

R

G

B

WH

GR

BL

Grey Scale #13

C

M

Y

K

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. Świerczewskiego

ODDZIAŁ WOJSK OPK I LOTNICTWA
KATEDRA PRZEDMIOTÓW SPECJALNYCH

Egz. Nr 2

ZASTOSOWANIE BOJÓWE RAKIETOWEGO I ARTYLERYJSKIEGO UZBROJENIA SAMOLOTÓW MYŚLIWSKICH I MYŚLIWSKO- BOMBOWYCH (MYŚLIWSKO-SZTURMOWYCH)

Zeszyt Nr 5

Skuteczność bojowa raketowego i artyleryjskiego
uzbrojenia samolotów

opracował: płk dypl. Stefan PAWŁOWSKI

(Wydanie tymczasowe)

11080
AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego
34549

WARSZAWA

STYCZEŃ

1960

Blue

Cyan

Green

Yellow

Red

Magenta

White

3/Color

Black

Colour Chart #13

Centimetres

Inches

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

8

DANES-PICTA.COM

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO

im. gen. broni K. Świerczewskiego

ODDZIAŁ WOJSK OPK I LOTNICTWA
KATEDRA PRZEDMIOTÓW SPECJALNYCH

Egz. Nr...

2

ZASTOSOWANIE BOJÓWE RAKIETOWEGO I ARTYLERYJSKIEGO UZBROJENIA SAMOLOTÓW MYŚLIWSKICH I MYŚLIWSKO- BOMBOWYCH (MYŚLIWSKO-SZTURMOWYCH)

Zeszyt Nr 5

Skuteczność bojowa raketowego i artyleryjskiego
uzbrojenia samolotów

opracował: płk dypl. Stefan PAWŁOWSKI

(Wydanie tymczasowe)

11089
SZKOLENIA
AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego
834549

WARSZAWA

STYCZEŃ

1968

1. $\mu - 14 \text{ km}$

2. $\omega - 28$

3. $\nu - 9$

5. $a (p, h) \approx 26.5 \text{ km}$

6. $h_0 \approx 26.5 \text{ km}$ $h = 28 \text{ km}$

7. $h_1 \approx p (2) \approx 26.5 \text{ km}$

8. $W = a (h_1) + (1-a) \cdot h_0$

Przeł. prot. 12077

Ustawa z dnia 22 stycznia 1960 r. o druku
art. 40 § 1, 2 (Dz. U. z 1960 r. Nr 11, poz. 85)

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego

ODDZIAŁ WOJSK OPK I LOTNICTWA
KATEDRA PRZEDMIOTÓW SPECJALNYCH

~~NO WYDAN~~

~~TASNE~~

Egz. nr. 2

ZASTOSOWANIE BOJOWE
RAKIETOWEGO I ARTYLERYJSKIEGO
UZBROJENIA SAMOLOTÓW
MYŚLIWSKICH I MYŚLIWSKO - BOMBOWYCH
/ MYŚLIWSKO - SZTURMOWYCH/

ZESZYT NR 5

SKUTECZNOŚĆ BOJOWA
RAKIETOWEGO I ARTYLERYJSKIEGO
UZBROJENIA SAMOLOTÓW

OPRACOWAŁ:

PLK DYPL. STEFAN PAWŁOWSKI

/ WYDANIE TYMCZASOWE/

~~11080~~

WARSZAWA

STYCZEN

1968 R.

BIBLIOTEKI SZKOLENIA
AKADEMII SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego

34549

§ 1. WIADOMOŚCI WSTĘPNE

Teoria skuteczności bojowej raketowego i artyleryjskiego uzbrojenia samolotów rozpatruje rozwiązanie zadania oceny skuteczności strzelania z samolotu do celu powietrznego lub naziemnego. Ponieważ przed strzelaniem stawia się zadanie rażenia celu, to w charakterze wskaźnika skuteczności stosuje się prawdopodobieństwo rażenia celu, obliczone z uwzględnieniem wszystkich zasadniczych czynników, wpływających na wynik strzelania / dokładność strzelania, wymiary i wrażliwość celu, działanie rażące pocisku lub rakiety, warunki strzelania i inne/. W szeregu wypadkach ocena skuteczności strzelania może być przeprowadzona za pomocą prostszych wskaźników skuteczności, takich jak: prawdopodobieństwo trafienia w cel, nadzieja matematyczna /wartość przeciętna/ liczby trafień, warunkowy rozkład prawdopodobieństwa rażenia, uchylenie prawdopodobne i inne. Wybór jednego z tych wskaźników określa się konkretnym zadaniem, postawionym przy ocenie skuteczności strzelania, a także stopniem wpływu czynników zasadniczych na skuteczność strzelania.

Ocena skuteczności bojowej raketowego i artyleryjskiego uzbrojenia samolotów posiada duże znaczenie praktyczne i teoretyczne. Wyniki tej oceny wykorzystuje się do rozwiązania następujących zadań podstawowych:

- określania racjonalnych warunków i sposobów strzelania;
- wyboru racjonalnych środków rażenia;
- określenia możliwości bojowych pododdziałów, oddziałów i związków w walce powietrznej i podczas działań na cele naziemne;
- określenie składu samolotów, potrzebnego do wykonania postawionego zadania bojowego;
- oceny opanowania praktycznego zastosowania raketowego i artyleryjskiego uzbrojenia samolotu przez personel latający w wyszkoleniu szkolno-bojowym;

- wyboru charakterystyk taktyczno-technicznych i składu systemów uzbrojenia samolotów i innych.

Metodyka oceny skuteczności bojowej rakietowego i artyleryjskiego uzbrojenia samolotów opiera się na rachunku prawdopodobieństwa i teorii skuteczności bojowej, i jest metodyką ścisłą. Z kolei posiada ona różne sposoby oceny skuteczności strzelania, uwarunkowane różnorodnością środków rażenia, celów powietrznych i naziemnych, sposobów i warunków strzelania.

Całkowitym wskaźnikiem skuteczności strzelania do celu pojedynczego jest prawdopodobieństwo rażenia celu. Określony wpływ na wybór metodyki obliczeń prawdopodobieństwa rażenia wywiera: rozkład prawdopodobieństwa rażenia celu, który charakteryzuje wrażliwość celu na konkretne środki rażenia, typ zapalnika/ uderzeniowy, zbliżeniowy/ i warunki spotkania środka rażenia z celem/ w powietrzu, na ziemi, sylwetka celu, kąt nurkowania i inne/.

Zadanie określenia prawdopodobieństwa rażenia jako całkowitego wskaźnika skuteczności dzieli się na rozwiązanie kilku zadań elementarnych, dotyczących określenia różnych charakterystyk i umownych wskaźników skuteczności, zestawiających prawdopodobieństwo rażenia celu.

Do zadań elementarnych / lub składowych/ w określeniu prawdopodobieństwa rażenia celu, należą:

- ocena dokładności strzelania, wymiarów celu i określenie prawdopodobieństwa trafienia w cel;
- analiza wrażliwości celu na konkretne środki rażenia, wybór odpowiedniego rozkładu prawdopodobieństwa rażenia celu i określenie jego charakterystyk;
- ocena warunków spotkania środka rażenia z celem, a dla środków rażenia z zapalnikiem zbliżeniowym/rakiety kierowane/ i ocena dokładności zadziałania zapalnika;
- ocena niezawodności środków technicznych /systemu naprowadzania, samolot, elementy systemu uzbrojenia samolotu i inne/;

- ocena oczekiwanego przeciwdziałania przeciwnika /OPL, ogień obronny, zakłócenia itp/;
- ocena czynników wpływających na strzelania, które utrudniają jego wykonanie /pogoda, czas doby, maskowanie celu i inne/.

Po rozwiązaniu wymienionych zadań elementarnych, na podstawie teorii skuteczności bojowej, określa się metodę ich związku, zezwalającą obliczyć prawdopodobieństwo rażenia celu.

§ 2. OCENA DOKŁADNOŚCI STRZELANIA

Dokładność strzelania charakteryzuje się błędami /odchyleniami/ systematycznymi i przypadkowymi pocisku /rakiety/ względem celu, stopniem zależności wystrzałów. a w stosunku do konkretnego celu - prawdopodobieństwo trafienia w cel.

1. BŁĘDY SYSTEMATYCZNE

Błędy systematyczne / lub stałe/, będąc jednakowymi dla wszystkich wystrzałów, spowodowane są szeregiem stałe działających czynników /przyczyn/ niezmiennych. Tak więc, przy strzelaniu z działek lub raketami niekierowanymi one pojawiają się w wyniku przybliżonego rozwiązania zadania celowania, niedokładnego przystrzelenia broni i innych. Podczas strzelania raketami kierowanymi, błędy te mogą być spowodowane niedokładnością regulacji parametrów aparatury sterowania / prądów zerowych i napięć, kątów zerowych wychylenia sterów/, "oślepieniem" koordynatora i innych.

W zapalnikach zbliżeniowych błąd systematyczny może być spowodowany niedokładnością regulacji układu opóźnienia wybuchu, przesunięciem charakterystyki kierunkowej, zawczasu wiadomymi odchyleniami prędkości zbliżania rakiety do celu od teoretycznych, przy której zapewnia się zadziałanie zapalnika w strefie wybuchów niebezpiecznych i innych.

Błąd systematyczny przy znanych przyczynach, powodujących jego pojawienie się, można obliczyć. Określa on położenie środka zgrupowania /rozrzutu/ odchyleń przypadkowych.

2. BŁĘDY PRZYPADKOWE. UCHYLENIE PRAWDOPODOBNE

Błędy przypadkowe powodują rozrzut wystrzałów i uwarunkowane są przypadkowo działającymi czynnikami. Przy strzelaniu z działek i raketami niekierowanymi do czynników przypadkowych zalicza się: niejednorodność charakterystyk balistycznych pocisków /raket/, odchylenie w prędkości początkowej pocisku /rakiety/ od obliczeniowej, błędy przyrządowe w pomiarze parametrów wejściowych / Π , ω_{Π} , H , V_1 i inne/, błędy celowania i inne. Doświadczenia wskazują, że zasadniczymi przyczynami rozrzutu, wywierającymi największy wpływ na dokładność strzelania są błędy, związane z celowaniem, wykonywanym przez strzelca.

Rakiety kierowane posiadają mniejszy rozrzut aniżeli rakiety niekierowane i pociski artyleryjskie. Jednak żaden układ kierowania nie może zapewnić dokładnego i systematycznego trafienia w obliczeniowy punkt celu. Tłumaczy się to istnieniem, niemożliwych do uniknięcia, błędów w pracy aparatury sterowania oraz działania na raketę w czasie lotu różnych przypadkowych zaburzeń zewnętrznych. Zasadnicze przyczyny, powodujące rozrzut rakiet kierowanych, związane są ze stosowanym sposobem kierowania, jego odmianami i charakterystykami aparatury sterowania. Przy tym określony wpływ wywierają błędy podstawowych mierników.

W raketach samonaprowadzających się podstawowym miernikiem jest koordynator. Pomiar współrzędnych celu dokonywany przez koordynator zawsze towarzyszy błędom przypadkowym. Sygnał, wypracowany przez koordynator poddaje się kolejnemu przekształceniu w sygnał sterowania. Temu przekształceniu towarzyszą różne wahania natężeń i napięć w odwodach elektrycznych. Jednak, jeżeli w czasie podejścia rakiety do celu przy tych samych kątowych błędach naprowadzania, błędy liniowe zmniejszają się, to samonaprowadzanie

zapewnia największą dokładność naprowadzenia rakiety, która praktycznie nie zależy od odległości strzelania.

W raketach, kierowanych za pomocą wiązki prowadzącej podstawowymi miernikami są celownik samolotu strzelającego i odbiornik radiowy rakiety. Nawet automatyczne prowadzenie celu za pomocą wiązki prowadzącej związane jest z błędami. Wzrokowe pokrycie wiązki z celem przy strzelaniu według wiązki unieruchomionej posiada jeszcze większe błędy. Odbiornik radiowy rakiety, kierowanej za pomocą wiązki, powodując błąd naprowadzania, także daje błędy przypadkowe. W miarę oddalania się rakiety od samolotu strzelającego przy tym samym kątowym błędzie naprowadzania, błędy liniowe wzrastają. Rozrzut rakiet, kierowanych za pomocą wiązki prowadzącej jest znacznie większy aniżeli rakiet samonaprowadzających się, i może zależeć od odległości strzelania / czasu lotu rakiety/.

Przy strzelaniu raketami z zapalnikiem zbliżeniowym również powstaje rozrzut punktów wybuchu w kierunku lotu rakiety /na donośność/, który tłumaczy się błędami zapalnika, fluktuacją sygnału, przychodzącego od celu i innymi.

Należy mieć na uwadze, że w stosunku do niektórych czynników, wpływających na dokładność strzelania, błędy przypadkowe i systematyczne mogą się wzajemnie zamieniać miejscami. Tak więc, jeśli przed wykonaniem strzelania nie jest znany manewr celu, to powoduje on błąd przypadkowy, a jeśli znany jest, to powoduje błąd systematyczny, który może być poddany obliczeniu i uwzględniony w czasie strzelania. To samo można powiedzieć o prędkości zbliżania rakiety kierowanej do celu v_{z} . Jeśli ona jest znana, to można znaleźć położenie punktu zadziałania zapalnika zbliżeniowego przy zadanym opóźnieniu wybuchu, a jeśli prędkość v_{z} nie jest znana, to położenie punktu zadziałania zapalnika będzie przypadkowe.

Rozrzut w strzelaniu powietrznym uwarunkowany jest wspólnym działaniem dużej liczby w zasadzie nieznanych czynników przypadkowych, spośród których nie ma czynnika wyraźnie przeważającego nad wszystkimi innymi. Dlatego prawo rozrzutu jest normalnym. Najważniejszą charakterystyką tego prawa jest uchylenie prawdopodobne ϵ , stanowiące w

przybliżeniu $1/4$ maksymalnego odchylenia wielkości przypadkowej/ chybienia/.

Rozrzut rozpatruje się w prostokątnym układzie współrzędnych / x , y , z /, związanym z punktem obliczeniowym spotkania pocisku /rakiety/ z celem.

Przy strzelaniu pociskami /raketami/, posiadającymi zapalnik uderzeniowy, do celu powietrznego, rozrzut rozpatruje się na płaszczyźnie, prostopadłej do wyprzedzonej linii odległości /rys. 1/, a w czasie strzelania do celu naziemnego /rys. 2./ - łącznie: bądź na płaszczyźnie ziemi, bądź na płaszczyźnie, prostopadłej do kierunku strzelania /analogicznie jak podczas strzelania do celów powietrznych/.

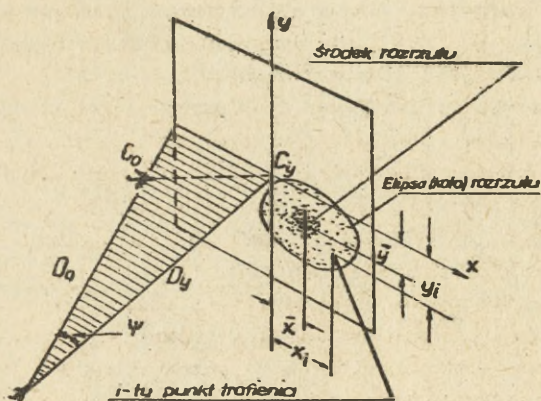
W czasie strzelania raketami kierowanymi, ze względu na obecność zapalnika zbliżeniowego, rozrzut punktów wybuchu posiada ukształtowanie przestrzenne. Przy tym rozrzut uwarunkowany dokładnością naprowadzania rakiety, rozpatruje się na płaszczyźnie, prostopadłej do wektora prędkości rakiety względem celu $\vec{u}_{rc} = \vec{u}_H$, a rozrzut punktów zadziałania zapalnika - w kierunku tego wektora /rys.3./^{x/} W dalszych rozważaniach płaszczyznę, prostopadłą do wyprzedzonej linii odległości /rys. 1/, kierunku strzelania /rys.2/ i wektora \vec{u}_H /rys.2/, ogólnie nazywać będziemy płaszczyzną o b r a z o w ą.

Doświadczenia wskazują, że w strzelaniu powietrznym rozrzut w płaszczyźnie obrazowej jest bliski do postaci koła i w obliczeniach praktycznych przyjmuje się kołowym.

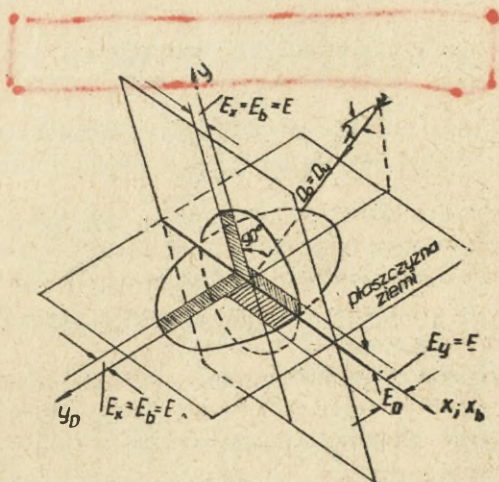
Uchylenie prawdopodobne rozrzutu kołowego określa się na podstawie danych doświadczalnie-teoretycznych. Poniżej podane są wzory do obliczania uchylenia prawdopodobnego w metrach dla różnych wypadków strzelania.

1. Przy strzelaniu z samolotu myśliwskiego i myśliwsko - bombowego raketami niekierowanymi i z broni artyleryjskiej przy wykorzystaniu celownika typu ASP, ustalonego w położenie "Giro":

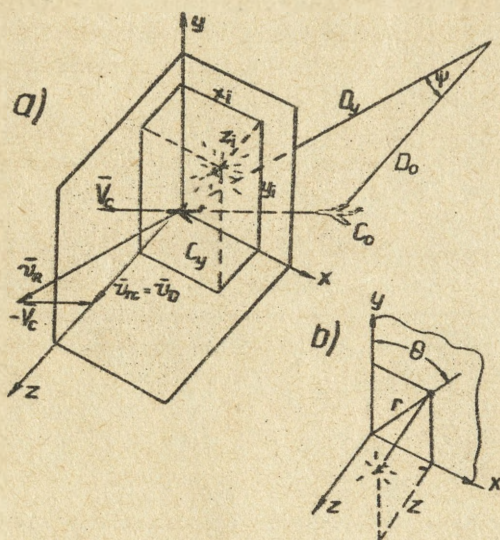
x/ We wszystkich sposobach samonaprowadzania i kierowania za pomocą wiązki prowadzącej w końcu naprowadzania/ w punkcie spotkania/ ruch rakiety odbywa się metodą równoległą, w której wektor \vec{u}_H pokrywa się z wektorem \vec{u}_{rc} /z natychmiastowym kierunkiem linii odległości rakieta-cel/.



Rys.1. Schemat rozrzutu wystrzałów przy strzelaniu do celu powietrznego rakietami i pociskami z zapalnikiem uderzeniowym.



Rys.2. Schemat rozrzutu wystrzałów przy strzelaniu do celu naziemnego rakietami i pociskami z zapalnikiem uderzeniowym.



Rys.3. Schemat rozrzutu punktów wybuchu rakiet kierowanych z zapalnikiem zbliżeniowym.

$$E = kD(0,5 + 0,025 V_c \sin q) \geq kD, \quad / 1 /$$

gdzie prędkość lotu celu V_c bierze się w m/sek, a współczynnik k , charakteryzujący wpływ broni na rozrzut, przyjmuje się zgodnie z tabelą 1.

Tabela 1

WARTOŚCI WSPÓŁCZYNNIKA k

Broń	Działka /długość serii, sek./		Rakiety	
	1	1,5 - 2	S-5m, S- 5k S- 3k	S-24
k	0,004	0,005	0,006	0,009

Odległość, wchodząca w skład wzoru / 1 /, a także i w następujących wzorach dla E , bierze się w metrach.

W czasie obliczania uchyłeń prawdopodobnych według wzoru /1/ powinien być przestrzegany warunek, że $E \geq kD$.

Dlatego najpierw należy określić iloczyn $0,025 V_C \sin \alpha$, jeśli on okaże się mniejszy od 0,5 to wyrażenie w nawiasach należy przyjąć za równe 1.

Podczas strzelania do celów naziemnych, jako reguła $V_C = 0$, a zatem, w płaszczyźnie obrazowej

$$E = k \Pi$$

/ 2 /

W wypadku, jeżeli przy strzelaniu do celów naziemnych rozrzut rozpatruje się w płaszczyźnie ziemi, to boczne uchylenie prawdopodobne E_b i uchylenie prawdopodobne na donośność E_{Π} odpowiednio są równe:

$$\left. \begin{aligned} E_b &= k \Pi \\ E_{\Pi} &= \frac{E_b}{\sin \lambda} = \frac{k \Pi}{\sin \lambda} \end{aligned} \right\}$$

/ 3 /

gdzie: λ - kąt nurkowania.

2. Przy strzelaniu z działek stanowisk ruchomych samolotu bombowego z wykorzystaniem celowników półautomatycznych z wizjerem optycznym i telewizyjnym:

$$E = (0,006 + 0,05 \omega_{\Pi}) \Pi$$

koloryt / 4 /

gdzie: ω_{Π} - prędkość kątowa linii odległości w 1/sek,

3. W czasie strzelania z działek stanowisk ruchomych samolotu bombowego z celownikiem radiolokacyjnym:

$$E = 0,008 \Pi \div 0,04 \Pi$$

/ 5 /

4. Przy strzelaniu z działek i raketami niekierowanymi z samolotu myśliwskiego z wykorzystaniem celownika radiolokacyjnego uchylenie prawdopodobne jest około 1,5 razy większe, aniżeli przy strzelaniu z celownikiem optycznym.

5. Przy strzelaniu raketami samonaprowadzającymi się $E = 2m$.

R5-2u ^{ant} _{4.10}

6. Dla raket, kierowanych za pomocą wiązki prowadzącej, przy strzelaniu w warunkach prowadzenia automatycznego:

$$E \approx 4 + 0,5 n_{jc} \cdot 2$$

/ 6 /

gdzie: n_{jc} - nadmiar przecięcia celu.

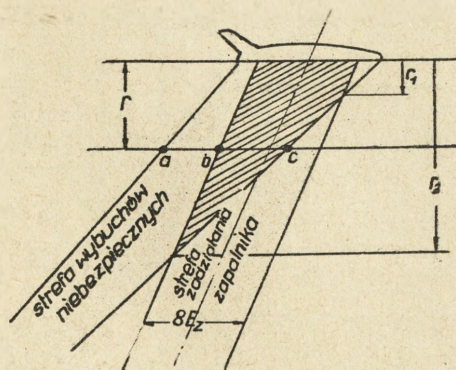
Przy strzelaniu za pomocą wiązki unieruchomionej uchylenie prawdopodobne zwiększa się 2 razy.

Rozrzut punktów zadziałania zapalników zbliżenowych posiada strukturę złożoną. Ze zmianą wielkości i kierunku chybnienia radialnego r w płaszczyźnie obrazowej /rys. 3, b/ również zmienia się położenie środka zgrupowania punktów zadziałania zapalnika w kierunku wektora \vec{v}_D . Połączenie środków zgrupowania tworzy powierzchnię zadziałania, względem której uchylenie prawdopodobne punktów zadziałania określa się zależnością złożoną:

$$E_z = f(r, \theta),$$

gdzie: θ - położenie katowe chybnienia radialnego w płaszczyźnie obrazowej.

Położenie powierzchni zadziałania w stosunku do celu zależy w głównej mierze od prędkości rakiety względem celu v_D , czasowego opóźnienia zapalnika i rozmieszczenia źródeł energii na celu, na które reaguje zapalnik, a jej charakter - od rodzaju pola widzenia lub charakterystyki kierunkowości zapalnika.



Rys. 4. Schemat dla określania prawdopodobieństwa zadziałania zapalnika w strefie wybuchów niebezpiecznych.

W wielu wypadkach, przy obliczeniach praktycznych nie bierze się pod uwagę zależności E_z od Θ i nawet od r , a także przyjmuje się, że rozrzut punktów zadziała-
nia zapalnika podlega rozkładowi równego prawdopodobień-
stwa w całej strefie zadziała-
nia, ograniczonej $4E_z$ w każdą
stronę od powierzchni zadziała-
nia. Przy takim założeniu
można stosunkowo prosto określić prawdopodobieństwo zadzia-
ła-
nia zapalnika w strefie wybuchów niebezpiecznych w
funkcji chybiaenia radialnego $S(r)$ nawet dla przypadku,
gdy zapalnik nie jest doskonale uzgodniony ze strefą wybuchów
niebezpiecznych. Z rys. 4 wynika, że przy $r < r_1$ $S(r) = 1$,
przy $r_1 < r < r_2$ $S(r) = \frac{cb}{ac}$, a przy $r > r_2$ $S(r) = 0$.

Przeważnie promień działania zapalnika $R_z \ll r_2$, a
 $cb \approx ac$, wówczas $S(r \leq R_z) \approx 1$.

3. ZALEŻNOŚĆ WYSTRZAŁÓW

Zależność wystrzałów występuje tylko podczas
strzelania grupą wystrzałów, oddanych w jednym celowaniu,
tj. serią lub salwą.

Pod pojęciem zależności wystrzałów rozumie się
wpływ błędów, popełnionych w poprzednich wystrzałach, na
położenie punktów trafień następnych wystrzałów danej
grupy.

Przy strzelaniu grupą wystrzałów następują odchylenia
przypadkowe zarówno całej grupy wystrzałów / rozrzut
serii lub salwy/, jak i odchylenia przypadkowe każdego
wystrzału wewnątrz grupy.

Rozrzut całej grupy wystrzałów nazywa się grupowym,
a rozrzut oddzielnych wystrzałów wewnątrz grupy - indywi-
dualnym.

Rozrzut grupowy uwarunkowany jest takimi czynnikami
przypadkowymi, jak błędy celowania i pomiaru danych wej-
ściowych, wahaniami samolotu o niskiej częstotliwości i inne.

Rozrzut indywidualny uwarunkowany jest w głównej
mierze różnorodnością balistyki, wahaniami broni itp.

W czasie strzelania rakietami, kierowanymi za pomocą
wiązki błędy grupowe uwarunkowane są wahaniami wiązki

prowadzącej, w której porusza się jednocześnie kilka rakiet. Wahania oddzielnych rakiet względem wiązki są przyczyną błędów indywidualnych.

Podczas strzelania rakietami samonaprowadzającymi się błędy grupowe pojawiają się tylko w czasie celowania, odpalenia rakiet i na odcinku lotu autonomicznego. Z chwilą włączenia się do pracy aparatury sterowania one stopniowo są usuwane. Do chwili podejścia rakiety do celu praktycznie pozostają tylko błędy indywidualne, Dlatego w rakietach samonaprowadzających się nie występuje zależność wystrzałów.

Stopień zależności wystrzałów charakteryzuje się współczynnikiem zależności /współczynnikiem korelacji/, który określa się wartością średnią dla wszystkich wystrzałów grupy według wzoru:

$$\mu = \frac{E_{gr}^2}{E^2}, \quad / 7 /$$

gdzie: E_{gr} - uchylenie prawdopodobne rozrzutu grupowego;
 E - uchylenie prawdopodobne rozrzutu sumarycznego.

Ponieważ zawsze ma miejsce indywidualny rozrzut wystrzałów, a rozrzut grupowy może nie występować, to $0 \leq \mu < 1$.

Przy $\mu = 0$ wystrzały są niezależnymi. Jeżeli założyć, że nie ma rozrzutu indywidualnego i $E = E_{gr}$, to $\mu = 1$. W tym wypadku wystrzały nazywają się funkcjonalnie zależnymi.

Jeśli $0 < \mu < 1$, to wystrzały nazywają się zależnymi.

W rzeczywistości zawsze $\mu < 1$. Jednak w obliczeniach dotyczących oceny skuteczności strzelania często stosuje się pojęcie "wystrzały funkcjonalne zależne" dla otrzymania praktycznie możliwych do przyjęcia wzorów i określenia prawdopodobieństwa rażenia celu wystrzałami zależnymi, gdy $0 < \mu < 1$.

W tabeli 2 podane są wartości współczynnika zależności wystrzałów dla najbardziej typowych przypadków strzelania.

Tabela 2

WARTOŚĆ WSPÓLCZYNNIKA μ

Broń	Działka /długość serii, sek./				Rakiety niekierowane/salwa, seria/		Rakiety kierowane/salwa, rakiety	
	0,5	1	1,5	2	S- 5m S- 5k S- 3k	S-24	za pomocą wiązki	subsoniczne waży się
μ	0,8	0,75	0,6	0,5	0,8	0,75	0,6	0

Stopień zależności wystrzałów wywiera istotny wpływ na skuteczność strzelania.

Jeśli $\mu \rightarrow 0$, to strzelec i celownik są zdolni reagować na zmianę warunków strzelania i szybko rozwiązywać zadanie celowania - każdy wystrzał jest wycelowany, dokładność i skuteczność strzelania wzrastają. Jeżeli $\mu \rightarrow 1$, to raptownie zmniejsza się indywidualna celność wystrzałów / celownik i strzelec nie są w stanie wprowadzić korektę w celowaniu ze względu na zmianę warunków strzelania/, dokładność i skuteczność strzelania zmniejszają się / chybiecie pierwszego pocisku zwiększa prawdopodobieństwo chybiecia pozostałych pocisków/.

Jednak w niektórych przypadkach, wzrost μ może doprowadzić do zwiększenia skuteczności strzelania. Istotnie, przy strzelaniu do powierzchni, na której dostatecznie gęsto rozmieszczonych jest kilka obiektów wrażliwych, podlegających zniszczeniu wygodnie zwiększyć μ , tj. rozrzut grupowy, aby zapewnić nakrycie możliwie dużej liczby obiektów wystrzałami danej grupy.

4. PRAWDOPODOBIEŃSTWO TRAFIENIA

Prawdopodobieństwo trafienia w cel jako stosunek liczby pocisków /raket/ trafionych w cel, do ogólnej i dostatecznie dużej liczby oddanych wystrzałów /niekiedy nazywamy prawdopodobieństwem trafienia przy jednym wystrzale/ x / Prawdopodobieństwo to nie należy utożsamiać z prawdopodobieństwem m trafień z n wystrzałów / $P_{m,n}$ /, które jest stosunkiem liczby M strzałów, dających m trafień z n wystrzałów w każdym strzelaniu, do ogólnej liczby strzałów N .

jest wskaźnikiem dokładności strzelania/ dokładności naprowadzania raket kierowanych / do konkretnego celu. Zależy ono od charakterystyk rozrzutu, błędów systematycznych i powierzchni rzutu celu na płaszczyznę rozrzutu.

Prawdopodobieństwo trafienia wykorzystuje się jako wielkość pomocniczą przy określaniu prawdopodobieństwa rażenia celu, a w niektórych przypadkach jako umowny wskaźnik skuteczności / przy wyborze racjonalnych warunków strzelania/.

Istnieją różne sposoby określania prawdopodobieństwa trafienia, określane w głównej mierze konfiguracją rzutu celu na płaszczyznę rozrzutu. Rzut celu na płaszczyznę rozrzutu można otrzymać sposobem graficzno- analitycznym lub drogą fotografowania. Przy tym pokrycie osi obiektywu aparatu fotograficznego z kierunkiem strzelania zezwala na otrzymanie rzutu celu na płaszczyznę obrazową. Czym bardziej złożony jest zarys rzutu celu, tym trudniejsze określenie prawdopodobieństwa trafienia. Dlatego celowym jest / bez strat w dokładności obliczeń/ złożony zarys doprowadzić do bardziej prostego, przyjmując zamiast niego lub rozłożenie złożonego zarysu na figury elementarne /koło, pas, prostokąt/.

W tym przypadku, k i e d y b ł ę d y s y s t e -
m a t y c z n e n i e p r z e k r a c z a j ą j e -
d n e g o u c h y l e n i a p r a w d o p o d o b n e g o
to można je pominąć, pokrywając punkt celowania na celu ze środkiem rozrzutu.

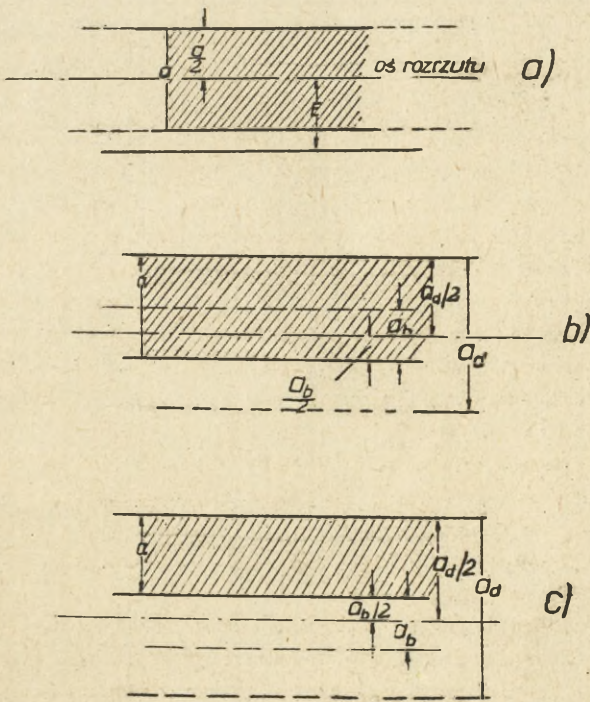
Dla praktycznych obliczeń prawdopodobieństwa trafienia rozrzut najwygodniej jest rozpatrywać na płaszczyźnie obrazowej, gdzie jest on kołem. W tym wypadku wykorzystuje się tylko jedną wartość uchylenia prawdopodobnego i przy braku błędów systematycznych orientacja rzutu celu na płaszczyźnie rozrzutu może być dowolna.

Rozpatrzymy pokrótce praktyczne metody określania prawdopodobieństwa trafienia.

1. RZUT CELU POSIADA KSZTAŁT PASA I PROSTOKATA.

W tym przypadku do obliczenia prawdopodobieństwa trafienia wykorzystuje się zredukowaną funkcję Laplac'ea $\hat{\Phi}(x)$.

Zredukowana funkcja Laplac'ea daje prawdopodobieństwo trafienia w pas o nieskończonej długości i symetryczny względem osi rozrzutu /rys. 5a/. Argumentem tej funkcji $/x/$ jest połowa szerokości pasa $a/2$, podzielona na uchylenie prawdopodobne E .



Rys. 5. Schemat do określania prawdopodobieństwa trafienia za pomocą funkcji $\hat{\Phi} / x /$: a - w pas symetryczny; b i c - w pas niesymetryczny

Tak więc, prawdopodobieństwo trafienia w pas jest równe:

$$p = \hat{\Phi}(x) = \hat{\Phi}\left(\frac{a}{2E}\right).$$

P r z y k ł a d. Określić prawdopodobieństwo trafienia w przeprawę o szerokości 8 m przy strzelaniu raketami $S = 24$ z odległości $D = 1200$ m pod kątem nurkowania $\lambda = 30^\circ$ przy nalocie wzdłuż przeprawy. Błąd systematyczny nie przekracza E .

R o z w i ą z a n i e. 1. Określamy uchylenie prawdopodobne, rozpatrując rozrzut na płaszczyźnie obrazowej

$$E = kD = 0,009 \cdot 1200 = 10,8 \text{ m.}$$

2. Określamy argument zredukowanej funkcji Laplace'a. Uwzględniając, że przy nalocie wzdłuż pasa szerokość jego projektuje się na płaszczyźnie obrazowej w naturalnej wielkości, tj. $Q = 8$ m, otrzymamy:

$$x = \frac{Q}{2E} = \frac{8}{2 \cdot 10,8} = 0,37.$$

3. Określamy prawdopodobieństwo trafienia według tabeli dla $\hat{\Phi}(x)$:

$$p = \hat{\Phi}(x) = \hat{\Phi}/0,37 = 0,197.$$

W przypadkach, kiedy rzut celu posiada kształt prostokąta, prawdopodobieństwo trafienia określa się według następującego wzoru:

$$P = p_1 p_2 \quad / 9 /$$

gdzie: p_1 i p_2 - prawdopodobieństwo trafienia w pasy, które w wyniku przecięcia tworzą prostokąt.

Jeśli rozrzut rozpatruje się na płaszczyźnie ziemi, to w tym przypadku cel projektuje się na ziemi i określa się uchylenia prawdopodobne - boczne E_b i na donośność E_n .

Argument x funkcji $\hat{\Phi}(x)$ bierze się jako stosunek połowy szerokości pasa do uchylenia prawdopodobnego, pokrywającego się w kierunku z poprzecznikiem danego pasa. Na przykład, jeśli pas równoległy jest do osi odległości, to połowę jego szerokości dzieli się na uchylenie prawdopodobne / w tym przypadku wygodnie Q i x pisać z indeksem, odpowiadają-

x/Tabele i wykresy znajdują się w wydawnictwie ASG.pt.Zbiór tabel i wykresów ze strzelania powietrznego.

cym indeksowi w E , na przykład, jeśli $E = E_b$, to $a = a_b$ i $x = x_b = \frac{a_b}{2E_b}$ /.

Jeżeli nie można pominąć błędu systematycznego, to oś symetrii pasa będzie przechodzić z boku od osi rozrzutu. W tym przypadku stosuje się metodę sztuczną, polegającą na tym, że do każdej granicy danego pasa po drugiej stronie od osi rozrzutu przeprowadza się prostą, tworzącą z daną granicą pas symetryczny /rys. 5, b i c/. Po takim zbudowaniu określa się prawdopodobieństwo trafienia w powstałe pasy symetryczne i dla nich z rozważań geometrycznych określa się prawdopodobieństwo trafienia w szukany pas. Wzór prawdopodobieństwa trafienia w pas, przesunięty od osi rozrzutu, posiada następującą postać:

$$p = \frac{1}{2} (p_d \pm p_b), \quad /10/$$

gdzie: p_d - prawdopodobieństwo trafienia w sztuczny pas symetryczny, którego połowa szerokości równa jest odległości do najbardziej oddalonego boku realnego pasa $\frac{a_d}{2}$;
 p_b - prawdopodobieństwo trafienia w sztuczny pas symetryczny, którego połowa szerokości równa jest odległości do bliższego boku realnego pasa $\frac{a_b}{2}$.

Znak " + " przyjmuje się wtedy, gdy oś rozrzutu przechodzi wewnątrz realnego pasa, a znak " - " - poza nim.

W wypadku, kiedy boki rzutu pasa i prostokąta nie są równoległe do osi rozrzutu na płaszczyźnie ziemi, a także przy istnieniu błędu systematycznego w rozrzucie kołowym prawdopodobieństwo określa się za pomocą siatki rozrzutu.

2. RZUT CELU POSIADA KSZTAŁT KOŁA. Jeżeli rozrzut jest w postaci koła, to prawdopodobieństwo trafienia w koło określa się za pomocą specjalnej tabeli na podstawie promienia koła r i błędu systematycznego \bar{r} , wyrażonych w uchyleniach prawdopodobnych $\frac{r}{E}$ i $\frac{\bar{r}}{E}$ /.

Przy rozrzucie o postaci elipsy, prawdopodobieństwo trafienia w koło określa się za pomocą siatki rozrzutu.

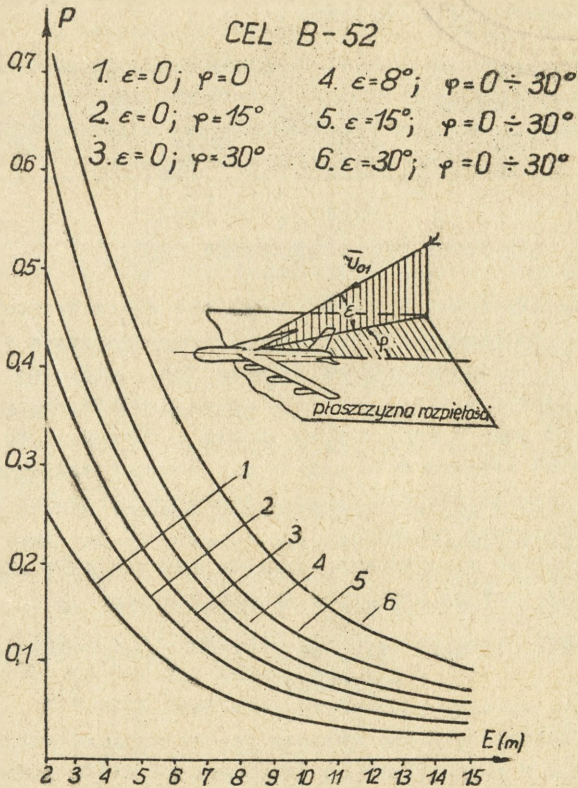
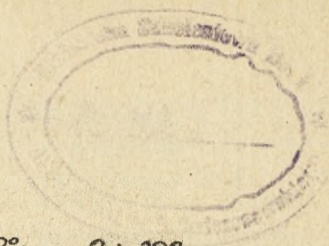
3. RZUT CELU POSIADA KSZTAŁT ZŁOŻONY. Prawdopodobieństwo trafienia w cel o kształcie złożonym można określić za pomocą siatki rozrzutu. W tym celu należy pokryć środek siatki z środkiem rozrzutu na rzucie celu, przedstawionym w skali siatki, a osie siatki - z kierunkiem odpowiednich osi rozrzutu i zsumować prawdopodobieństwa trafienia w prostokąty siatki, nakryte przez cel. Przy tym, jeśli prostokąty siatki tylko częściowo nakrywają cel, to od prawdopodobieństw trafienia w takie prostokąty bierze się część, odpowiadającą nakrytej części celu.

W strzelaniu powietrznym często stosuje się siatkę rozrzutu o boku prostokąta elementarnego, równym $\frac{1}{5E}$. W prostokątach takiej siatki, dla wygody, podane są liczby 4000 razy większe od faktycznego prawdopodobieństwa, wyrażonego w częściach jedności. Dlatego przy wykorzystywaniu tej siatki wynik obliczeń trzeba podzielić na 4000, aby otrzymać prawdopodobieństwo w częściach jedności.

Określenie prawdopodobieństwa trafienia za pomocą siatki rozrzutu można wykorzystać do celów o dowolnym zarysie, lecz zajmuje ono wiele czasu, nawet przy jednokrotnym obliczeniu. Dlatego, aby wykluczyć powtórne wykorzystanie siatki, celowym jest zawczasu za pomocą jej obliczyć i zbudować dla typowych celów wykresy zależności prawdopodobieństwa trafienia od uchylenia prawdopodobnego. Przykład takiego wykresu pokazany jest na rys. 6 dla samolotu bombowego B - 52.

Ponieważ prawdopodobieństwo trafienia zależy od powierzchni rzutu celu, a rzut celu od kierunku jego ostrzału, to wykresy prawdopodobieństwa trafienia powinny posiadać w charakterze wielkości wejściowych kąty, określające kierunek strzelania w stosunku do celu.

W czasie strzelania do samolotu w powietrzu, takimi kątami są: kąt pomiędzy kierunkiem strzelania i płaszczyzną skrzydeł samolotu - celu ξ oraz kąt między osią podłużną samolotu - celu i rzutem kierunku strzelania na płaszczyznę skrzydeł celu ψ . Jeśli cel, w tej liczbie i samolot, znajduje się na ziemi, to kąt ξ równy jest kątowi nurkowania λ , a ψ - kątowi nalotu.



Rys. 6. Wykres $P / E, \varphi, \varepsilon$ / dla konkretnego celu.

Wykresy prawdopodobieństwa trafienia oblicza się dla rozrzutu kołowego bez uwzględnienia błędów systematycznych. Błędy systematyczne w przybliżeniu mogą być uwzględnione za pomocą wzoru:

$$p_s = p e^{-\eta s^2 E^2}, \quad / 11 /$$

gdzie: p_s - prawdopodobieństwo trafienia przy istnieniu błędu systematycznego;
 p - prawdopodobieństwo trafienia przy braku błędu systematycznego;

s_E - błąd systematyczny, wyrażony w uchyleniach prawdopodobnych / $s_E = \frac{s}{E}$ / :

η - współczynnik, zależny od p :

p	0,2	0,2 - 0,4	0,4 - 0,6	0,6 - 0,8
η	0,22	0,19	0,16	0,12

§ 3. CHARAKTERYSTYKI WRAŻLIWOŚCI CELÓW

Wrażliwość celu na środki rażenia charakteryzuje się warunkowym rozkładem rażenia, pod którego pojęciem należy rozumieć prawdopodobieństwo rażenia celu, obliczone dla wiadomej liczby trafień lub położeniem środków rażenia w stosunku do celu w momencie spotkania / wybuchu/. To prawdopodobieństwo rażenia celu nazywa się również warunkowym, ponieważ określa się dla zadanej liczby trafień lub położenia pocisku względnie rakiety.

Charakter warunkowego rozkładu rażenia celu zależy od jego wrażliwości na konkretne środki rażenia.

1. RAŻENIE CELU TYLKO PRZY BEZPOŚREDNIM TRAFIENIU POCISKIEM

Do takiego wypadku zalicza się strzelanie pociskami i raketami z zapalnikiem uderzeniowym do celów powietrznych i odpornych celów naziemnych, na które nie reaguje dowolny zapalnik/ powłoka balonu/. Rozkład rażenia celu, pociskami /raketami/ bezpośredniego działania rażącego może być dwóch rodzajów: wykładniczy i schodkowy.

Wykładniczy rozkład rażenia występuje wtedy, kiedy cel ze względu na swoją konstrukcję i tym samym pod względem wrażliwości /trwałości/ nie jest jednorodny. W nim zawsze można wydzielić elementy/ przedziały/, których rażenie prowadzi do rażenia celu, lecz tylko poczynając od określonej liczby trafień w dowolny przedział lub kombinację przedziałów. Oprócz tego, trafienie potrzebnej liczby pocisków w każdy przedział nie jest wiarygodne, lecz posiada pewne prawdopodobieństwo, zależne od powierzchni przedziału, Liczba trafień w dowolny przedział lub ich

kombinację, która prowadzi do rażenia celu, różnie i w wielu przypadkach może być równa jedności / przedział jednego trafienia/.

Z powyższego wynika, że czym większa jest liczba pocisków m , trafionych w cel, tym większe prawdopodobieństwo jego rażenia G / m /. Z dostateczną dla praktyki dokładnością prawdopodobieństwo rażenia celu pod warunkiem trafień określa się funkcją wykładniczą:

$$G(m) = 1 - [1 - G(1)]^m, \quad /12/$$

gdzie: $G / 1/$ - prawdopodobieństwo rażenia celu pod warunkiem, że trafił w niego jeden pocisk.

Na rys. 7, a pokazany jest obraz wykładniczego rozkładu rażenia celu /realny rozkład rażenia celu, uwzględniający zmniejszenie trwałości celu w miarę zwiększenia liczby trafień - nagromadzenie strat, przechodzi nieco powyżej wykładniczego/.

Dla obliczeń praktycznych pełnego prawdopodobieństwa rażenia celu / z uwzględnieniem dokładności strzelania / nie wykorzystuje się sam rozkład warunkowy, lecz ważną charakterystykę jego - średnią liczbę trafień, potrzebną do rażenia celu ω , tj. wartość przeciętną liczby trafień, przy której cel zostaje rażony / $\omega \geq 1/$.

W teorii skuteczności bojowej zostało przyjęte, że przy $m = 1$

$$G(1) = \frac{1}{\omega}. \quad /13/$$

Wówczas wzór /12/ rozkładu rażenia celu przyjmie postać:

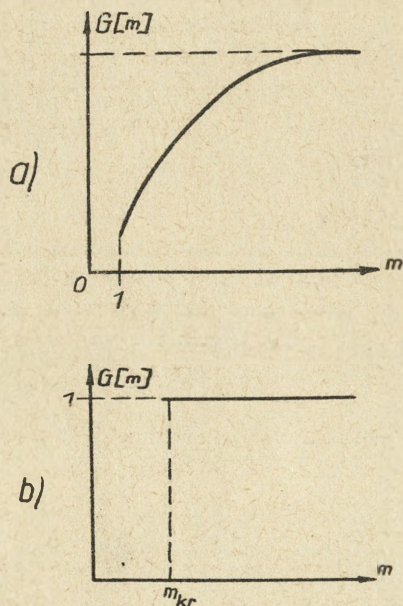
$$G(m) = 1 - \left(1 - \frac{1}{\omega}\right)^m. \quad /14/$$

Dla niektórych celów średnia potrzebna liczba trafień może być określona w przybliżeniu według wzoru:

$$\omega = \frac{S}{S_1} \quad /15/$$

gdzie: S - ogólna powierzchnia rzutu celu;

S_1 - powierzchnia rzutu tej części celu, w którą przy trafieniu jednym pociskiem cel zostanie rażony.



Rys. 7. Rozkład rażenia celu: a- wykładniczy; b-schodkowy.

Schodkowy rozkład rażenia /rys.7b/ występuje wtedy, kiedy do rażenia celu praktycznie wymaga się nie mniej pewnej krytycznej liczby trafień. W tym przypadku warunkowe prawdopodobieństwo rażenia celu będzie równe

$$G(m < m_{kr}) = 0,$$

$$G(m \geq m_{kr}) = 1.$$

Schodkowy rozkład rażenia celu można stosować przy strzelaniu do powłoki balonu, na którą nie reaguje zapalnik. Istotnie, jeżeli on napełniony jest wodorem, a przy strzelaniu stosuje się pociski smugowe, to $m_{kr} = 1$, ponieważ w razie trafienia takiego pocisku w powłokę nastąpi jego wybuch.

Przy napełnianiu powłoki gazem obojętnym m_{kr} przyjmuje się równą takiej liczbie trafień, przy której następuje szybkie opadanie balonu/ nie więcej, jak jedna godzina z

dużych wysokości /. Wartość m_{kr} w tym przypadku zależy od stosowanych środków rażenia, wymiarów i konstrukcji powłoki /jednolita, wielokomorowa / i stopnia kompensacji wpływu gazu przy zrzucaniu balastu. W takim wypadku stosowanie pocisków artyleryjskich jest mało skuteczne, ponieważ m_{kr} osiąga wielkość kilku dziesiątków. Skutecznym środkiem rażenia są rakiety usterzone, dla których $m_{kr} = 1 - 2$.

2. ODLEGŁOŚCIOWE RAŻENIE CELU

Odległościowe rażenie celu występuje przy strzelaniu raketami kierowanymi z zapalnikiem zbliżeniowym do celów powietrznych i naziemnych, a także podczas strzelania niektórymi raketami niekierowanymi i kierowanymi do celów naziemnych.

Warunkowy rozkład rażenia odległościowego charakteryzuje się prawdopodobieństwem rażenia celu w funkcji znanych współrzędnych punktu wybuchu względem celu/ rys.3, a / i często nazywa się przestrzennym rozkładem rażenia.

Jeśli stosowane środki rażenia posiadają zapalnik zbliżeniowy, to prawdopodobieństwo rażenia celu będzie zależać od trzech współrzędnych punktu wybuchu: x , y i z , tj. $G / x, y, z /$.

Podczas strzelania raketami z zapalnikiem uderzeniowym do celów naziemnych prawdopodobieństwo rażenia celu zależy tylko od dwóch współrzędnych na płaszczyźnie ziemi lub w płaszczyźnie obrazowej $x, y /$, tj. $G / x, y /$.

Rozkład przestrzenny jest stosunkowo złożoną funkcją i zależy od wielu czynników, z których zasadniczymi są:

- trwałość celu, wzajemne rozmieszczenie i wrażliwość jego elementów;
- zdolność niszcząca rakiety, liczba, ciężar i rozkład rozrzutu odłamków, ich prędkość początkowa;
- prędkość lotu rakiety i kierunek jej podejścia do celu;
- ilość rakiet, które wybuchły w danym punkcie.

W niektórych, częstych przypadkach funkcję $G / x, y, z /$ lub $G / x, y /$ można z dostateczną dla praktyki dokładnością uprościć. Zasadniczymi kierunkami w uproszczeniu są następujące:

- uwzględnienie działania rażącego tylko jednej rakiety;
- przejście do cylindrycznego układu współrzędnych r , θ , z / rys. 3,b/;
- wypośrodkowanie zmiany prawdopodobieństwa rażenia celu na podstawie jednej lub dwóch współrzędnych;
- wypośrodkowanie warunków spotkania rakiety z celem;
- wypośrodkowanie wrażliwości celu lub rażącego działania odłamków i innych.

Na rys. 8, a pokazany jest przestrzenny rozkład rażenia G / x , y / lub G / r , θ / rakiety "Redstone", znajdującej się w położeniu marszowym, przy strzelaniu jedną rakieta S-24 i nalocie wzdłuż celu. Współrzędne x , y lub r , θ rozpatruje się w płaszczyźnie ziemi.

Bardzo często dla przybliżonej oceny skuteczności strzelania złożony rozkład przestrzenny na płaszczyźnie dla zadanego kąta θ zamienia się na schodkowy /rys. 8, b/

$$G(r \leq r_c + R_r) = 1,$$

$$G(r > r_c + R_r) = 0,$$

gdzie: r_c - odległość od środka celu do jego zarysu;

R_r - promień rażenia, tj. odległość od zarysu celu, na której $G / r = 1^2$.

Zamiana rozkładu złożonego na schodkowy wykonywana jest w ten sposób, aby powierzchnie zakresowane na rys. 8, b były sobie równe.

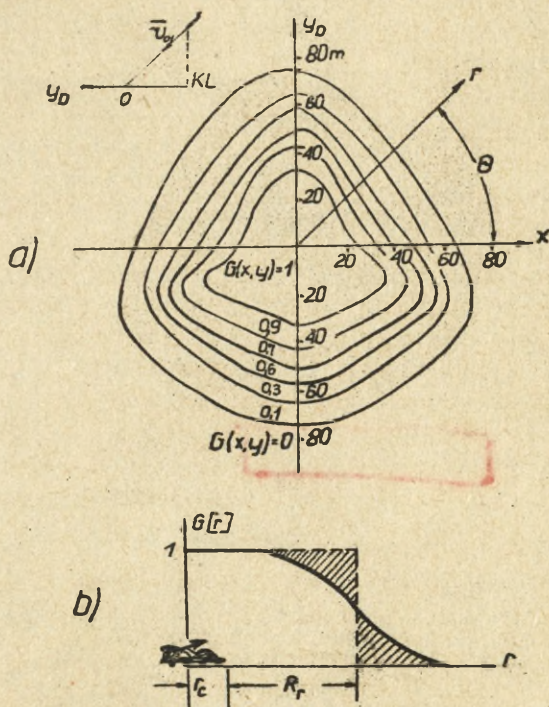
W ogólnym wypadku r_c i R_r zależą od θ .

§ 4. PRAWDOPODOBIENSTWO RAŻENIA CELU PRZY KILKU STRZELANIACH NIEZALEŻNYCH

Pod pojęciem jednego strzelania rozumie się strzelanie elementarne, wykonane przy jednym celowaniu niezależnie od liczby wystrzałów i liczby broni/ jeden wystrzał, seria, salwa i inne/. Zasadniczą cechą jednego strzelania jest to, że wykonuje się je w czasie jednego celowania/ przy jednym naciśnięciu przycisku bojowego / z wykorzystaniem jednego i

x/ Promień rażenia można odmierzac od środka celu, kiedy

$$G / r \leq R_r / = 1, \text{ a } G / r > R_r / = 0.$$



Rys. 8. Przestrzenny rozkład rażenia:
a- w funkcji dwóch / x, y lub r, θ /; b- w funkcji chybiaenia radialnego / r /

tego samego celownika. Wewnątrz grupy wystrzałów jednego strzelania może mieć miejsce $0 < \mu < 1$.

Pod pojęciem kilku strzelań niezależnych rozumie się kilka strzelań elementarnych, z których każde wykonuje się przy swoim /oddzielnym/ celowaniu z dokładnością, nie wpływającą na dokładność innych strzelań. Do strzelań niezależnych zalicza się kilka wystrzałów pojedynczych, serii i salw, wykonanych zarówno z jednego samolotu, jak i z kilku samolotów. Zasadniczą cechą kilku strzelań jest to, że liczba ich równa się liczbie celowań niezależnie od tego, gdzie rozmieszczone są celowniki i broń.

W czasie oceny skuteczności strzelania największą trudność przedstawia obliczenie prawdopodobieństwa rażenia celu

przy jednym strzelaniu. Rozpatrzone ono zostanie nieco później.

Rozpatrzmy określanie prawdopodobieństwa rażenia celu kilkoma strzelaniami $W / k /$, przyjmując, że prawdopodobieństwo rażenia celu w jednym strzelaniu W_i jest znane.

Niech do celu wykonuje się k strzelań niezależnych i prawdopodobieństwa rażenia celu w oddzielnych strzelaniach W_1, W_2, \dots, W_k są różne, tj. $W_i \neq \text{const}$. Wówczas prawdopodobieństwo rażenia celu kilkoma strzelaniami będzie równe:

$$W(k) = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - W_i). \quad / 16/$$

Jeśli

$$W_1 = W_2 = \dots = W_k = W = \text{const},$$

to oczywiście

$$W(k) = 1 - (1 - W)^k. \quad /17/$$

§ 5. PRAWDOPODOBIENSTWO RAŻENIA CELU PRZY STRZELANIU RAKIETAMI I POCISKAMI BEZPOŚREDNIEGO DZIAŁANIA RAŻĄCEGO

Prawdopodobieństwo rażenia celu przy strzelaniu grupą z n wystrzałów z uwzględnieniem wrażliwości celu i dokładności strzelania, w danym wypadku, określa się według wzoru pełnego prawdopodobieństwa, przedstawionego przez akademika A.N. Kołmogorowa:

$$W = \sum_{m=1}^n P_{m,n} G(m), \quad /18/$$

gdzie: $P_{m,n}$ - prawdopodobieństwo równe m trafień z n wystrzałów;

$G(m)$ - warunkowy rozkład rażenia celu.

Metodyka obliczania W zależy od rodzaju rozkładu $G / m /$. Rozpatrzmy obliczanie W dla wykładniczego i schodkowego rozkładu rażenia celu $G / m /$.

1. PRAWDOPODOBIENSTWO RAŻENIA CELU PRZY WYKŁADNICZYM ROZKŁADZIE RAŻENIA

Wykładniczy rozkład rażenia określa się równaniem /14/ w którym w charakterze charakterystyki wrażliwości celu wchodzi średnia potrzebna liczba trafień ω . Jako przykład,

wartości tej liczby dla celów powietrznych podane są w tabeli 3.

Przy wykładniczym rozkładzie rażenia celu wzór /18/ przyjmie postać:

$$W = \sum_{m=1}^n P_{m,n} \left[1 - \left(1 - \frac{1}{\omega} \right)^m \right]. \quad /19/$$

Tabela 3

WARTOŚCI LICZBY ω DLA CELÓW POWIETRZNYCH

Kaliber pocisku mm	Ciężar pocisku g	Ciężar samolotu-celu w locie, t			
		5- 6	20	70	150
20	103	3,5	12,0	15,0	-
23	175	2,5	8,0	12,0	-
30/Aden/	276	2,0	3,5	9,0	14,0
30/NR- 30/	410	1,5	2,5	5,0	9,0
37	730	1,2	2,2	3,7	6,0
57	820	1,1	1,3	2,5	3,5

Rozpatrzmy kilka często występujących przypadków:

1. Przy jednym wystrzale / $n = 1$ / mamy $P_{m,n} = P_{1,1} = p$
i wobec tego,

$$W_0 = \frac{p}{\omega}. \quad /20/$$

2. Przy wystrzałach niezależnych / $\mu = 0$ /, wykonanych w jednakowych warunkach:

$$W_n = 1 - (1 - W_0)^n = 1 - \left(1 - \frac{p}{\omega} \right)^n. \quad /21/$$

3. Jeśli przyjąć, że n wystrzałów jest wystrzałami funkcjonalnie zależnymi / $\mu = 1$ /, to trafienie w cel możliwe tylko wszystkimi n pociskami. Wobec tego, $m = n$.

a $P_{m,n} = P_{n,n} = p$.

Wówczas otrzymamy:

$$W_f = p \left[1 - \left(1 - \frac{1}{\omega} \right)^n \right]. \quad /22/$$

4. W praktyce najczęściej prawdopodobne jest strzelanie grupą z n wystrzałów zależnych / $0 < \mu < 1$ /. Obliczanie W w tym wypadku według wzoru /19/ przedstawia znaczne trudności, związane z określeniem $P_{m,n}$.

Zastosowanie techniki obliczeniowej zezwala na wykonywanie dokładnych obliczeń W i na podstawie otrzymanych wyników, otrzymać przybliżone, lecz stosunkowo proste w użyciu wzory. Najbardziej wygodnym okazał się wzór, przedstawiony przez docenta W.P. Krawczyko:

$$W = aW_n + (1-a)W_c \quad /23/$$

W tym wzorze W_n -prawdopodobieństwo rażenia celu przy założeniu, że wystrzały danej grupy są niezależne / $\mu = 0$ /. Oblicza się je według wzoru /21/ lub bierze z tabeli funkcji $f / x / = 1 - e^{-x}$, której argumentem podczas obliczania jest wielkość $x = M_1 = \frac{np}{\omega}$, tj.

$$W_n = f(x) = f(M_1) = f\left(\frac{np}{\omega}\right) \quad /24/$$

Prawdopodobieństwo rażenia celu W_c przy założeniu, że wszystkie wystrzały grupy są funkcjonalnie zależne / $\mu = 1$ /, oblicza się według wzoru /22 / lub na podstawie wzoru

$$W_c = pf(x), \quad /25/$$

gdzie $f / x / = 1 - e^{-x}$, tj. ta sama funkcja, co dla W_n , lecz w tym przypadku argumentem jej jest $x = \frac{n}{\omega}$ czyli

$$f(x) = f\left(\frac{n}{\omega}\right). \quad /26/$$

Współczynnik a , wchodzący w skład wzoru /23/, określa się według specjalnej tabeli z dwoma wejściami:

$$\mu \quad i \quad M_1 = \frac{np}{\omega}$$

P r z y k ł a d . Określić prawdopodobieństwo rażenia samolotu bombowego B-52 przy strzelaniu jedną serią dwusekundową z dwóch działek NR - 30, jeśli $D = 800$ m, $q = 180^\circ$, $V_c = 250$ m/sek.

Celowanie wykonuje się celownikiem ASP- 5nd, ustawionym na "Giro".

R o z w i ą z a n i e . 1. Określamy uchylenie prawdopodobne według wzoru /1/. Ponieważ $\sin q = 0$, to wielkość \bar{w} nawiasach we wzorze /1/ jest mniejsza od 1. Zatem, $E = kD$.

$$x/ \quad W_n = 1 - \left(1 - \frac{p}{\omega}\right)^n \approx 1 - e^{-\frac{np}{\omega}} = 1 - e^{-M_1} = 1 - e^{-x} = f(x).$$

Z tabeli 1 przyjmujemy $k = 0,005$. Wówczas $E = 0,005 \cdot 800 = 4$ m.

2. Określamy prawdopodobieństwo trafienia w cel z wykresu p/E , ε , ψ dla samolotu B-52/ rys. 6/ przy $\varepsilon = \psi = 0$. Dla $E = 4$ m na dolnej krzywej odczytujemy $p \approx 0,16$.

3. W tabeli 3 znajdujemy dla ciężkiego samolotu bombowego $\omega = 9$, a według tabeli 2 - dla serii dwusekundowej $\mu = 0,5$.

4. Określamy liczbę wystrzałów w serii dwusekundowej z 2 działek NR -30, każde z nich posiada szybkostrzelność 900 wystrz./min.

$$n = 2 \cdot 2 \cdot \frac{900}{60} = 60.$$

5. Określamy argument funkcji f/x /:

$$x_1 = M_1 = \frac{np}{\omega} = \frac{60 \cdot 0,16}{9} = 1,07;$$

$$x_2 = \frac{n}{\omega} = \frac{60}{9} = 6,67.$$

6. Określamy ze specjalnej tabeli f/x /:

$$f/x_1 / = f/1,07/ = 0,657,$$

$$f/x_2 / = f/6,67/ = 1.$$

7. Określamy W_n i W_f :

$$W_n = f/x_1 / = 0,657;$$

$$W_f = pf/x_2 / = 0,16 \cdot 1 = 0,16.$$

8. Określamy α według μ i M_1 . Przy $\mu = 0,5$ i $M_1 = 1,07$ otrzymamy : $\alpha = 0,91$.

9. Określamy prawdopodobieństwo rażenia celu :

$$\begin{aligned} W &= \alpha W_n + (1 - \alpha) W_f = \\ &= 0,91 \cdot 0,657 + / - 0,09 / \cdot 0,16 = 0,598 + 0,014 = \\ &= 0,612. \end{aligned}$$

2. PRAWDOPODOBIEŃSTWO RAŻENIA CELU PRZY SCHODKOWYM
ROZKŁADZIE RAŻENIA

Schodkowy rozkład rażenia celu charakteryzuje się minimalnie potrzebną /krytyczną/ liczbą trafień m_{kr} , zapewniającą rażenie celu. Celem typowym, dla którego rozkład rażenia może być przyjęty jako schodkowy, jest powłoka balonu. W tabeli 4 podane są wartości m_{kr} , dla balonów napełnionych gazem obojętnym.

T a b e l a 4

WARTOŚCI m_{kr}

Sred- nica balonu, m	Typ pocisku	Pociski artyleryjskie kalibru, mm			Rakiety z opierze- niami	
		23	30	37	S-5m, S-5k	R-3s RS-2us
19		40	24	16	1	1
32		51	30	20	2	1

Ponieważ przy rozkładzie schodkowym warunkowe prawdopodobieństwo rażenia celu dla $m < m_{kr}$ $G(m) = 0$ i $m \geq m_{kr}$ $G(m) = 1$, to wzór /18/ przyjmie postać:

$$W = \sum_{m=m_{kr}}^n P_{m,n} \quad /27/$$

Tym wzorem wygodnie posługiwać się przy $m_{kr} \geq \frac{1}{2} n$.
Jeśli $m_{kr} < \frac{1}{2} n$, to wygodniejszy jest wzór o postaci:

$$W = 1 - \sum_{m=0}^{m_{kr}-1} P_{m,n} \quad /28/$$

Obliczenia według wzorów /27/ i /28/ są stosunkowo proste tylko dla strzelania wystrzałami niezależnymi / $p_n = 0$ /.
Przy tym, jeżeli prawdopodobieństwo trafienia dla oddzielnych wystrzałów są jednakowe / $p_1 = p_2 = \dots = p_n = p$ /, to

$$P_{m,n} = C_n^m p^m (1-p)^{n-m} \quad /29/$$

gdzie: C_n^m - liczba kombinacji z n do m , którą określa się według wzoru

$$C_n^m = \frac{n!}{m! (n-m)!} \quad /30/$$

W niektórych przypadkach strzelania wystrzałami niezależnymi obliczenie W nie przedstawia specjalnych trudności.

Istotnie, przy $m_{kr} = 1$ i $n = 1$ otrzymamy

$$W = p, \quad /31/$$

a przy $m_{kr} = 1$ i $n > 1$ będziemy mieli

$$W = 1 - (1-p)^n. \quad /32/$$

Kiedy prawdopodobieństwa trafień w oddzielnych wystrzałach niezależnych będą różne / $p_1 \neq p_2 \neq \dots \neq p_n$ /, to

$$W = 1 - \prod_{i=1}^n (1-p_i). \quad /33/$$

Jeśli $m_{kr} > 1$, to dla rażenia celu potrzeba $n \geq m_{kr}$. W tym przypadku dla wystrzałów niezależnych, oddanych w różnych warunkach, prawdopodobieństwo $P_{m,n}$ równe jest współczynnikowi przy z^m w rozwiązaniu funkcji pochodnej

$$\prod_{i=1}^n (q_i + p_i z) = \sum_{i=1}^n [(1-p_i) - p_i z]. \quad /34/$$

Podczas strzelania wystrzałami zależnymi / $0 < \mu < 1$ / dokładne obliczenia W znacznie się komplikują. Tłumaczy się to trudnościami obliczenia prawdopodobieństwa trafienia w cel p , które w tym wypadku zależy od charakterystyk rozrzutu grupowego i indywidualnego.

Obliczenia wskazują, że stosowanie środków rażenia, dla których $m_{kr} \gg 1$, daje małą skuteczność. Na przykład, przy strzelaniu z odległości 2000 m serią jednoszekundową z 2 działek NR - 30 do balonu automatycznego o średnicy 32 m, gdy $m_{kr} = 30$, prawdopodobieństwo rażenia balonu wynosi zaledwie 0,038/ przy braku błędów przypadkowych/. Wobec tego, stosowanie działek w tym wypadku nie jest celowe.

W schodkowym rozkładzie rażenia celu dość duża skuteczność strzelania będzie dla $m_{kr} = 1 - 2$. Jeśli strzelanie wykonuje się grupą wystrzałów zależnych, to w niektórych przypadkach zależności ich można nie brać pod uwagę. Do takich przypadków zalicza się strzelanie salwą z 4 raket, gdy $\mu \leq 0,7$ i salwą z 2 raket przy $\mu < 0,75$.

P r z y k ł a d . Określić prawdopodobieństwo rażenia balonu automatycznego o przeciętnej średnicy 19 m salwą z dwóch raket RS - 2 us, jeśli $m_{kr} = 1$.

R o z w i ą z a n i e. 1. Określamy uchylenie prawdopodobne rakiety uwzględniając, że strzelanie do balonu możliwe jest tylko z unieruchomioną wiązką prowadzącą, a $n_{jc} = 0$:

$$E = \sqrt{4 + 0,5 n_{jc} / 2} = \sqrt{4 + 0,5 \cdot 0 / 2} = 8 \text{ m.}$$

2. Zamieniamy powłokę balonu o kształcie elipsoidy na koło o promieniu $r = 9,5 \text{ m}$ i promień wyrażamy w uchyleniach prawdopodobnych

$$\frac{r}{E} = \frac{9,5}{8} = 1,2.$$

3. Określamy prawdopodobieństwo trafienia w powłokę balonu, przejmując, że nie ma błędów systematycznych

$$p = p / \frac{r}{E} = p / 1,2 = 0,279.$$

4. Określamy prawdopodobieństwo rażenia celu według wzoru /32/:

$$W = 1 - (1 - p)^n = 1 - (1 - 0,279)^2 = 0,48.$$

§. 6. PRAWDOPODOBIEŃSTWO RAŻENIA CELU NAZIEMNEGO PRZY STRZELANIU RAKIETAMI NIEKIEROWANYMI ODLEGŁOŚCIOWEGO DZIAŁANIA RAŻĄCEGO

Rakiety odległościowego działania rażącego rażą cel nie tylko przy bezpośrednim trafieniu, lecz i przy wybuchu w pewnej odległości od niego. Przy tym warunkowy rozkład rażenia celu/ przestrzenny rozkład rażenia/ jest funkcją współrzędnych punktu wybuchu rakiety względem celu.

Pełne prawdopodobieństwo rażenia celu jedną rakieta zależy od charakterystyk przestrzennego rozkładu rażenia i charakterystyk rozrzutu punktów wybuchu i określa się całką od iloczynu dwóch funkcji niezależnych: przestrzennego rozkładu rażenia celu G przez różniczkowy rozkład punktów wybuchu rakiety ψ .

Przy rozrzucie punktów wybuchu na płaszczyźnie, co występuje w czasie strzelania raketami z zapalnikiem zbliżeniowym do celów naziemnych, prawdopodobieństwo rażenia posiada postać:

$$W = \iint_{-\infty}^{\infty} G(x, y) \psi(x, y) dx dy. \quad /35 /$$

Do obliczenia W według wzoru / 35 / należy mieć konkretne wyrażenie analityczne funkcji G i ψ /lub ich wykresy/.

W czasie konkretyzacji funkcji G i ψ mogą być wprowadzone możliwe do przyjęcia przybliżenia, upraszczające obliczenie bez zmniejszania dokładności. Często, w tym celu, wykorzystuje się obliczenie dokładne, a następnie przybliżone i na podstawie otrzymanych wyników określa się możliwe do przyjęcia metody przybliżone do obliczeń masowych.

Przejdziemy do rozpatrzenia różnych często stosowanych przypadków określania W metodami przybliżonymi.

1. PRAWDOPODOBIEŃSTWO RAŻENIA CELU RAKIETAMI TYPU S-24

Prawdopodobieństwo rażenia celu jedną raketą typu S-24 określa się przy wykorzystaniu pojęcia celu obliczeniowego.

Celem obliczeniowym nazywa się figura, której zarys oddalony jest od zarysu celu realnego na odległość, równą promieniowi rażenia R_p /rys. 9 /.

Tak więc, za pomocą pojęcia "cel obliczeniowy" złożony przestrzenny rozkład rażenia na płaszczyźnie $G / x, y /$ zamienia się schodkowym przestrzennym rozkładem /rys. 8, b/.

Oczywiście, że prawdopodobieństwo rażenia celu przy strzelaniu jedną raketą będzie równe prawdopodobieństwu trafienia w cel obliczeniowy . tj.

$$W = P_{obl} \quad / 36 /$$

Przy strzelaniu kilkoma raketami prawdopodobieństwo rażenia oblicza się według wzorów /16 / i /17/, pomijając zależność wystrzałów w salwie, jeśli liczba rakiet w salwie nie przekracza 4.

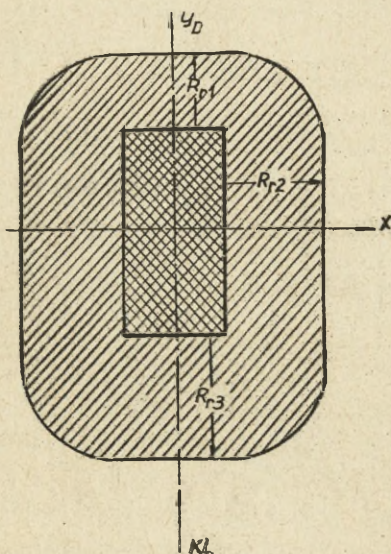
P r z y k ł a d . Określić prawdopodobieństwo rażenia rakiety "Redstone", znajdującej się w położeniu odpalenia /pionowym/, przy strzelaniu salwą z 2 rakiet S-24, z odległości 1200 m pod kątem nurkowania 30°

Przestrzenny rozkład rażenia charakteryzuje się następującymi danymi przybliżonymi, które wynikają z rys. 8, a: przy chybieniu $r \leq 30$ m $G / r / = 1$, a przy chybieniu od 30 do 70 m $G / r /$ spada od 1 do 0

według rozkładu liniowego.

Rozwiązanie. 1. Zamieniamy liniowo zmniejszający się przestrzenny rozkład rażenia na odcinku od 30 do 70 m na schodkowy /rys.10/. Łatwo można stwierdzić, że promień rażenia będzie równy:

$$R_r = \frac{30 + 70}{2} = 50 \text{ m}$$



Rys.9. Schemat celu obliczeniowego.

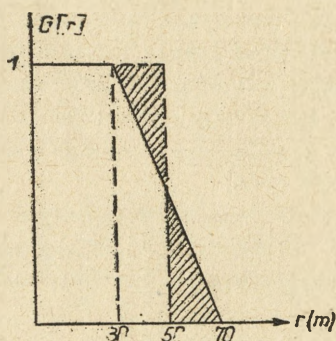
2. Zamieniamy cel obliczeniowy, posiadający na ziemi kształt koła o $R_r = 50 \text{ m}$, równoznacznym kwadratem o boku

$$\alpha_r = R_r \sqrt{\pi} = 50 \cdot 1,77 = 88 \text{ m}$$

3. Określamy E_b i E_D :

$$E_b = kD = 0,009 \cdot 1200 = 10,8 \text{ m}$$

$$E_D = \frac{E_b}{\sin \lambda} = 21,6 \text{ m}$$



Rys. 10. Schemat określania promienia rażenia.

4. Określamy prawdopodobieństwo trafienia w kwadrat, mając na uwadze, że boki jego są równoległe do osi rozrzutu

$$p = p_1 p_2 = \hat{\Phi}\left(\frac{a_r}{2E_b}\right) \hat{\Phi}\left(\frac{a_r}{2E_H}\right) = \hat{\Phi}\left(\frac{88}{2 \cdot 10,8}\right) \hat{\Phi}\left(\frac{88}{2 \cdot 21,6}\right) = 0,993 \cdot 0,831 = 0,825.$$

5. Przyjmując $p = 0,825$ za prawdopodobieństwo rażenia celu jedną raketą W , określamy prawdopodobieństwo rażenia celu dwiema raketami, pomijając zależność wystrzałów

$$W(k) = W(2) \approx 1 - (1 - W)^2 = 1 - (1 - 0,825)^2 = 0,97.$$

2. PRAWDOPODOBIEŃSTWO RAŻENIA CELÓW MAŁOODPORNYCH RAKIETAMI S - 5m, S - 5 k, S - 3k

Małoodporne cele naziemne / samoloty, rakiety, pojazdy specjalne i inne / mogą być rażone raketami S-5m, S-5k i S-3k nie tylko przy bezpośrednim trafieniu, lecz przy wybuchu w pewnej odległości od celu / $l \div 4 m$ /.

W razie nie występowania przestrzennego rozkładu rażenia celu tymi raketami, odległościowe ich działanie rażące można uwzględnić sposobem przybliżonym, a prawdopodobieństwo rażenia określić według metody, odpowiadającej strzelaniu pociskami bezpośredniego działania rażącego.

Z tego też względu na powierzchni ziemi wokół celu poza jego zarysem wydziela się strefę odległościowego rażenia celu dwiema raketami z prawdopodobieństwem, bliskim do jedności.^{x/} Strefa odległościowego rażenia celu wspólnie z celem przedstawia jakby cel obliczeniowy. Następnie określa się średnią liczbę trafień ω_{obl} , potrzebną dla rażenia celu z uwzględnieniem, że w skład jego wchodzi strefa dwóch trafień, zapewniających rażenie celu.

Oczywiście, że średnia liczba trafień z uwzględnieniem strefy dwóch trafień będzie większa od tej liczby, która była by tylko przy uwzględnieniu bezpośredniego działania rażącego.

Po zamianie przestrzennego rozkładu rażenia celu $G/x, y$ / na rozkład warunkowy G/m /, którego charakterystyką jest ω_{obl} , dokładność strzelania do celu należy oceniać prawdopodobieństwem trafienia P_{obl} w zarys włączający, oprócz zarysu celu i strefę dwóch trafień. Po takiej zamianie prawdopodobieństwo rażenia celu przy strzelaniu salwą można obliczyć według wzoru / 2 3/.

P r z y k ł a d . Określić prawdopodobieństwo rażenia samolotu - pocisku "Matador", znajdujący się w położeniu marszowym/ poziomym/, przy strzelaniu salwą z 32 raket S-5k z odległości 1400 m, przy kącie nurkowania 45° i nalocie wzdłuż celu. Samolot - pocisk typu "Matador" posiada długość 12 m i rozpiętość 8,5 m. Strefa dwóch trafień odpowiada szerokości 1,5 m. Średnia potrzebna liczba trafień z uwzględnieniem strefy dwóch trafień $\omega_{obl} = 2,1$.

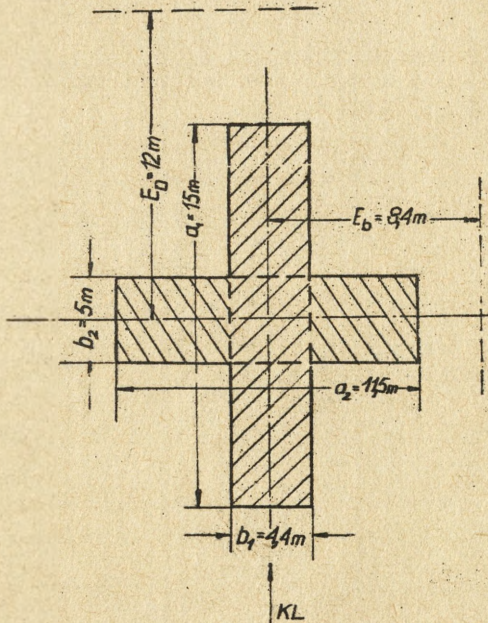
R o z w i ą z a n i e . 1. Cel obliczeniowy "Matador" na płaszczyźnie ziemi można przedstawić w postaci krzyża, utworzonego prostokątami i skrzydła kadłuba /rys. 11/. Prostokąt kadłuba posiada wymiar $a_1 \times b_1 = 15 \times 4,4$ m, a prostokąt rozpiętości $a_2 \times b_2 = 11,5 \times 5$ m.

2. Określamy uchylenia prawdopodobne:

$$E_b = kD = 0,006 \cdot 1400 = 8,4 \text{ m};$$

x/ Wydzielenie strefy rażenia z dużą liczbą trafień nie ma sensu praktycznego, ponieważ prawdopodobieństwo trafienia dużej liczby raket jest bliskie zeru.

$$E_{\text{II}} = \frac{E_b}{\sin \lambda} = \frac{8,4}{0,7} = 12 \text{ m.}$$



Rys.11. Zarys celu z uwzględnieniem strefy dwóch trafień.

3. Określamy prawdopodobieństwo trafienia w prostokąt, utworzony przez kadłub:

$$P_k = \hat{\Phi} \left(\frac{a_1}{2E_{\text{II}}} \right) \hat{\Phi} \left(\frac{b_1}{2E_b} \right) = \hat{\Phi} \left(\frac{15}{2 \cdot 12} \right) \hat{\Phi} \left(\frac{44}{2 \cdot 8,4} \right) = \\ = \hat{\Phi} / 0,625 / \cdot \hat{\Phi} / 0,262 / = 0,326 \cdot 0,140 = 0,0467.$$

4. Określamy prawdopodobieństwo w tę część prostokąta, utworzonego rozpiętością, która wychodzi poza zarys prostokąta kadłuba. Część ta składa się z dwóch symetrycznie rozmieszczonych prostokątów. Prawdopodobieństwo trafienia w te prostokąty równe będzie różnicy pomiędzy prawdopodobieństwem trafienia w prostokąt, utworzony całkowitą rozpiętością i prawdopodobieństwem trafienia w prostokąt środkowy,

powstały w wyniku przecięcia się prostokątów rozpiętości i kadłuba:

$$\begin{aligned}
 P_r &= \hat{\Phi} \left(\frac{a_2}{2E_b} \right) \hat{\Phi} \left(\frac{b_2}{2E_D} \right) - \hat{\Phi} \left(\frac{b_1}{2E_b} \right) \hat{\Phi} \left(\frac{b_2}{2E_D} \right) = \\
 &= \hat{\Phi} \left(\frac{11,5}{2 \cdot 8,4} \right) \hat{\Phi} \left(\frac{5}{2 \cdot 12} \right) - \hat{\Phi} \left(\frac{4,4}{2 \cdot 8,4} \right) \hat{\Phi} \left(\frac{5}{2 \cdot 12} \right) = \\
 &= \hat{\Phi} / 0,684 / \hat{\Phi} / 0,208 / - \hat{\Phi} / 0,262 / \hat{\Phi} / 0,208 / = \\
 &= 0,356 \cdot 0,112 - 0,140 \cdot 0,112 = 0,024.
 \end{aligned}$$

5. Określamy prawdopodobieństwo trafienia w cel obliczeniowy:

$$P_{obl} = P_k + P_r = 0,046 + 0,024 = 0,07.$$

6. Określamy prawdopodobieństwo rażenia celu za pomocą wzoru / 23 / przy $\mu = 0,8 /$ tabela 2 / i $\omega_{obl} = 2,1$.

Obliczamy

$$M_1 = \frac{n P_{obl}}{\omega_{obl}} = \frac{32 \cdot 0,07}{2,1} = 1,07; \quad \frac{n}{\omega_{obl}} = \frac{32}{2,1} = 15,2.$$

Określamy współczynnik α według μ i M_1 ; $\alpha = 0,65$.

Obliczamy

$$W_n = f(x) = f(M_1) = f(1,07) = 0,657$$

i

$$W_f = P_{obl} f(x) = P_{obl} f \left(\frac{n}{\omega_{obl}} \right) = 0,07 f(15,2) = 0,07 \cdot 1 = 0,07.$$

Ostatecznie otrzymujemy :

$$\begin{aligned}
 W &= \alpha W_n + / 1 - \alpha / W_f = 0,65 \cdot 0,657 + / 1 - 0,65 / \cdot 0,07 = \\
 &= 0,427 + 0,024 = 0,451.
 \end{aligned}$$

§ 7. PRAWDOPODOBIEŃSTWO RAŻENIA CELU POWIETRZNEGO PRZY STRZELANIU RAKIETAMI KIEROWANYMI

W ogólnym wypadku prawdopodobieństwo rażenia celu rakieta kierowaną z zapalnikiem zbliżeniowym określa się według wzoru:

$$W = \iiint_{-\infty}^{\infty} G(x, y, z) \varphi(x, y, z) dx dy dz. \quad / 37 /$$

gdzie: $G(x, y, z)$ - przestrzenny współrzędny rozkład rażenia celu;

$\varphi(x, y, z)$ - przestrzenny różniczkowy rozkład punktów wybuchu, uwzględniający dokładność naprowadzania rakiety i dokładność zadziałania zapalnika.

Rozpatrzmy przybliżone metody obliczania W dla różnych rakiet kierowanych.

1. PRAWDOPODOBIEŃSTWO RAŻENIA CELU RAKIETAMI R - 3s

W czasie oceny skuteczności strzelania raketami R-3s do celu powietrznego należy uwzględniać to, że wybuch rakiety może nastąpić od jednego z dwóch zapalników: uderzeniowego lub zbliżeniowego.

Zadziałanie zapalnika uderzeniowego następuje przy trafieniu rakiety bezpośrednio w cel/ lub przy zetknięciu się z celem/. Przy trafieniu rakiety w dowolny samolot, praktycznie zostaje on rażony; $G / 1 / = G / r_c / = 1, \omega = 1$.

Wobec tego, prawdopodobieństwo trafienia w cel, tj.

$$W \geq p.$$

Odległościowe działanie rażące rakiety zapewnia się przez zbliżeniowy zapalnik na podczerwień, który posiada zmienny promień działania i rozrzut punktów zadziałania w kierunku lotu rakiety względem celu.

Promień działania zapalnika na podczerwień rakiety R-3s zależy od prędkości lotu rakiety względem celu v_D :

$$0 \leq R = 0,0273 v_D \leq R_{\max}, \quad /38/$$

gdzie: R_{\max} - wartość graniczna promienia działania, określana typem celu/ jego wypromieniowaniem podczerwonym/.

Ponieważ strzelanie raketą R - 3s wykonuje się w wąskim sektorze tylnej półsfery i bez wyprzedzenia $/\psi_0 = 0/$, to spotkanie rakiety z celem następuje praktycznie przy sylwetce $0/4 / q = 180^\circ/$.

Wobec tego,

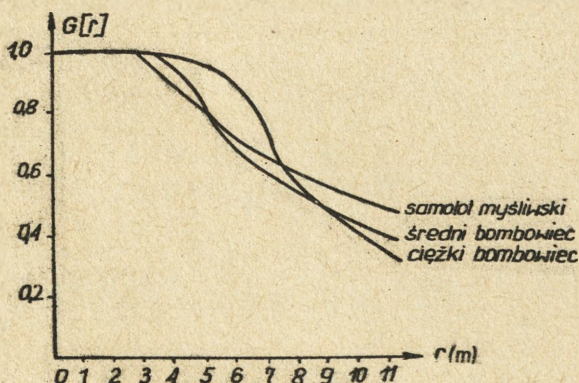
$$v_D = v_R - v_C. \quad /39/$$

Podczas strzelania do samolotów, niezależnie od liczby silników, przyjmuje się założenie, że raketa naprowadza się na środek celu. Dlatego promień działania zapalnika na podczerwień odmierza się od środka celu.

Rozrzut punktów zadziałania zapalnika w kierunku lotu rakiety względem celu przyjmuje się jako niezależny od chybiaenia rakiety, a powierzchnia zadziałania i odchy-

lenia od niej punktów nadziałania przy strzelaniu do celów typowych nie wychodzi poza granice strefy wybuchów niebezpiecznych, tj. prawdopodobieństwo zadziałania zapalnika w strefie wybuchów niebezpiecznych jest bliskie jedności / $S / r / = 1 / x$.

Rozkład odległościowego działania rażącego rakiety wypośrodkowuje się w kierunku ruchu rakiety względem celu, tj. przyjmuje się, że wrażliwość celu na całej jego długości nie ulega zmianie. Oprócz tego, zakłada się, że w stosunku do zarysu celu odległościowe działanie rażące rakiety jest jednakowe przy podejściu rakiety z dowolnego kierunku /z góry, z dołu, z boku itd/ i charakteryzuje się rozkładem przestrzennym $G / r /$, gdzie r - odległość od punktu wybuchu do zarysu celu. Przestrzenne rozkłady rażenia różnych celów rakieta R-3s pokazane są na rys.12.



Rys.12. Przestrzenny rozkład rażenia celu rakieta R-3s.

- x/ Aby zapalnik zadziałał w strefie wybuchów niebezpiecznych/bez uwzględnienia rozrzutu punktów wybuchu/, powinien być spełnione warunek:

$$v_D \Delta t_{op} \leq l_c^*$$

gdzie Δt_{op} - czas obliczeniowy opóźnienia wybuchu, a l_c^* - pozostałość strefy wybuchów niebezpiecznych/odległość od dyszy silnika do nosa samolotu/. Istotnie, jeśli $l_c^* = 5$ m, to dla R-3s / $\Delta t_{op} = 0,005$ sek/ konieczna $v_D \leq 1000$ m/sek.

Dla uproszczenia obliczenia prawdopodobieństwa rażenia celu z uwzględnieniem tylko odległościowego działania rażącego cel realny zamienimy na punkt. Wówczas, po uwzględnieniu tego i wcześniej przyjętych przybliżeń, prawdopodobieństwo rażenia celu tylko kosztem odległościowego działania rażącego można określić według wzoru:

$$w = \int_0^R G(r) \psi(r) dr, \quad / 40/$$

gdzie: r - radialne chybiecie rakiety względem środka celu;

R - promień działania zapalnika;

$G(r)$ - przestrzenny rozkład rażenia- prawdopodobieństwo rażenia celu przy wybuchu rakiety na odległości r ;

$\psi(r)$ - różniczkowy rozkład chybiecia radialnego rakiety r .

Dla obliczenia całki należy mieć wykresy funkcji podcałkowych i stosować bądź przybliżone całkowanie liczbowe krzywej $f / r / = G / r / \psi / r /$, bądź każdą krzywą wyrazić analitycznie i znaleźć analityczne wyrażenie całki.

Tak więc, krzywa $G / r /$ może być przedstawiona w postaci funkcji:

$$G(r) = \alpha e^{-b^2(r^2 - c^2)} \quad / 41/$$

gdzie: α , b , c - współczynniki, dobierane dla charakterystycznych odcinków krzywej $G / r /$;

$$e = 2,72 .$$

Różniczkowy rozkład chybiecia radialnego r , jak wiadomo z rachunku prawdopodobieństwa, określa się wzorem:

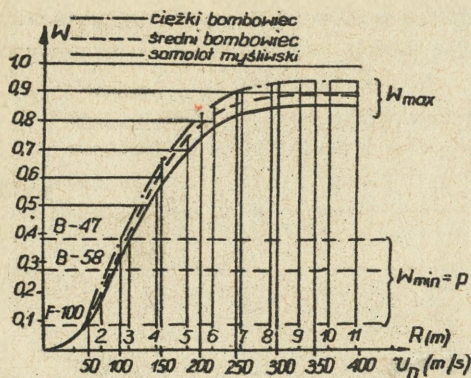
$$\psi(r) = \frac{2\varphi^2}{E^2} r e^{-\frac{\varphi^2}{E^2}(r^2 - \bar{r}^2)}, \quad /42/$$

gdzie: $\varphi = 0,477$;

$e = 2,72$;

E - uchylenie prawdopodobne;

\bar{r} - systematyczne chybiecie radialne.



Rys. 13. Wykresy prawdopodobieństwa rażenia celu rakieta R - 3s.

Na rys. 13 przedstawiona jest zmiana prawdopodobieństwa rażenia celu kosztem odległościowego i bezpośredniego działania rażącego rakiety R-3s przy braku błędu systematycznego / $\bar{F} = 0$ /. Prawdopodobieństwo rażenia kosztem działania odległościowego zmienia się od 0/ przy $R = 0$, kiedy $u_D = 0$ do W_{max} / przy $R = R_{max} = 11$ m, kiedy $u_D \geq 400$ m/sek./.. Prawdopodobieństwo rażenia celu kosztem bezpośredniego działania rażącego określa się prawdopodobieństwem trafienia w cel / $W_{min} = p$ /.. W ten sposób, prawdopodobieństwo rażenia celu rakieta R-3s znajduje się między dwiema granicami $W_{min} = p$ i W_{max} :

$$p \leq W \leq W_{max}.$$

Przy istnieniu błędu systematycznego W zmniejsza się. Błąd systematyczny może pojawiać się podczas manewru celu lub w czasie strzelania z niedużej odległości pod sylwetką większą od 0/4. Pojawienie się jego związane jest z osłabieniem koordynatora w pobliżu celu i opóźnieniu aparatury sterowania w usuwaniu błędów naprowadzania.

P r z y k ł a d. Określić prawdopodobieństwo rażenia samolotu bombowego B-58 przy strzelaniu z odległości maksymalnej na wysokości 15 000 m salwą z dwóch rakiet R-3s, jeśli $V_C = 450$ m/sek, $V_m = 500$ m/sek.

R o z w i ą z a n i e. 1. Określamy prędkość lotu rakiety względem celu u_D przyjmując, że maksymalna odległość strzelania odpowiada czasowi

lotu kierowanego rakiety $t_k = 21$ sek. Temu czasowi odpowiada prędkość lotu rakiety względem samolotu myśliwskiego $v_r = 100$ m/sek. /patrz rys. 11 w zeszyte nr 2/. Tak więc, rakietą względem celu posiadać będzie prędkość lotu.

$$v_D = v_R - v_C = v_r + v_m - v_C = 100 + 500 - 450 = 150 \text{ m/s}$$

3. Określamy, za pomocą wykresu przedstawionego na rys. 13, prawdopodobieństwo rażenia celu jedną rakieta dla $v_D = 150$ m/sek. / lub dla $R = 0,0273$, $150 = 4,1$ m/:

$$W = 0,62 .$$

3. Określamy prawdopodobieństwo rażenia celu salwą z dwóch raket / $k = 2$ /, uwzględniając, że $\mu = 0$.

$$W/k/ = W / 2/ = 1 - /1 - W/k/ = 1 - /1 - 0,62/2 = 0,856.$$

2. PRAWDOPODOBIEŃSTWO RAŻENIA CELU RAKIETAMI RS - 2u /RS - 2 us /

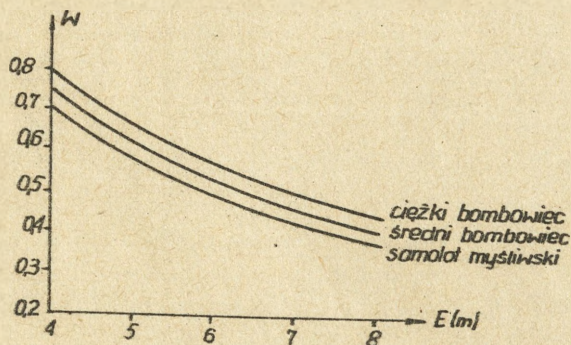
W celu obliczenia prawdopodobieństwa rażenia celu raketami RS - 2 u stosuje się tę samą metodykę obliczeń, co i dla raket R - 3s. Przy tym uwzględnia się następujące właściwości i charakterystyki raket RS -2u :

- część bojowa rakiety RS - 2u jest silniejsza, aniżeli w R- 3s;
- rozrzut raket RS - 2 u jest większy niż raket R- 3s, szczególnie przy strzelaniu za pomocą wiązki unieruchomionej;
- promień działania zapalnika w rakiecie RS- 2u nie zależy od prędkości rakiety względem celu v_D , praktycznie jest on jednakowy przy strzelaniu do samolotu bombowego $R = \text{const} = 13 \div 15 \text{ m}$;
- prawdopodobieństwo zadziałania zapalnika w strefie wybuchów niebezpiecznych $S / r / \approx 1$.

Prawdopodobieństwo rażenia celu jedną rakieta RS - 2u określa się za pomocą całki / wzór 40/ ze stałym górnym przedziałem całkowania $R = \text{const}$. Obecność $R = \text{const}$

zapewnia $W = \text{const}$ niezależnie od odległości strzelania.

Pomimo tego, że część bojowa rakiety RS - 2u jest skuteczniejsza niż w rakiecie R-3s, to prawdopodobieństwo rażenia celu rakieta RS - 2u okazuje się mniejsze od maksymalnego prawdopodobieństwa rażenia celu, które może zapewnić rakieta R- 3s, ponieważ rozrzut rakiet RS - 2u jest znacznie większy od rozrzutu R- 3s. Jednak rozrzut rakiet RS - 2u zależy od manewru celu i stosowanego sposobu strzelania / w warunkach prowadzenia automatycznego i za pomocą wiązki unieruchomionej/. Prowadzi to do zależności prawdopodobieństwa rażenia celu od uchylenia prawdopodobnego, które przedstawione jest na rys. 14.



Rys.14. Wykresy prawdopodobieństwa rażenia celu rakieta RS - 2u / RS - 2us/

Podczas strzelania salwą rakiet RS-2u występuje nieznaczna zależność wystrzałów / $\mu = 0,6$ / , którą uwzględnia się drogą pomnożenia prawdopodobieństwa rażenia dla wystrzałów niezależnych /wzór 17/ przez współczynnik 0,95:

$$W_{s1} = 0,95 [1 - (1 - W)^k] \quad \text{RS-2u / 43/}$$

gdzie: k - liczba rakiet w salwie.

P r z y k ł a d. Określić prawdopodobieństwo rażenia samolotu bombowego B- 58 salwą z dwóch rakiet RS - 2us przy strzelaniu w warunkach prowadzenia automatycznego i za pomocą wiązki unieruchomionej, jeśli

cel manewruje w płaszczyźnie poziomej z przechytem $\gamma_c = 30^\circ$.

R o z w i ą z a n i e. 1. Określamy uchylenie prawdopodobne:

- przy strzelaniu w warunkach prowadzenia automatycznego :

$$E = 4 + 0,5 n_{jc} = 4 + 0,5 \operatorname{tg} \gamma_c = 4 + 0,5 \cdot 0,577 = 4,29 \text{ m};$$

- przy strzelaniu za pomocą wiązki unieruchomionej:

$$E = 2 / 4 + 0,5 n_{jc} / = 8,58 \text{ m}.$$

2. Określamy prawdopodobieństwo rażenia celu jedną rakieta /rys. 14/:

- przy $E = 4,29 \text{ m}$ $W = 0,76$:

- przy $E = 8,58 \text{ m}$ $W = 0,38$;

3. Określamy prawdopodobieństwo rażenia celu salwą z dwóch rakiet:

- przy prowadzeniu automatycznym :

$$W_{s1} / 2 / = 0,95 \left[1 - / 1 - 0,76 / ^2 \right] = 0,995;$$

- przy wiązce unieruchomionej:

$$W_{s1} / 2 / = 0,95 \left[1 - / 1 - 0,38 / ^2 \right] = 0,585$$

§ 8. PRAWDOPODOBIEŃSTWO RAŻENIA CELU NAZIEMNEGO PRZY STRZELANIU RAKIETAMI KIEROWANYMI KLASY "POWIETRZE - POWIETRZE"

Część bojowa rakiet kierowanych klasy "powietrze - powietrze" przystosowana jest do skutecznego rażenia celów powietrznych, ponieważ posiada wąskokierowany rozrzut odłamków. Oprócz tego, wyposaża się ją w zapalnik zbliżeniowy co nie jest potrzebne dla strzelania do celów naziemnych. Dla strzelania do celów naziemnych wystarczające jest wyposażenie rakiety tylko w zapalnik uderzeniowy.

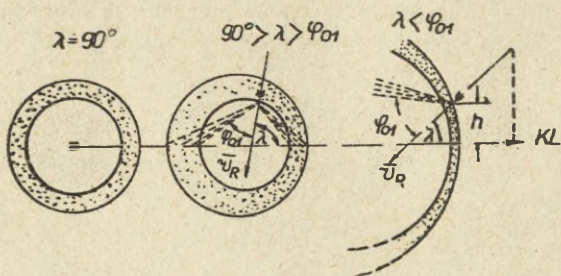
Przy zapalniku zbliżeniowym wybuch części bojowej rakiety kierowanej klasy "powietrze - powietrze" na wysokości h od ziemi daje na jej powierzchni pole rozrzutu odłamków, którego kształt zależy od kąta nurkowania λ , a wymiary - od h i kąta nachylenia sektora rozrzutu odłamków φ_{01} /rys. 15/.

Wysokość zadziałania zapalnika zbliżeniowego określa się wzorem:

$$h = R_z \sin(\lambda + \psi_z), \quad / 44 /$$

gdzie: R_z - promień działania zapalnika w kierunku osi czułości;

ψ_z - kąt nachylenia osi czułości zapalnika do osi rakiety.



Eys. 15. Schemat rozrzutu odłamków na powierzchni ziemi.

Jeśli promień działania zapalnika zbliżeniowego jest mały, to wysokość wybuchu rakiety będzie jeszcze mniejsza i można jej nie uwzględniać przyjmując, że rakietę wybuchła na powierzchni ziemi. W tym wypadku, przy $\lambda = 90^\circ$ odległościowe rażenie celu praktycznie nie występuje.

Przy $\lambda = \psi_{01}$ część odłamków / w kierunku nurkowania / rozlatuje się w poziomie, a pozostałe wbijają się w ziemię. Przy $\lambda < \psi_{01}$ część odłamków unosi się w górę i spada na ziemię w dużej odległości, nie powodując szkód, druga część odłamków rozlatuje się w poziomie, a pozostałe wbijają się w ziemię.

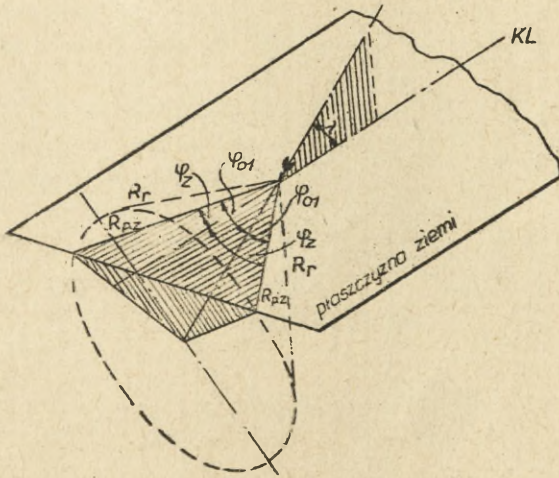
W przybliżeniu prawdopodobieństwo rażenia celu naziemnego rakieta kierowaną klasy "powietrze - powietrze" można określić jak prawdopodobieństwo trafienia w cel obliczeniowy.

Dla zbudowania celu obliczeniowego na powierzchni ziemi należy znaleźć rzut wektora promienia rażenia celu

na powierzchnię ziemi $\bar{R}_{p.z}$. Wielkością wyjściową dla określenia $\bar{R}_{p.z}$ jest promień rażenia R_r w kierunku rozrzutu odłamków.

Najprościej zadanie określenia $\bar{R}_{p.z}$ rozwiązuje się w wypadku, kiedy wybuch rakiety następuje na powierzchni ziemi i w sposób dość skomplikowany - przy wybuchu nad ziemią. Rozpatrzmy oba wypadki.

Przy wybuchu rakiety na powierzchni ziemi rzut promienia rażenia celu na powierzchni ziemi $R_{p.z}$ równy jest promieniowi rażenia w kierunku rozrzutu odłamków R_r .



Rys.16. Schemat określenia kierunku promienia rażenia na powierzchni ziemi przy wybuchu rakiety na ziemi.

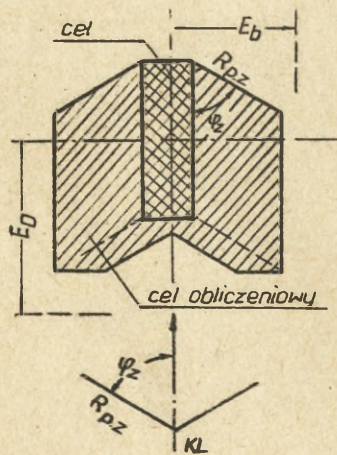
Na rys.16 pokazany jest schemat określenia promienia rażenia celu na powierzchni ziemi. Przez punkt wybuchu przeprowadzona jest płaszczyzna ziemi, która przecina stożkową powierzchnię strefy rozrzutu odłamków po dwóch tworzących. Długość tworzących przyjęta równą $R_r = R_{p.z}$, ich nachylenia, a zatem i nachylenie wektora $R_{p.z}$ do kierunku nalołu samolotu

strzelającego określa się kątem ψ_z , który może być obliczony według wzoru:

$$\cos \psi_z = \frac{\cos \psi_{01}}{\cos \lambda}, \quad /45/$$

gdzie ψ_{01} - kąt rozrzutu odłamków względem osi rakiety /jeśli wybuch rakiety następuje kosztem działania uderzeniowego, to ψ_{01} można przyjmować bez uwzględnienia prędkości lotu rakiety /.

Przy $\lambda = \psi_{01}$ $\psi_z = 0$ i wektor $\bar{R}_{p.z}$ pokrywa się z kierunkiem nalołu. Przy $\lambda > \psi_{01}$ wszystkie odłamki wbijają się w ziemię, $R_{p.z} = 0$ i dla rażenia celu wymagane jest bezpośrednie trafienie rakiety w cel.



Rys, 17. Schemat budowy celu obliczeniowego.

Mając $R_{p.z}$ i ψ_z można zbudować cel obliczeniowy, którego zarys przesunięty jest od zarysu celu faktycznego na odległość $R_{p.z}$, odłożoną w stronę, przeciwną do wektora $\bar{R}_{p.z}$ dla danego kierunku nalołu na cel podczas strzelania /rys.17/.

Przy wybuchu rakiety nad powierzchnią ziemi rzut promienia rażenia na powierzchnię ziemi $R_{p.z}$ nie jest równy promieniowi rażenia w kierunku rozrzutu odłamków R_p . Na rys. 18 przedstawiony

jest schemat ideowy, który pokazuje wielkość i kierunek wektora $R_{p.z}$. Kierunek jego charakteryzuje się kątem φ_z w stosunku do kierunku nalotu.

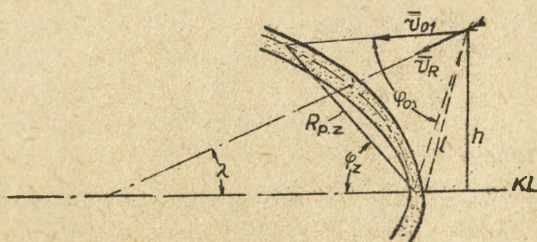
Warunkiem niezbędnym dla rażenia celu jest wybuch rakiety na takiej wysokości h , na której odległość l od punktu wybuchu do wierzchołka strefy, nakrytej przez odłamki jest mniejsza od R_r . Ten warunek spełnia równanie

$$h \leq R_r \sin(\lambda + \varphi_{01}). \quad /46/$$

Obliczenie analityczne $R_{p.z}$ na podstawie podanego schematu nastęrcza wiele trudności. Bardziej wygodnym jest wykonanie modelu strefy rozrzutu odłamków rakiety w postaci stożka i w jakikolwiek sposób otrzymać przekrój stożka przez płaszczyznę, przeprowadzoną pod kątem narkowania λ do osi stożka w odległości h od jego wierzchołka. Przy tym h odmierza się po prostopadłej do płaszczyzny siecznej /płaszczyzny ziemi/.

Przekrój stożka można wykonać także pod kątem $\lambda + \varphi_{01}$ do płaszczyzny tworzącej stożek, odległej od jego wierzchołka wzdłuż tworzącej w odległości

$$l = \frac{h}{\sin(\lambda + \varphi_{01})}. \quad /47/$$



Rys. 18. Schemat określania promienia rażenia na powierzchni ziemi przy wybuchu rakiety nad ziemią.

x/Krzywą, otrzymaną w wyniku przekroju stożka przez płaszczyznę, można także otrzymać metodami geometrii wykreślonej.

Na podstawie określonych R_{pz} i ψ_z buduje się cel obliczeniowy i oblicza prawdopodobieństwo trafienia w niego tym samym sposobem, jak w wypadku wybuchu rakiety na powierzchni ziemi, ponieważ rozrzut strefy, nakrytej przez odłamki na ziemi, praktycznie jest równy rozrzutowi raket/ punktów wybuchu/.

§ 9. PRAWDOPODOBIENSTWO RAŻENIA CELU Z UWZGLĘDNIENIEM ŚRODKÓW TECHNICZNYCH, PRZECIWDZIAŁANIA PRZECIWNIKA I INNYCH CZYNNIKÓW

Powyżej rozpatrywane określanie prawdopodobieństwa rażenia celu pod warunkiem, że całkowita zadana z góry liczba strzelań niezależnych/ serii, salw, odpaleń pojedynczych, ataków itp/ realizowana jest w czasie strzelania. Jednak w praktyce często występują przypadki, kiedy z góry zamierzona liczba strzelań nie zostaje zrealizowana i faktycznie liczba strzelań w pewnym stopniu okazuje się przypadkową. Tłumaczy się to wpływem różnych czynników na wykonanie strzelania, do których zalicza się: niezawodność środków technicznych, zapewniających wykonanie zadania bojowego / systemy naprowadzania, samolotu, celowników, aparatury sterowania rakiet i inne /, przeciwdziałanie ogniowe, zakłócenia i inne.

Każdy z tych czynników wpływa na określone zdarzenie, które bądź poprzedza strzelanie, bądź towarzyszy mu. Każde zdarzenie posiada pewne prawdopodobieństwo. Istotnie, niezawodność środków technicznych charakteryzuje się prawdopodobieństwem ich sprawnej pracy, przeciwdziałanie ogniowe przeciwnika charakteryzuje się prawdopodobieństwem rażenia samolotu, wykonującego zadanie bojowe, itp. Wpływ szeregu czynników /warunków atmosferycznych, czasu doby, maskowanie celu i inne/ może być charakteryzowane prawdopodobieństwem połączonym /prawdopodobieństwem wykrycia, prawdopodobieństwem naprowadzania, prawdopodobieństwem ataku itp/.

Po uwzględnieniu czynników, które wpływają na wykonanie strzelania, ocena jego skuteczności sprowadza się jakby do oceny skuteczności wykonania przez samolot zadania bojowego:

dla samolotu myśliwskiego - do określania przechwycenia celu, dla samolotu myśliwsko-bombowego - do określania uogólnionego prawdopodobieństwa rażenia celu.

Podczas określania prawdopodobieństwa rażenia celu z uwzględnieniem wpływu różnych czynników na wykonanie zadania przyjmuje się, że przyczyny, utrudniające jego wykonanie są niezależne.

Prawdopodobieństwo rażenia celu z uwzględnieniem wpływu różnych czynników na wykonanie strzelania nazwiemy pełnym prawdopodobieństwem. Wówczas do przyjęcia założenia o niezależności czynników, wpływających na wykonanie strzelania, pełne prawdopodobieństwo rażenia celu będzie określone wzorem:

$$W_{\Sigma} = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - p_i W_i), \quad / 48 /$$

- gdzie: k - liczba wykonywanych i niezależnych między sobą strzałów;
 W_i - prawdopodobieństwo rażenia celu w i - tym strzelaniu kosztem oddziaływania ogniowego/ tj. bez uwzględnienia czynników, wpływających na wykonanie strzelania/;
 p_i - prawdopodobieństwo tego, że i - te strzelanie odbędzie się.

Wielkość p_i , z kolei, jest iloczynem prawdopodobieństw zdarzeń, poprzedzających wykonanie strzelania, a dla rakiet kierowanych, oprócz tego, i zdarzeń, poprzedzających spotkanie rakiety z celem/ niezawodność pracy aparatury sterowania, brak zakłóceń przeciwko aparaturze sterowania i zapalnika itp./ . Na przykład, podczas przechwytywania celu powietrznego p_i można przedstawić jako iloczyn prawdopodobieństw: naprowadzania W_n , wyjścia do ataku W_a , niezawodnej pracy celownika N_c i innych:

$$p_i = W_n W_a N_c \dots \dots \dots \quad / 49 /$$

Przejdziemy do określania pełnego prawdopodobieństwa rażenia celu, uwzględniającego oddzielnie i łącznie czynniki, które wpływają na możliwość wykonania strzelania.

1. UWZGLĘDNIANIE NIEZAWODNOŚCI ŚRODKÓW TECHNICZNYCH

Niezawodność środków technicznych oznacza się literą N z indeksem, odpowiadającym danemu środkowi technicznemu. I tak, N_p oznacza niezawodność całej aparatury rakiety, N_c - niezawodność celownika itd.

W tabeli 5 podane są orientacyjne wartości niezawodności różnych środków rażenia i celowników.

Tabela 5

NIEZAWODNOŚĆ WZORÓW UZBROJENIA

Wzory uzbrojenia	Działka i rakiety kierowane	Celowniki			Rakiety kierowane	
		ASP-5nd	RP-2u RP-5	RP-21 RP-9-21	RS-2u RS-2us	R-3s
Niezawodność	1	1	0,87	0,9	0,82	0,8

Prawdopodobieństwo rażenia celu z uwzględnieniem niezawodności oblicza się według wzorów, wynikających z wyrażenia /48/.

Przy strzelaniu z działek i rakietami niekierowanymi, uwzględniając, że niezawodność pocisków i rakiet równa jest jedności, otrzymamy:

- prawdopodobieństwo rażenia jedną serią lub jedną salwą

$$W_1^* = N_c W_1, \quad / 50/$$

gdzie: W_1 - prawdopodobieństwo rażenia seria/salwą/ bez uwzględnienia niezawodności;

- prawdopodobieństwo rażenia k seriami lub salwami

$$W^*(k) = 1 - \prod_{i=1}^k (1 - W_i^*), \quad / 51/$$

gdzie: W_i^* - oblicza się według wzoru / 50/.

$$1 - (1 - W_1^*)^k (1 - W_2^*)$$

Przy strzelaniu raketami kierowanymi:

- prawdopodobieństwo rażenia celu jedną raketą

$$W_1^* = N_c N_r W_1, \quad / 52 /$$

- prawdopodobieństwo rażenia celu kilkoma / k / pojedynczymi raketami oblicza się według wzoru /51/, w którym W_i^* określa się wyrażeniem /52/;

- prawdopodobieństwo rażenia celu salwą z k raket samonaprowadzających się / $\mu = 0$ /

$$W_{sl}^* = N_c [1 - (1 - N_r W_1)^k], \quad RS-38 \quad / 53 /$$

- prawdopodobieństwo rażenia celu salwą z k raket, kierowanych za pomocą wiązki prowadzącej / $\mu = 0,6$ /

$$W_{sl}^* = 0,95 N_c [1 - (1 - N_r W_1)^k], \quad RS24 \quad / 54 /$$

- prawdopodobieństwo rażenia celu przy strzelaniu N salwami

$$W_{Nsl}^* = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - W_{sl_i}^*), \quad / 55 /$$

gdzie: $W_{sl_i}^*$ - oblicza się według wzorów /53/ i /54/ odpowiednio dla raket samonaprowadzających się i kierowanych za pomocą wiązki.

P r z y k ł a d . Określić prawdopodobieństwo rażenia samolotu bombowego B- 52 z uwzględnieniem niezawodności przy strzelaniu kolejnym z dwóch samolotów myśliwskich MiG - 21 p f salwami raket w jednakowych warunkach, jeśli wiadomo, że prawdopodobieństwo rażenia celu jedną raketą bez uwzględnienia niezawodności wynosi $W_i = 0,8$.

R o z w i ą z a n i e . 1. Określamy za pomocą tabeli 5 dla celownika RP- 9-21 $N_c = 0,9$ i dla rakiety $N_r = 0,9$.

2. Według wzoru /53/ określamy prawdopodobieństwo rażenia celu przy strzelaniu z jednego samolotu myśliwskiego, mając na uwadze, że liczba raket w salwie wynosi $k = 2$;

$$W_{sl}^* = N_c [1 - / 1 - N_r W_1 / k] = 0,9 [1 - / 1 - 0,9 \cdot 0,8 /]$$
$$= 0,83 .$$

3. Na podstawie wzoru /55/ określamy prawdopodobieństwo rażenia celu dwoma samolotami myśliwskimi, tj. dwiema salwami / $N = 2$ /. Uwzględniając, że $W_{sl}^* = \text{const} = W_{sl}^* = 0,83$, otrzymamy

$$W_{Nsl}^* = 1 - / 1 - W_{sl}^* / N = 1 - / 1 - 0,83 / ^2 = 0,97 .$$

Jeśli trzeba uwzględnić niezawodność tych środków technicznych, których zastosowanie poprzedza wykonanie strzelania, na przykład, naziemnych środków naprowadzania, to uwzględnia się je w sposób analogiczny do uwzględniania niezawodności celownika.

2. UWZGLĘDNIANIE PRZECIWDZIAŁANIA OGNIOWEGO PRZECIWNIKA

Przeciwdziałanie ogniowe przeciwnika w wykonaniu zadania bojowego może być wywarłe przez samoloty myśliwskie, naziemne środki OPL i ogniem obronnym celu atakowanego.

Uwzględnienie przeciwdziałania ogniowego/ lub ognia oświetowego/ jest zadaniem złożonym zarówno z punktu widzenia metodyki obliczania, jak i potrzebnych danych wyjściowych.

Rozpatrzmy przybliżone rozwiązanie tego zadania przy hipotezie, że znana jest skuteczność oddziaływania ogniowego przez przeciwnika.

Jeśli przeciwnik okazuje przeciwdziałanie ogniowe dopiero po wykonaniu zadania bojowego, to nie wpływa ono na prawdopodobieństwo rażenia celu/ może być tylko mowa o prawdopodobieństwie strącenia samolotu strzelającego po wykonaniu przez niego zadania bojowego/. Wobec tego, w tym schemacie przeciwdziałania ogniowego prawdopodobieństwo rażenia celu z uwzględnieniem przeciwdziałania ogniowego jest równe prawdopodobieństwu rażenia bez uwzględnienia przeciwdziałania ogniowego, tj.

$$W_c = W_c$$

Jeżeli przeciwdziałanie ogniowe przeciwnika poprzedza wykonanie strzelania do celu, to prawdopodobieństwo jego rażenia zmniejsza się i wynosi:

$$\tilde{W}_c = (1 - W_s) W_c, \quad /57/$$

gdzie: W_c - prawdopodobieństwo rażenia celu bez uwzględnienia ognia obronnego;

W_s - prawdopodobieństwo rażenia samolotu strzelającego lub stosowanych przez niego środków rażenia /na przykład, rakiet kierowanych/^{x/}

W warunkach, kiedy zawczasu nie wiadomo, kto pierwszy wykorzysta środki rażenia, przeciwnik czy samolot własny, to prawdopodobieństwo rażenia celu określa się w przybliżeniu jako wartość średnią pomiędzy dwoma poprzednio rozpatrywanymi schematami skrajnymi:

$$\tilde{W}_c = W_c - \frac{1}{2} W_s W_c \quad /58/$$

W warunkach realnych, w czasie wykonywania zadania bojowego może być wykonanych kilka strzelań zarówno przez samoloty własne, jak i przez przeciwnika. Kolejność wykonywania tych strzelań może być różna i każdemu schematowi wzajemnego oddziaływania ogniowego odpowiada określony wzór dla obliczania \tilde{W}_c , który może być otrzymany na podstawie wzorów /56/, /57/ i /58/.

W praktyce, w tym przypadku stosuje się przybliżoną metodę oceny prawdopodobieństwa rażenia celu. Polega ona na wstępnym obliczeniu prawdopodobieństwa rażenia celu i samolotu własnego przez wszystkie strzelania, wykonane przez każdą stronę bez uwzględnienia przeciwdziałania oraz w następnym obliczeniu \tilde{W}_c według wzorów /56/, /57/ i /58/.

P r z y k ł a d. Przed samolotem myśliwskim MiG-21f-13 postawiono zadanie, zniszczyć taktyczny samolot myśliwski przeciwnika w jednym ataku przez odpalenie pojeńdźczo dwóch rakiet R- 3s.

x/ Wielkość $1 - W_s$ /jest prawdopodobieństwem tego, że samolot przed wykonaniem zadania nie zostanie strącony. Odpowiednio do działań samolotów myśliwsko-bombowych to prawdopodobieństwo nazywa się prawdopodobieństwem przeciwnikania.

Prawdopodobieństwo rażenia celu dwiema raketami wynosi $W_c = 0,9$ przed wykonaniem ataku samolot myśliwski przelatuje przez strefę osłanianą przeciwlotniczymi raketami kierowanymi, które mogą razić samolot MiG - 21 f -13 z prawdopodobieństwem $W_s = 0,8$.

Określić prawdopodobieństwo rażenia celu z uwzględnieniem przeciwdziałania ogniowego.

R o z w i ą z a n i e. Ponieważ przeciwdziałanie ogniowe przeciwnika poprzedza strzelanie do celu, to \tilde{W}_c określa się według wzoru /57/:

$$\tilde{W}_c = 1 - W_s / W_c = 1 - 0,8 / 0,9 = 0,18.$$

Jeśli by nie był znany moment przeciwdziałania ogniowego, to \tilde{W}_c byłoby równe:

$$\tilde{W}_c = W_c - \frac{1}{2} W_s W_c = 0,9 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 0,54$$

3. ŁĄCZNE UWZGLĘDNIANIE RÓŻNYCH CZYNNIKÓW

Jeśli na wykonanie strzelania wpływa łącznie kilka czynników: niezawodność środków technicznych, przeciwdziałanie ogniowe i inne, to uwzględnia się je na podstawie analizy warunków wykonania zadania bojowego. W wyniku tej analizy lot bojowy do celu dzieli się na etapy, odpowiadające wpływowi tych lub innych czynników, a następnie ustala się schemat uwzględnienia czynników dla obliczenia pełnego prawdopodobieństwa rażenia celu oraz przyjmuje się konkretny wzór obliczeniowy pełnego prawdopodobieństwa na podstawie zasadniczych uwzględnień, określanych wzorami / 48/ -/58/.

A więc, podczas przechwytywania celu powietrznego lot samolotu można podzielić na etapy: naprowadzanie, zbliżanie z wyjściem w strefę możliwych ataków i strzelanie. Wychodząc z konkretnych warunków, określa się schemat możliwego przeciwdziałania ogniowego przeciwnika, tj. na jakim etapie będzie ono występować. Ustala się również to, jakie środki techniczne mogą być użyte na tym lub innym etapie/ lub etapach/ i gdzie zatem należy uwzględnić ich niezawodność.

Rozpatrzmy przykład. Przed przechwytyjącym samolotem myśliwskim postawione zadanie zniszczyć samolot przeciwnika w jednym ataku salwą z k rakiet samonaprowadzających się. Niech wiadome jest prawdopodobieństwo naprowadzania W_n bez uwzględnienia niezawodności środków naprowadzania, prawdopodobieństwo wyjścia w strefę możliwego strzelania W_a bez uwzględnienia niezawodności celownika, prawdopodobieństwo rażenia celu jedną rakieta W_1 , niezawodność naprowadzania N_n , niezawodność celownika N_c , niezawodność rakiety N_r . Przed wyjściem w rejon celu samolot myśliwski poddany jest przeciwdziałaniu ogniowemu, które charakteryzuje się prawdopodobieństwem strącenia samolotu myśliwskiego W_s .

Ponieważ wszystkie czynniki, za wyjątkiem niezawodności rakiety, poprzedzają strzelanie, to pełne prawdopodobieństwo rażenia celu - prawdopodobieństwo przechwycenia - będzie określone według wzoru:

$$W_{\Sigma} = W_p = W_n N_n W_a N_c (1 - W_s) [1 - (1 - N_r W_1)^k]. \quad 59/$$

Tak więc, przy $W_n = 0,95$, $N_n = 0,95$, $W_a = 1$, $N_c = 0,9$, $W_s = 0,3$, $N_r = 0,9$, $W_1 = 0,9$ i $k = 2$ według wzoru / 59/ otrzymamy $W_p = 0,61$,

T R E Ś Ć

	str.
§ 1. Wiadomości wstępne	2
§ 2. Ocena dokładności strzelania,.....	4
1. Błędy systematyczne	4
2. Błędy przypadkowe. Uchylenie prawdopodo- bne	5
3. Zależność wystrzałów	12
4. Prawdopodobieństwo trafienia	14
§ 3. Charakterystyki wrażliwości celów	21
1. Rażenie celu tylko przy bezpośrednim trafieniu pociskiem.....	21
2. Odległościowe rażenie celu	24
§ 4. Prawdopodobieństwo rażenia celu przy kilku strzelaniach niezależnych	25
§ 5. Prawdopodobieństwo rażenia celu przy strze- laniu raketami i pociskami bezpośredniego działania rażącego	27
1. Prawdopodobieństwo rażenia celu przy wykładniczym rozkładzie rażenia.....	27
2. Prawdopodobieństwo rażenia celu przy schodkowym rozkładzie rażenia	31
§ 6. Prawdopodobieństwo rażenia celu naziemnego przy strzelaniu raketami niekierowanymi odległościowego działania rażącego	33
1. Prawdopodobieństwo rażenia celu raketa- mi typu S- 24	34
2. Prawdopodobieństwo rażenia celów mało- odpornych raketami S-5m, S-5k i S- 3k...	36
§ 7. Prawdopodobieństwo rażenia celu powietrzne- go przy strzelaniu raketami kierowanymi ...	39
1. Prawdopodobieństwo rażenia celu rakie- tami R- 3s	40
2. Prawdopodobieństwo rażenia celu raketa- mi RS- 2u /RS - 2us/	44
§ 8. Prawdopodobieństwo rażenia celu naziemnego przy strzelaniu raketami kierowanymi klasy "powietrze - powietrze"	46

§ 9. Prawdopodobieństwo rażenia celu z uwzględnieniem środków technicznych, przeciwdziałania przeciwnika i innych czynników	51
1. Uwzględnianie niezawodności środków technicznych	53
2. Uwzględnianie przeciwdziałania ogniowego przeciwnika	55
3. Łączne uwzględnianie różnych czynników ..	57

Wykonano w 40 egz.

Egz. 1 - 40 Biblioteka Szkoleniowa

Wykonał płk Pawłowski

poz.ks.gł.0471/WW