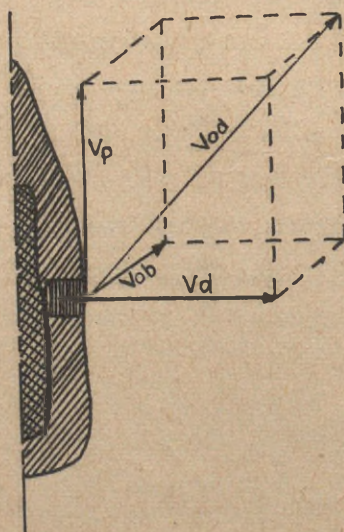
Do charakterystyk rozlotu odłamków przy rozerwaniu się pocisku na torze zaliczamy:

1. Prędkość początkową odłamków i jej rozrzut.
2. Gęstość odłamków poszczególnych grup wagowych.

Prędkość początkowa odłamków

Przy rozerwaniu się pocisku na torze na odłamki powstałe z bocznej ścianki granatu działają trzy prędkości:

1. Prędkość pozostała pocisku jaką on posiadał w momencie rozprysku v_p
2. Prędkość dodatkowa.
3. Prędkość obrotowa v_{ob} powstająca w wyniku ruchu obrotowego pocisku.



Rys. 7. Prędkość początkowa odłamka

Prędkość pozostała V_p czyli prędkość jaką posiada pocisk w momencie rozerwowania się jest praktycznie równoległa do osi pocisku. Prędkość tą możemy określić na podstawie tabel strzelniczych, w których na podstawie wysokości i odległości poziomej możemy znaleźć wielkość prędkości pozostałej i kąta nachylenia stycznej do toru w danym punkcie.

Prędkość obrotowa V_{ob} jest mała w porównaniu do pozostałych prędkości, dla 100 mm armaty nie przekracza 100 m/sek, więc jej się nie uwzględnia. Przy takim uproszczeniu błąd określenia prędkości początkowej odłamka nie przekracza 3-4 m/sek a w kierunku - 26 .

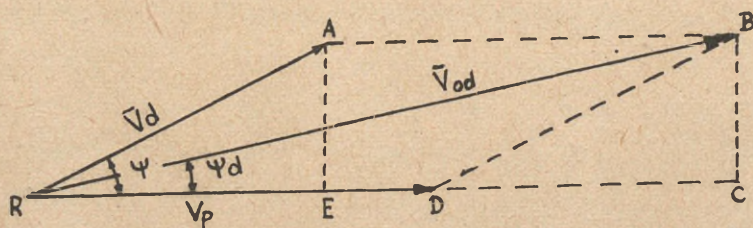
Przy takim uproszczeniu

$$\vec{V}_{od} = \vec{V}_d + \vec{V}_p$$

Wielkość prędkości początkowej odłamka możemy obliczyć ze wzoru

$$V_{od} = \sqrt{V_d^2 + V_p^2 + 2V_dV_p \cos \Psi} \quad 14$$

Kierunek prędkości początkowej odłamka charakteryzuje się kątem Ψ dynamicznym oznaczanym przez Ψ_d /rys.8./



Rys. 8. Kąt dynamiczny kierunku prędkości początkowej odłamka.

$$\operatorname{ctg} \Psi_d = \frac{R \cdot C}{B \cdot C} = \frac{RE + EC}{AE} = \frac{V_d \cdot \cos \Psi + V_p}{V_d \cdot \sin \Psi} \quad \text{skąd}$$

$$\Psi_d = \operatorname{arc} \operatorname{Ctg} \left(\operatorname{ctg} \Psi + \frac{V_p}{V_d \cdot \sin \Psi} \right) \quad 15$$

Ze wzorów 14 i 15 wynika, że prędkość początkowa odłamka i jej kierunek jest wielkością przypadkową i przy określonej prędkości pozostałej jest funkcją V_d i Ψ . Dla 100 mm armaty przeciwlotniczej przy $V_p = 500$ m/sek średnia wartość prędkości początkowej odłamka $V_{od} = 983$ m/sek a $\sigma_{Vod} = 93$ m/sek.

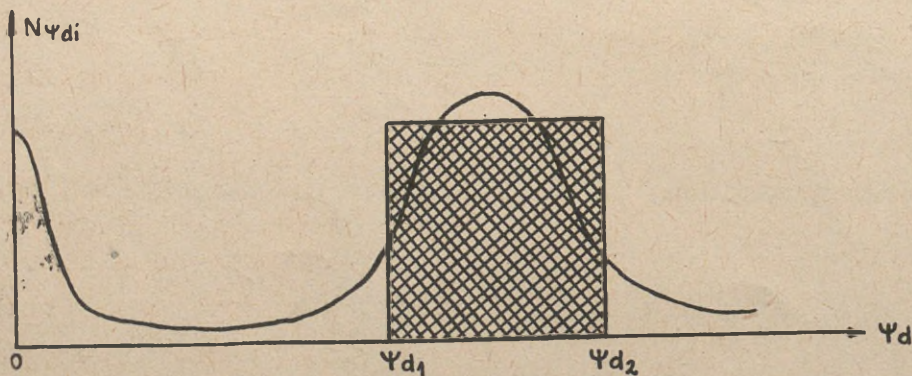
Gęstość odłamków w dynamice

Analogicznie jak przy rozerwaniu granatu w statyce, rozkład odłamków według kierunków możemy scharakteryzować średnią wartością gęstości odłamków w dynamice na odległości 1 m od punktu rozprysku.

$$N_{\Psi di} = \frac{m_i P_{\Psi di}}{2\pi (\cos \Psi_{d1} - \cos \Psi_{d2})} \quad 16$$

Maksymalna wartość gęstości odłamków w dynamice przy $V_p = 300$ m/sek zawiera się w granicach kątów $\Psi_{d1} \div \Psi_{d2} = 65^\circ \div 80^\circ$ czyli w granicach wąskiego stożka $\Delta \Psi_d \approx 15^\circ$

Praktycznie przy obliczeniach wskaźników skuteczności strzelania zakłada się, że w przestrzeni ograniczonej kątami Ψ_{d1} i Ψ_{d2} odłamki rozłożone są równomiernie. Przestrzeń ta położona jest w okolicy maksimum, Poza tą przestrzeń gęstość odłamków przyjmuje się równą zero /rys. 9/



Rys. 9. Przestrzeń ograniczona kątami Ψ_{d1} i Ψ_{d2}

Przy czym nie uwzględniamy gęstości odłamków w stożku głowicowym, ponieważ zawiera on odłamki małe przypadające na małą powierzchnię /stożek jest wąski/.

Na podstawie znajomości gęstości odłamków w dynamice możemy określić gęstość odłamków w dowolnym kierunku od punktu rozprysku. Możemy też określić gęstość odłamków w kierunku na cel znajdujący się w odległości R od punktu rozprysku. Gęstość odłamków ubywa proporcjonalnie do R^2 czyli na odległości R gęstość odłamków wyniesie $\frac{N \psi d_i}{R^2}$.

Charakterystyki skuteczności odłamków.

Do tych charakterystyk zaliczamy wielkości charakteryzujące:

1. Wytrzymałość celu lub jego poszczególnych agregatów.
2. Wrażliwość agregatów samolotu.

Skuteczność działania odłamka zależy od współrzędnych punktu trafienia, a również od prędkości odłamka, jego ciężaru oraz orientacji w momencie uderzenia. Przy czym zasadniczymi czynnikami są ciężar i prędkość względna odłamka / q, V_{wzg} / Skuteczność oddziaływania odłamka na daną część samolotu może być przedstawiona w postaci prawdopodobieństwa rażenia danej części $P(q, V_{wzg})$. Prawdopodobieństwo to może być znalezione drogą analityczną lub doświadczalną. Doświadczalnie zazwyczaj określamy prawdopodobieństwo zapalenia się zbiorników paliwowych przy trafieniu w nie odłamka $P_z(q, V_{wzg})$. Natomiast prawdopodobieństwo rażenia zespołów samolotu przez działanie mechaniczne odłamków znajdujemy na drodze analitycznej. Jest to sposób pewny i bardziej ekonomiczny. Chcąc razić urządzenie samolotu, odłamek powinien najwpierw przebić osłonę ekranującą dane urządzenie. Wiadomo, że przy stałej grubości przeszkody minimalna energia niezbędna do jej przebiccia jest proporcjonalna do grubości przeszkody h , powierzchni otworu przebicciu S i oporu materiału przeszkody σ

$$E_0 = K h S \cdot \sigma$$

17

gdzie: K - współczynnik proporcjonalności uwzględniający miano
Rozpatrując współczesne samoloty najczęściej spotykamy się z takim metalem jak duraluminium. W związku z tym wszystkie

realne przeszkody zastępujemy duralowym ekwiwalentem wychodząc z założenia, że jeżeli $h_1 \sigma_1 = h_d \cdot \sigma_d$ /duraluminium/ to prawdopodobieństwo otrzymania przebiccia dla nich będzie jednakowe. W ten sposób prawdopodobieństwo otrzymania przebiccia w duralowym ekwiwalencie o grubości h_d będzie zależało od stosunku energii odłamka do grubości duralowego ekwiwalentu

$$E_h = \frac{E_{jedm}}{h_d}$$

gdzie: E_{jedm} - energia jednostkowa $E_{jedm} = \frac{q V^2}{2 q \cdot s}$

Dla uszkodzenia urządzenia samolotu przy znajomości charakterystyk wytrzymałościowych przeszkody h_{dp} , powinniśmy jeszcze znaleźć grubość duralowego ekwiwalentu rozpatrywanego urządzenia h_{du} , Okazuje się, że dla urządzeń współczesnych samolotów $h_{du} = 1 \div 2$ mm. W ten sposób dochodzimy do grubości duralowego ekwiwalentu, który należy przebić by uzyskać rażenie żadanego urządzenia

$$h_d = h_{dp} + h_{du} \quad 19$$

Ta wielkość jest właśnie charakterystyką wytrzymałościową agregatów samolotu. Dla samolotu IŁ-28 $h_d = 12$ mm, dla Tu - 4 $h_d = 15$ mm.

Przy obliczaniu prawdopodobieństwa rażenia urządzeń samolotu oprócz charakterystyk wytrzymałościowych powinniśmy znać wrażliwość danego urządzenia. Dlatego należy znaleźć rzuty wrażliwych części urządzenia na płaszczyznę prostopadłą do V_{wzg} odłamka / S_0 / . W związku z tym że powierzchnie rzutów niewiele się różnią od wielkości odłamka, a wystarczy by odłamek trafił częścią swego wymiaru, powierzchnią rzutu powiększamy o połowę średniej długości odłamka, czyli dodajemy pewną powierzchnię S i otrzymamy

$$S / q / = S_0 + S$$

gdzie : $S / q /$ - powierzchnia rażona odłamkiem o ciężarze q Zakładając, że odłamki na powierzchni całego urządzenia S rozkładają się równomiernie i niezależnie, prawdopodobieństwo trafienia we wrażliwe części urządzenia możemy obliczyć sposobem geometrycznym porównując powierzchnię

$$\frac{s/q}{s}$$

Natomiast prawdopodobieństwo rażenia całego zespołu jako prawdopodobieństwo zdarzenia złożonego znajdujemy z twierdzenia o iloczynie prawdopodobieństw

$$P/q \cdot v_{wzg} / = \frac{s/q}{s} P/E_n /$$

gdzie: $\frac{s/q}{s}$ - prawdopodobieństwo trafienia we wrażliwe części rozpatrywanego urządzenia samolotu

$P/E_n /$ - prawdopodobieństwo rażenia przy trafieniu danego odłamka. Wartość tę określa się z tabel ustalonych na podstawie strzelań doświadczalnych /Załącznik nr 1 skryptu S/5 - Działanie pocisków artylerii przeciwlotniczej/.

Prawo rażenia samolotu odłamkami przy jednym i kilku strzałach.

Prawdopodobieństwo rażenia celu zależy od:

1. Warunków strzelania;
2. Dokładności strzelania.
3. Ilości oddanych strzałów.
4. Mocy pocisku.

Przy określonych warunkach strzelania składającego się z n strzałów prawdopodobieństwo rażenia samolotu możemy obliczyć ze wzoru

$$R = \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} (\varphi)^n \cdot \dots \int_{-\infty}^{+\infty} (x_1 y_1 z_1, x_2 y_2 z_2, \dots, x_n y_n z_n) G(x_1 y_1 z_1, x_2 y_2 z_2, \dots, x_n y_n z_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n \times dy_1 dy_2 \dots dy_n, dz_1 dz_2 \dots dz_n$$

gdzie: φ - gęstość prawdopodobieństwa wystąpienia rozprysku w punktach o współrzędnych

$$x_1 y_1 z_1, x_2 y_2 z_2 \dots x_n y_n z_n$$

G - prawdopodobieństwo rażenia celu przy wystąpieniu rozprysku w punktach o współrzędnych $x_1 y_1 z_1, x_2 y_2 z_2 \dots x_n y_n z_n$. Funkcja ta charakteryzuje zależność prawdopodobieństwa rażenia celu od ilości i współrzędnych rozprysków oraz nosi nazwę współrzędnościowego prawa rażenia.

Obliczenie prawdopodobieństwa rażenia samolotu na podstawie tego wzoru jest możliwe tylko drogą liczbowego całkowania ponieważ prawo błędów Ψ jest prawem elipsoidalnym zależnym od dużej ilości parametrów a prawo rażenia G może być wyrażone liczbowo. Niemniej jednak teoretycznie wzór ten jest absolutnie dokładny. Przy praktycznych obliczeniach prawdopodobieństwa rażenia samolotu zakładamy szereg uproszczeń.

Zasadniczym uproszczeniem w stosunku do prawa błędów Ψ jest uproszczenie polegające na nieuwzględnianiu akumulacji uszkodzeń. Przy tym uproszczeniu prawo rażenia samolotu przy n strzałach będzie miało postać

$$G(x_1 y_1 z_1, x_2 y_2 z_2 \dots x_n y_n z_n) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - G_i(x_i y_i z_i)] \quad 20$$

Czyli przy braku akumulacji uszkodzeń rażenie samolotu osiągniemy przez rozerwanie się chociażby jednego pocisku w punkcie o współrzędnych $x_i y_i z_i$. W ten sposób określenie prawa rażenia przy n strzałach sprowadza się do określenia prawa rażenia przy jednym strzale.

Założmy, że samolot składa się z L sekcji przy czym rażenie dowolnej sekcji prowadzi do rażenia całego samolotu. Znajdźmy prawdopodobieństwo rażenia jednej sekcji - l -tej. Przy rozerwaniu się pocisku w punkcie o współrzędnych $x y z$ w sekcję mogą trafić odłamki o różnym ciężarze i prędkości; podzielmy je na n grup. Ilość odłamków danej grupy M_i trafiających w sekcję jest wielkością przypadkową podlegającą prawu Poissona, więc prawdopodobieństwo trafienia M_i odłamków w l -tą sekcję możemy obliczyć ze wzoru

$$P_i(m_i) = \frac{\bar{m}_i e^{-\bar{m}_i}}{m_i!} e^{-\bar{m}_i} \quad 21$$

gdzie: \bar{m}_{ie} - nadzieja matematyczna ilości odłamków i-tej grupy trafiających w l-tą sekcję.

Oznaczmy warunkowe prawdopodobieństwo rażenia l-tej sekcji odłamkiem i-tej grupy przez P_{ie} to prawdopodobieństwo rażenia tej sekcji przy trafieniu w nią M_i odłamków możemy znaleźć jako prawdopodobieństwo rażenia chociażby jednym odłamkiem. Lecz w tym wypadku zakładamy, że sekcja ta będzie rażona przy jednym trafieniu czyli

$$g_{il}(m_i) = 1 - (1 - P_{ie})^{m_i} \quad 22$$

a bezwarunkowe prawdopodobieństwo rażenia l-tej sekcji odłamkami i-tej grupy obliczymy ze wzoru na prawdopodobieństwo całkowite

$$G_{il}(x, y, z) = \sum_{m_i} P_i(m_i) g_{il}(m_i) \quad 23$$

gdzie suma rozprzestrzenia się na całą ilość odłamków i-tej grupy. Po podstawieniu wartości otrzymamy

$$\begin{aligned} G_{il}(x, y, z) &= \sum_{m_i} \frac{\bar{m}_{il}^{m_i}}{m_i!} e^{-\bar{m}_{il}} [1 - (1 - P_{ie})^{m_i}] = \\ &= \sum_{m_i} \frac{\bar{m}_{il}^{m_i}}{m_i!} e^{-\bar{m}_{il}} - \sum_{m_i} \frac{\bar{m}_{il}^{m_i}}{m_i!} e^{-\bar{m}_{il}} (1 - P_{ie})^{m_i} \end{aligned}$$

Pierwsza składowa jest równa zero jako suma prawdopodobieństw wszystkich możliwych wartości wielkości przypadkowej M_i podlegającej prawu Poissona

więc

$$G_{il}(x, y, z) = 1 - \sum_{m_i} \frac{\bar{m}_{il}^{m_i}}{m_i!} e^{-\bar{m}_{il}} (1 - P_{ie})^{m_i} \quad 24$$

Drugą składową tego wyrażenia jest prawdopodobieństwem nie-rażenia l-tej sekcji odłamkami i-tej grupy. Tą część możemy uprościć, przeprowadzając pewne przekształcenia i uzyskać nowe równanie

$$\bar{G}_{il}(x, y, z) = e^{-\bar{m}_{il} P_{ie}} \quad 25$$

Ponieważ l -ta sekcja jak zakładaliśmy jest celem bez akumulacji uszkodzeń, to prawdopodobieństwo nierażenia jej przy trafieniu odłamków poszczególnych grup wagowych otrzymamy z twierdzenia o iloczynie prawdopodobieństw

$$\bar{G}_l(xyz) = \prod_{i=1}^n \bar{e}^{\bar{m}_{il} P_{ie}} = e^{-\sum_{i=1}^n \bar{m}_{il} P_{ie}} \quad 26$$

Prawdopodobieństwo nierażenia wszystkich sekcji samolotu przy rozerwaniu się poisku w punkcie o współrzędnych xyz również otrzymamy z twierdzenia o iloczynie prawdopodobieństw

$$\bar{G}(xyz) = \prod_{l=1}^L e^{-\sum_{i=1}^n \bar{m}_{il} P_{ie}} = e^{-\sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^n \bar{m}_{il} P_{ie}} \quad 27$$

W ten sposób prawdopodobieństwo rażenia samolotu przy jednym strzale i przy uzyskaniu rozprysku w punkcie o współrzędnych xyz , jako prawdopodobieństwo zdarzenia przeciwnego będzie równe

$$G(xyz) = 1 - e^{-\sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^n \bar{m}_{il} P_{ie}} \quad 28$$

gdzie:

$$P_{il} = \frac{S(q)}{S_l} \cdot P_i(E_h) -$$

- dla sekcji, których rażenie następuje przez działanie mechaniczne

$$P_{il} = \frac{S(q)}{S_l} P_{zi}(q, V_{wzg}) -$$

- dla sekcji, których rażenie następuje przez napalenie paliwa.

$$\bar{m}_{ie} = \frac{N_{\psi di}}{R_2} S_l$$

gdzie S_l - płaszczyzna rzutu
 l - tej sekcji na płaszczyznę prostopadłą do V_{wzg} .

Wzór 28 możemy przedstawić w innej postaci:

$$G(xyz) = 1 - e^{-M(xyz)} \quad 29$$

gdzie

$$\sum_{i=1}^n \bar{m}_{il} P_{ie} = M_l(xyz)$$

- Nadzieja matematyczna ilości rażących odłamków trafiających w l -tą sekcję;

$$\sum_{l=1}^L M_l(xyz) = M(xyz)$$

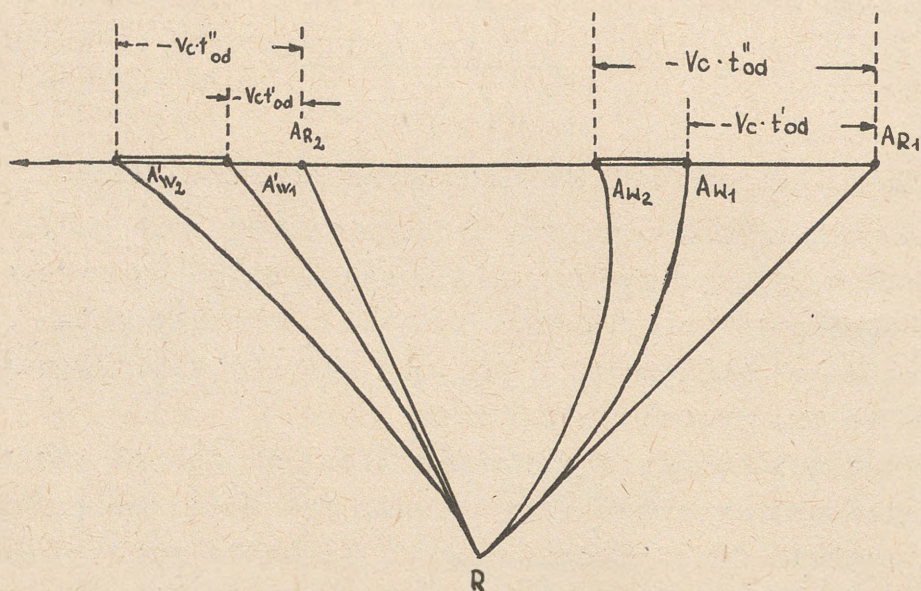
- Nadzieja matematyczna ilości rażących odłamków trafiających w samolot.

Pojęcie o przestrzeni niebezpiecznych rozprysków

Przestrzeń, w dowolnym punkcie której rozerwanie się pocisku może spowodować rażenie celu, nazywamy przestrzenią niebezpiecznych rozprysków. Wychodząc z określenia przestrzeni niebezpiecznych rozprysków możemy sformułować wymogi jakim ona powinna odpowiadać

1. Aby punkt należał do przestrzeni niebezpiecznych rozprysków warunkiem dostatecznym jest by przy rozerwaniu się pocisku w tym punkcie funkcja $G(xyz) > 0$. Praktycznie zastosować tej właściwości przestrzeni niebezpiecznych rozprysków nie możemy ze względu na kolosalną ilość pracy związanej z obliczeniami ponieważ należy znaleźć wszystkie punkty, w których $G(xyz) > 0$
2. Koniecznym warunkiem dla określenia przestrzeni niebezpiecznych rozprysków jest warunek by przy rozerwaniu się pocisku w dowolnym punkcie istniała realna możliwość spotkania się odłamka z jedną lub kilkoma wrażliwymi sekcjami samolotu.

W celu określenia granic przestrzeni niebezpiecznych rozprysków należy, na podstawie charakterystyk rozlotu odłamków w dynamice czyli w ruchu bezwzględny, przejść do ruchu względnego. Bezwzględne tory lotu odłamków w określonym czasie lotu t_{od} przyjmuje się jako linie proste /rys. 10/.



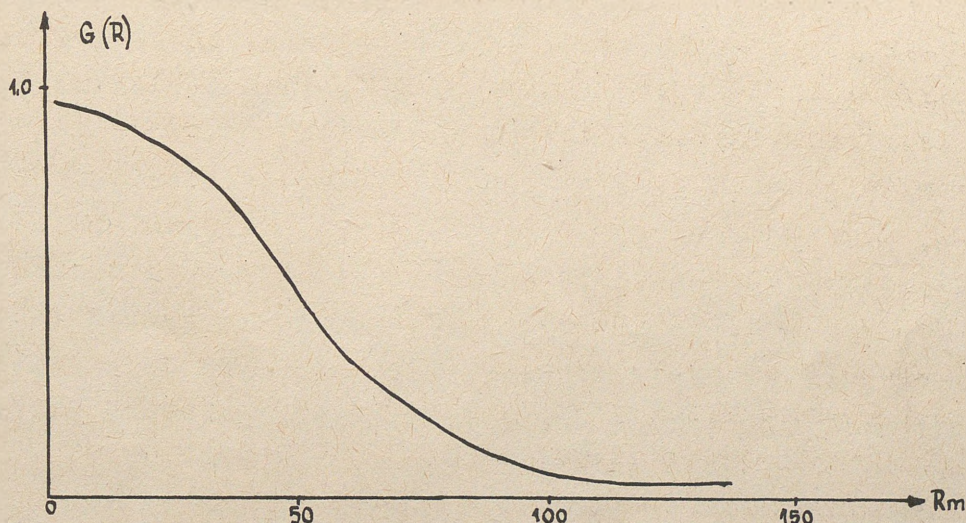
Rys. 10. Granice przestrzeni niebezpiecznych rozprysków.

Do końców wektorów torów bezwzględnych dodajemy wektor $-V_{ot_{od}}$ przy czym prostoliniowy tor bezwzględny przekształcamy w krzywoliniowy tor względny, ponieważ t_{od} jest nieliniową funkcją odległości. Czas lotu odłamka jest wielkością przypadkową i zależy od ciężaru odłamka $/q/$ jego prędkości początkowej, poprzecznego przekroju $/S/$ i współczynnika oporu czołowego $/C_x/$. Dlatego jednemu punktowi spotkania z celem nieruchomym odpowiada zbiór punktów spotkania z celem ruchomym czyli przestrzeń niebezpiecznych rozprysków określa się niejednoznacznie. Oprócz tego cel jest to pewna objętość, w której w określony sposób są rozmieszczone wrażliwe części. W związku z tym przy wykreślaniu strefy niebezpiecznych rozprysków, względne tory odłamków należy wykreślać z różnych punktów celu. A więc przestrzeń niebezpiecznych rozprysków posiada złożony krzywoliniowy kształt, który można wyznaczyć niejednoznacznie. Dlatego przy obliczeniach wskaźników skuteczności strzelania stosujemy cały szereg uproszczeń:

1. Czas lotu odłamków różnych grup wagowych przyjmuje się jako średnią wartość, która jednoznacznie określa współrzędne punktu spotkania.

2. Rzeczywistego rozmieszczenia wrażliwych części nie uwzględnia się czyli przyjmuje się cel jako punkt lub jako ekwiwalentną kulę na przykład bombowiec Il-28 zastępujemy kulą o promieniu $R = 3$ m a Tu-4 kulą o promieniu $R = 10$ m.

Przy badaniu skuteczności strzelania nasąbąda interesowały tylko te rozpryski, które znajdują się w przestrzeni niebezpiecznych rozprysków. Ilość rozprysków w tej przestrzeni możemy zmienić przez przesunięcie średniego punktu rozprysków w tym lub innym kierunku. Odległość średniego punktu rozprysków od celu nazywamy odstępem średniego punktu rozprysków. Ze zwiększeniem odstepu w przestrzeni niebezpiecznych rozprysków będzie występowało więcej rozprysków, jednak gęstość odłamków przy tym będzie zmniejszała się co prowadzi do zmniejszenia $G /xyz/$



Rys. 11

Istnieje więc taki odstęp, przy którym prawdopodobieństwo rażenia celu jest największe, taki odstęp nazywamy najdogodniejszym. Wyliczenia wskazują, że jest on stosunkowo nieduży i zmienia się w zależności od warunków strzelania /wysokości celu, parametru i prędkości oraz położenia celu na kursie/. Na przykład dla 100 mm baterii artylerii przeciwlotniczej, przy strzelaniu do samolotu na wysokości 8000 m, prędkości lotu 150m/sek i parametrze równym zero, wartość najdogodniejszego odstepu wynosi 40-45 m przy locie celu do parametru i 20-25 m - za parametrem.

Strzelanie rakiet przeciwlotniczych

Działanie głowic bojowych

Współczesna rakiet przeciwlotnicza jest skomplikowanym konstrukcyjnie zespołem wszelkiego rodzaju aparatury i urządzeń. Jednym z zasadniczych elementów rakiety jest ładunek bojowy służący do wykonania podstawowego zadania - zniszczenia celu powietrznego.

Ładunek bojowy składa się z korpusu, w którym umieszczone są ładunek bojowy, detonator, i urządzenie zabezpieczające. W rakietach przeciwlotniczych używane są ładunki bojowe konwencjonalne lub jądrowe, które mogą razić cel energią powstałą przy wybuchu - falą uderzeniową i odłamkami. Jądrowe ładunki mogą też razić cel dzięki działaniu termicznemu oraz oddziaływać na załogę samolotu poprzez radiację.

Do rażenia współczesnego celu przy bezpośrednim trafieniu w niego pocisku wymagana jest niewielka ilość materiału wybuchowego. Na przykład do rażenia współczesnego myśliwca wystarczy około 100 g klasycznego materiału wybuchowego, a dla rażenia bombowca - około 600 g.

Bezpośrednio trafić we współczesny samolot jest bardzo trudno. Dlatego obecnie stosuje się takie ładunki bojowe, które zapewniają rażenie celu powietrznego w pewnym oddaleniu od punktu rozprysku. Zrozumiałe jest, że ciężar takich ładunków bojowych jest znacznie większy od niezbędnych do rażenia przy bezpośrednim trafieniu. We współczesnych rakietach ciężar ładunku może wynosić 20 do 250 kg.

Promień rażenia ładunku bojowego zależy od ilości klasycznego materiału wybuchowego i działania odłamkowego.

Rakiety przeciwlotnicze posiadają dwa rodzaje ładunków o działaniu odłamkowym: z gotowymi elementami rażącymi rozmieszczonymi w korpusie ładunku bojowego i z odłamkami powstającymi z materiału tworzącego korpus przy jego rozerwaniu się.

Odłamki przy rozerwaniu się ładunku otrzymują znaczne prędkości dodatkowe dzięki którym posiadają dużą energię rażenia. Przy trafieniu w cel mogą one spowodować zapalenie się samolotu, przy trafieniu w zbiorniki paliwowe, uszkodzić zespoły sterowania lub razić obsługę. Działanie odłamkowe zależy od wysokości na jakiej następuje spotkanie się rakiety

z celem. Na małych wysokościach w gęstych warstwach atmosfery odłamki napotykają znaczny opór powietrza i ich energia rażenia szybko spada. Na dużych wysokościach w rozrzedzonym powietrzu prędkość odłamków zachowuje się na znacznych odległościach od punktu rozprysku i tym samym odległość skutecznego działania wzrasta.

Promień rażenia ładunku bojowego wyposażonego w klasyczny materiał wybuchowy sięga kilkudziesięciu metrów. Chcąc zwiększyć promień rażenia należy zwiększyć ładunek bojowy to z kolei prowadzi do zwiększenia wymiarów celu. Chcąc zwiększyć dwukrotnie promień rażenia ciężar materiału wybuchowego ładunku należy zwiększyć ośmiokrotnie.

Ciężar ładunku bojowego, określający promień rażenia, dobiera się w zależności od dokładności systemu kierowania lotem rakiety: im bardziej dokładny jest system naprowadzenia tym mniejsza ilość materiału wybuchowego powinien zawierać ładunek bojowy.

Znacznie mniejsze wymagania stawia się przed systemem naprowadzania jeżeli przewiduje się zastosowanie ładunków jądrowych, które zapewniają bez porównania większy promień działania niż ładunki klasyczne. Niektóre współczesne rakiety przeciwlotnicze posiadają ładunki jądrowe o ekwiwalencie trotylowym wynoszącym 1-10 KT.

Zasadniczym elementem ładunku bojowego jest zapalnik, czyli element ładunku bojowego, określa optymalny moment czasu dla detonacji i powoduje rozerwanie ładunku.

Obecnie najszersze zastosowanie mają zapalniki zbliżeniowe radiolokacyjnego typu, działające w oparciu o wykorzystanie efektu Dopplera. Efekt Dopplera oparty jest na tym, że częstotliwość wysyłanych i przyjmowanych /po odbiciu się od ruchomej przeszkody/ sygnałów radiowych jest różna: Przy zbliżaniu się celu częstotliwość się zwiększa, przy oddalaniu zmniejsza. Częstotliwości te są porównywane w urządzeniu elektronowym radiozapalnika w wyniku czego zostaje ustalony moment najdogodniejszego zainicjowania wybuchu ładunku bojowego rakiety.

Zgranie obszaru działania zapalnika z obszarem rozlotu
odłamków

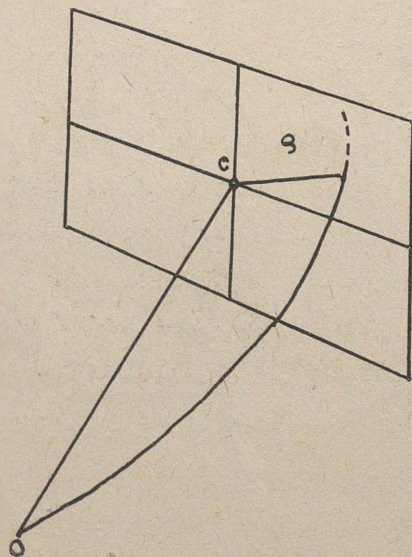
Strzelanie rakiet przeciwlotniczych jest znacznie skuteczniejsze od strzelania artylerii przeciwlotniczej wskutek możliwości kierowania rakieta w czasie jej lotu oraz dużej mocy niszczącej ładunku bojowego. Aby rakieta mogła razić cel trzeba:

1. Zbliżyć rakieta do celu na taką odległość, przy której wybuch ładunku bojowego zapewni wymagane prawdopodobieństwo rażenia celu.
2. W najbardziej odpowiednim momencie zbliżenia spowodować wybuch głowicy.

Pierwszy postulat realizuje się naprowadzając rakieta na cel i zależy on od:

- dokładności pracy systemu kierowania;
- odległości i wysokości celu w momencie startu rakiety;
- stosunku manewrowości rakiety do manewrowości celu;
- stosunku prędkości celu i rakiety.

Drugi postulat realizuje się za pomocą zapalnika zbliżeniowego i zależy przede wszystkim od dokładności jego pracy. Błędy w pracy zapalnika powodują rozsiew punktów działania zapalnika i obniżają skuteczność działania ładunku bojowego. Charakteryzuje się to określoną wartością odstęp chybienia czyli odległości wybuchu od celu w płaszczyźnie ekranowej / ξ / rys. 12. W związku z tym, że zapalniki rakiet przeciwlotniczych działają

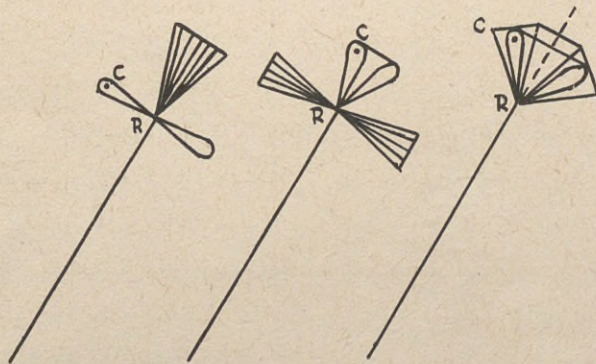


na zasadzie wysyłania i odbioru fal radiowych to taki zapalnik będzie posiadał pewien obszar w którym możliwe jest działanie zapalnika - obszar działania zapalnika. Na kształtowanie się obszaru działania zapalnika wpływają takie czynniki jak; charakterystyka kierunkowa anteny i jej

Rys. 12 odstęp chybienia ξ

położenie w stosunku do osi rakiety, wrażliwość zapalnika, moc nadajnika, czas opóźnienia w działaniu, właściwości odbijające celu /konfiguracja, wymiary, kontrastowość radiolokacyjna/ prędkość zbliżenia rakiety i celu oraz ich wzajemne położenie.

Rakieta może razić cel w wyniku bezpośredniego trafienia odłamkami lub falą uderzeniową gazów powstałych podczas wybuchu. Po wybuchu ładunku bojowego powstaje stożek rozlotu odłamków, przy czym prawdopodobieństwo rażenia celu zależne będzie od ilości, ciężaru i energii kinetycznej odłamków, kąta rozlotu i jego orientacji w stosunku do celu, gęstości odłamków w stożku rozlotu oraz wrażliwości celu. Niesłychanie wyższym zagadnieniem jest na ile pokrywa się obszar rozlotu odłamków z kierunkiem charakterystyki promieniowania anteny, czyli z obszarem działania zapalnika. W przypadku niezgodności tych elementów cel może być nie rażony nawet w przypadku rozerwania się rakiety w bezpośredniej bliskości celu /rys. 13/



Rys. 13. Wpływ zgodności strefy działania zapalnika ze strefą rozlotu odłamków na rażenie celu.

Prawo rażenia celu

Aby skutecznie razić cel odłamki powinny posiadać odpowiedni zapas energii kinetycznej. Oczywiście ze wzrostem odległości od punktu wybuchu do celu energia kinetyczna odłamków będzie malała na skutek zmniejszania się ich prędkości. Oprócz tego będzie zmniejszała się gęstość odłamków. Dlatego ze wzrostem odległości od punktu wybuchu prawdopodobieństwo rażenia celu maleje. Przyjmuje się, że prawdopodobieństwo rażenia zależy wyłącznie od dostępu chybień S . Tę zależność nazywamy prawem rażenia celu powietrznego przy strzelaniu rakiet przeciwlotniczych.

Prawo rażenia ustala się drogą doświadczalno-obliczeniową dla określonych warunków strzelania. Do warunków tych zalicza się:

- rodzaj i właściwości celu;
- typ głowicy bojowej i zapalnika;
- współrzędne punktu spotkania się rakiety z celem /odległość rzeczywistą i wysokość/;
- czynniki ruchu celu /parametr kursowy i prędkość celu/;
- metodę naprowadzania rakiety na cel.

Wymienione czynniki warunkują położenie wzdłużnej osi rakiety względem celu; obszar działania zapalnika i jego zgodność z obszarem rozlotu odłamków; rozkład odłamków wewnątrz stożka rozlotu. Prawo rażenia charakteryzuje łączne działanie tych czynników i wyznacza jak gdyby kierunkowość działania ładunku bojowego co pozwala na określenie strefy, w której powinien znajdować się cel w momencie rozerwania się ładunku, strefę tę nazywamy strefą rażenia ładunku bojowego. Przebywanie celu w przeciągu pewnego czasu w strefie rażenia ładunku bojowego jest koniecznym warunkiem rażenia celu lecz nie wystarczającym. Konieczność spełnienia powyższego warunku jest jak najbardziej widoczna; jeżeli cel nie będzie się znajdował w strefie rażenia to działanie energii wybuchu lub odłamków głowicy bojowej na cel nie zaistnieje w żadnym wypadku. Lecz nawet jeżeli cel znajdzie się w strefie rażenia ładunku bojowego rażenia celu może nie być. Rzecz w tym, że strefa rażenia w rzeczywistości nie istnieje dopóki nie nastąpiło rozerwanie się ładunku bojowego. Oprócz tego jeżeli ładunek bojowy

został rozerwany zapóźno lub zawnześnie cel może przelecieć przez stręgę rażenia bez uszkodzeń.

Koniecznym i wystarczającym warunkiem rażenia celu jest przebywanie celu w strefie rażenia ładunku bojowego w tym momencie gdy elementy rażące ładunku mogą razić cel. Maksymalną skuteczność działania ładunku bojowego otrzymamy w tym przypadku gdy cel znajduje się w punkcie przecięcia się swego toru lotu z maksymalnym promieniem - wektorem rażącego działania ładunku. Czyli gdy w momencie zetknięcia się celu i odłamków cel znajduje się w punkcie maksymalnej gęstości odłamków. Jest to w zasadzie wymaganie jakie stawia się przed optymalnym zapalnikiem i uzyskuje się go przez odpowiednie zgranie obszarów działania zapalnika i rozlotu odłamków w zależności od średniej prędkości rozlotu odłamków.

Wydrukowano w 50 egz.

Egz. nr 1 - 50 B.T.
Wyk. mjr Bojko
Druk. Cz.B.
Nr ks.165/WW.

OPRACOWAŁ :

mjr dypl. W. B O J K O