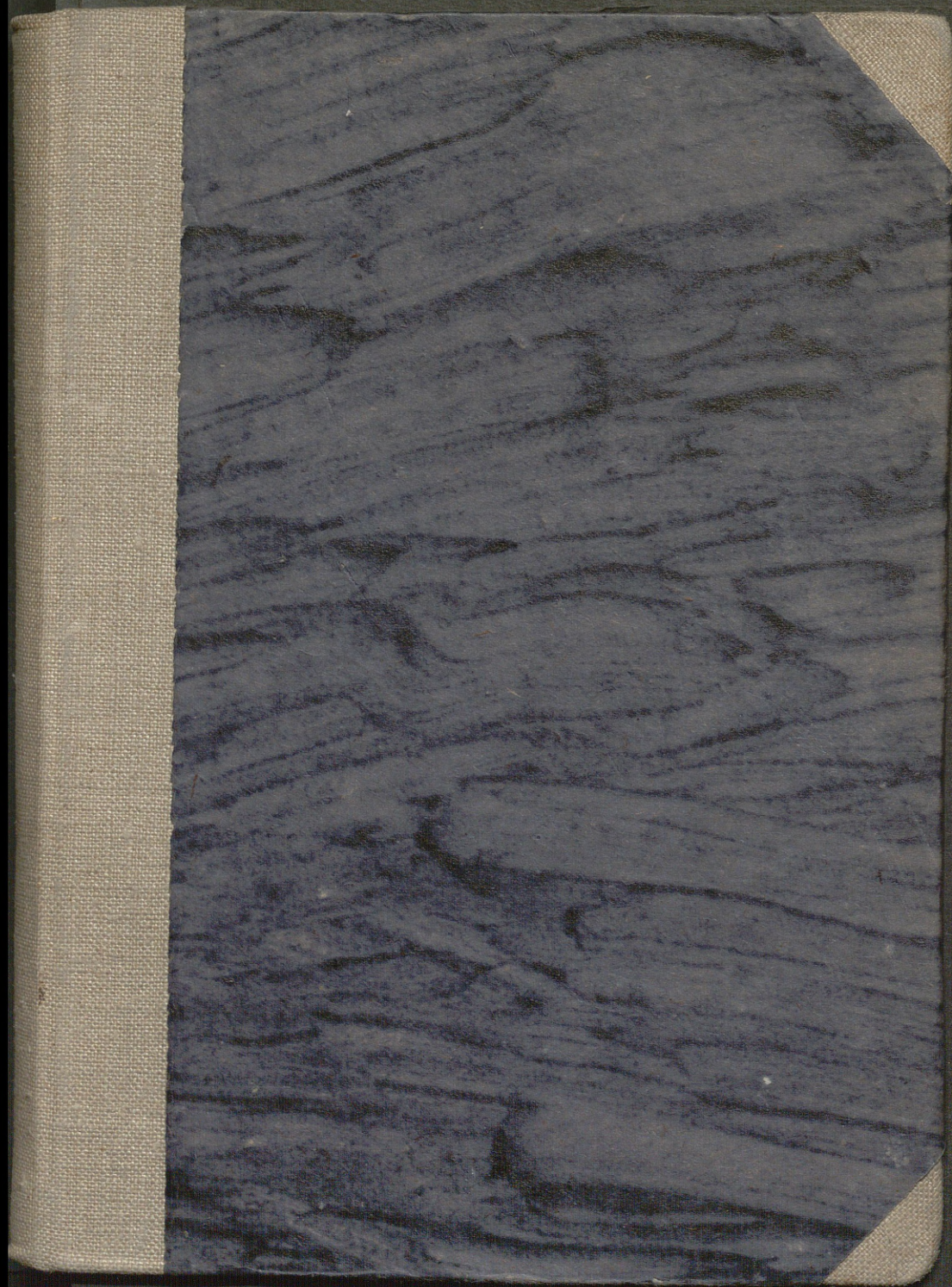
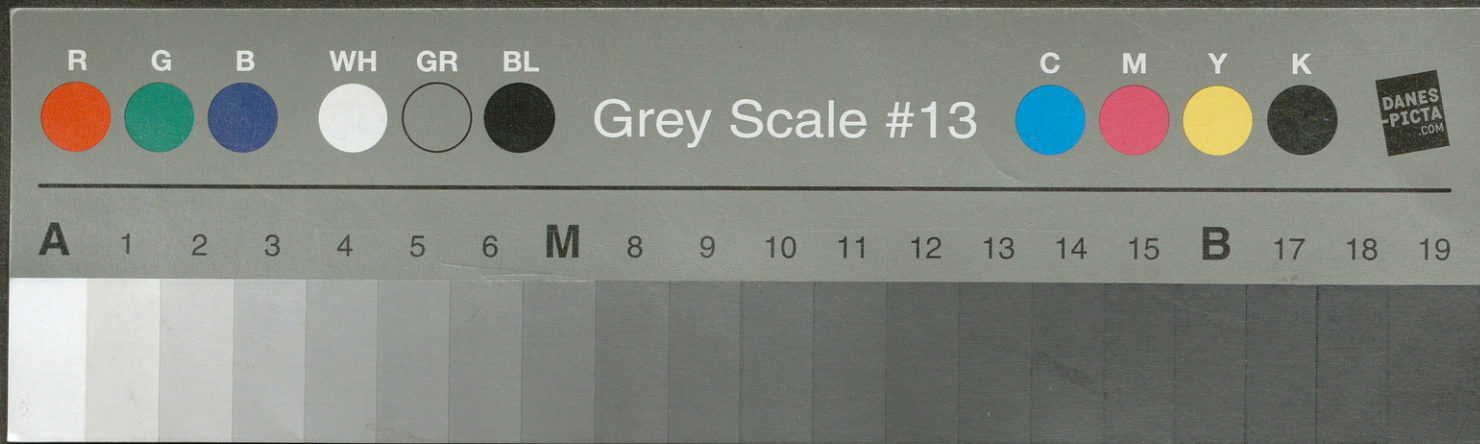
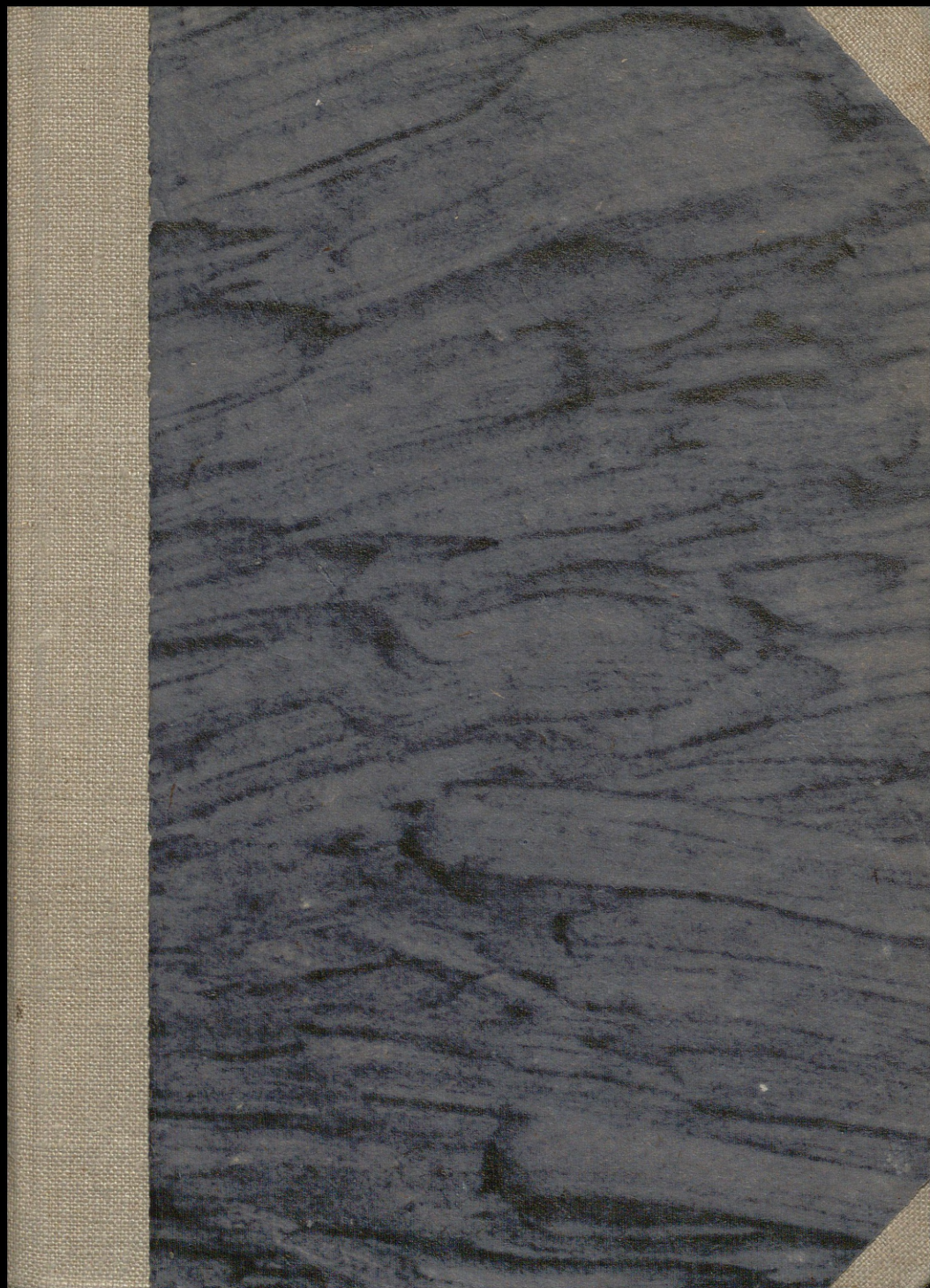






S. RUKAWISZNIKOW

STRZELANIE W LOCIE

PRZEŁOŻYŁ Z ROSYJSKIEGO I UZUPEŁNIŁ UWAGAMI

Inż. ROBERT HIRSZBANDT kpt. pil.

WYDANIE DRUGIE



WOJSKOWY
INSTYTUT NAUKOWO-WYDAWNICZY

1 9 4 6



WYDANO Z DUBLETÓW
Biblioteki Narodowej

2833/2



Zakłady Graficzne W. I. N. W. — Oddział w Jeleniej Górze. 63/46.

1947c-1702/8

SPIS RZECZY

ROZDZIAŁ I

Podstawowe wiadomości o ruchu pocisku

§ 1.	Uzbrojenie samolotów	7
§ 2.	Ruch pocisku w przewodzie lufy	10
§ 3.	Odrzut broni	13
§ 4.	Konstrukcja gwintów	16
§ 5.	Strzelanie przez śmigło	17
§ 6.	Ruch pocisku w powietrzu	19
§ 7.	Siła oporu powietrza	21
§ 8.	Przyspieszenie siły oporu powietrza	24
§ 9.	Ruch obrotowy pocisku i zboczenie	26
§ 10.	Elementy toru pocisku	32
§ 11.	Elementy toru pocisku względem celu	38
§ 12.	Pomiar kątów w tysięcznych	39
§ 13.	Przyrząd celowniczy	43
§ 14.	Wysokość toru	45
§ 15.	Tabele strzelnicze	49
	Pytania z rozdziału pierwszego	50

ROZDZIAŁ II

Lot pocisku przy strzelaniu z samolotu

§ 16.	Wpływ wysokości na lot pocisku	52
§ 17.	Wpływ zmiany szybkości początkowej pocisku	55
§ 18.	Odchylenie pocisków spowodowane przekreśleniem broni oraz oświetleniem jednostronnym	58
§ 19.	Kąt położenia celu	59
§ 20.	Wpływ wiatru	62
§ 21.	Przenoszenie pocisku	68
§ 22.	Zwłoka pocisku	83
§ 23.	Muszka wiatrowa	85
§ 24.	Muszka pierścieniowa	90
§ 25.	Celownik samoczynny	96
	Pytania z rozdziału drugiego	100

ROZDZIAŁ III

Strzelanie do celów ruchomych

§ 26. Wyprzedzenie	102
§ 27. Celownik pierścieniowy	110
§ 28. Konstrukcja celowników pierścieniowych	120
§ 29. Podstawowe wiadomości z optyki	127
Pytania z rozdziału trzeciego	144

ROZDZIAŁ IV

Rozrzut i prawdopodobieństwo trafienia

§ 30. Rozrzut	145
§ 31. Wiadomości z teorii prawdopodobieństwa	158
§ 32. Teoria błędów	179
§ 33. Prawdopodobieństwo trafienia	197
Pytania z rozdziału czwartego	209

ROZDZIAŁ V

Wypadki szczególne strzelania

§ 34. Celowanie za pomocą pierścienia w wypadku gdy rzeczywista szybkość celu nie odpowiada szybkości przyjętej dla obliczeń celownika	211
§ 35. Strzelanie w nocy	228
§ 36. Strzelanie na podstawie oceny szybkości względnej	231
Pytania z rozdziału piątego	247

ROZDZIAŁ VI

Technika użycia bojowego broni lotniczej

§ 37. Drogi ruchu samolotów	248
§ 38. Określenie odległości	253
§ 39. Właściwości bojowe samolotów	258
§ 40. Typy samolotów bojowych i ich właściwości ogniowe	264
§ 41. Właściwości bojowe uzbrojenia lotniczego	268
§ 42. Działanie pocisków karabinowych i działowych	275
§ 43. Opancerzenie samolotów	286
§ 44. Przysrzeliwanie k. m. lotniczych	288
§ 45. Fotokarabin	293
Pytania z rozdziału szóstego	305
DODATKI	307
SKOROWIDZ	317

OD AUTORA

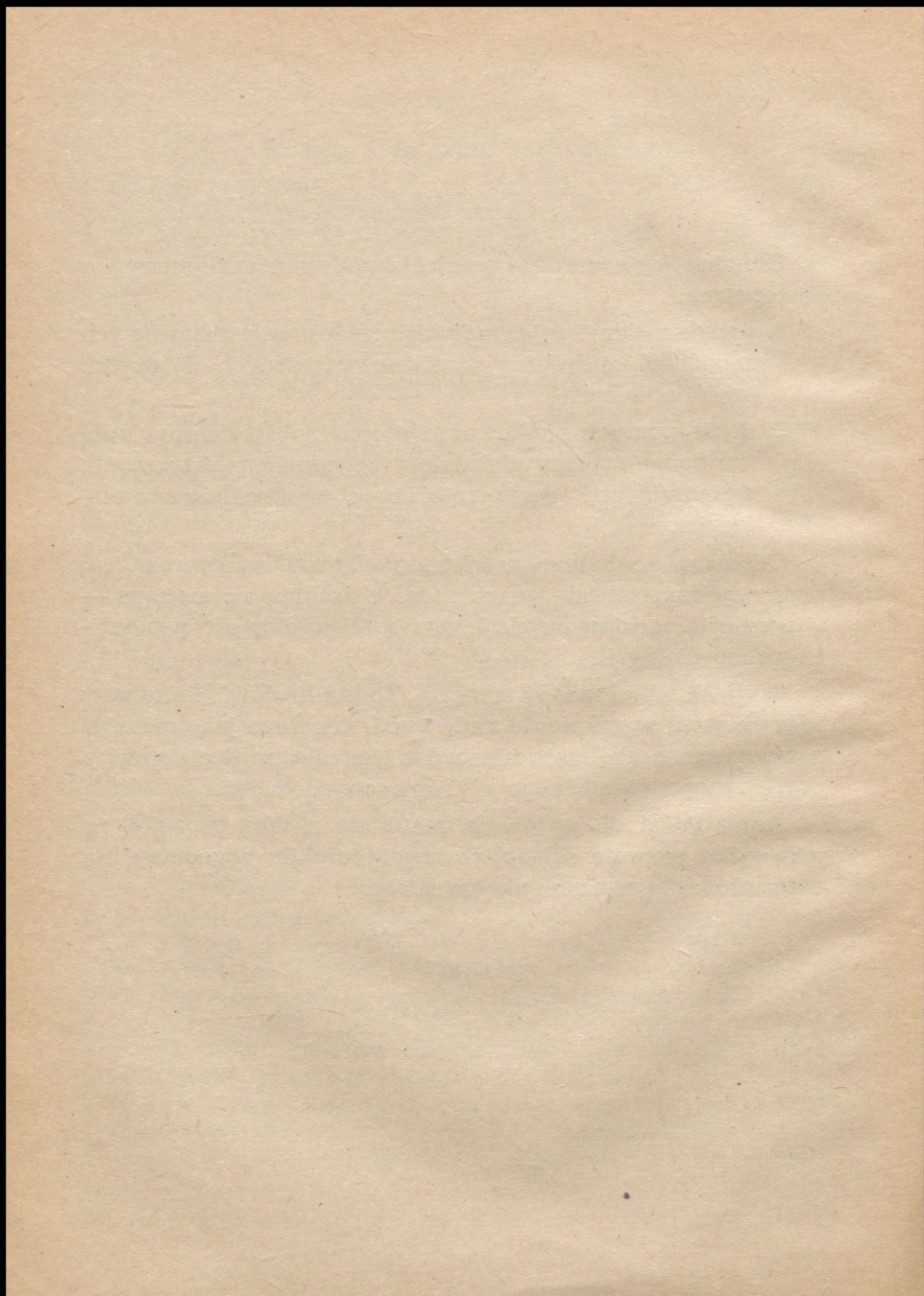
Zadania, jakie ma do spełnienia podręcznik niniejszy, są następujące:

1. przedstawienie w jak najprostszej formie podstawowych zagadnień z dziedziny strzelania potrzebnych dla użytku szkół lotniczych;
2. danie pomocy naukowej pilotowi i obserwatorowi dla zrozumienia przez nich istoty zagadnień praktycznych, wyłaniających się w związku z wyszkoleniem strzeleckim.

Odpowiednio do tego, w tekście podręcznika wyodrębniono poszczególne rozdziały, przez podanie drukiem normalnym — wiadomości podstawowych, kursywą zaś wiadomości pomocniczych, specjalnych.

Wyjątek od tej zasady stanowi „Teoria błędów”, która przy początkowym wyszkoleniu może być traktowana jako materiał pomocniczy, aczkolwiek niezbędna jest dla każdego strzelca powietrznego świadomego wykonywanych zadań.

Autor dążył do wyłożenia materiału z taką prostotą, na jaką tylko pozwala skomplikowany charakter zagadnień bez uszczerbku dla zrozumienia ich istoty.



ROZDZIAŁ I

PODSTAWOWE WIADOMOŚCI O RUCHU POCISKU

§ 1. Uzbrojenie samolotów. Pod określeniem „strzelanie w locie” rozumieć należy strzelanie wykonywane z samolotu znajdującego się w powietrzu.

Rozróżniamy dwa rodzaje strzelania w locie:

1. strzelanie w powietrzu,
2. strzelanie z powietrza.

W wypadku pierwszym zarówno cel jak i strzelec znajdują się w powietrzu i nie są związani z ziemią; cel taki nazywamy celem latającym. Samolot, rękaw lub szybowiec włączony za samolotem, sterowiec, balon wolny, skoczek na spadochronie w czasie spadku — są to wszystko cele latające, których cechami charakterystycznymi są: brak jakiegokolwiek związku z ziemią, a przy wietrze zależność ich ruchu od ruchu ośrodka powietrza, w którym się znajdują.

W wypadku drugim cel ma związek z ziemią lub też znajduje się bezpośrednio na ziemi; cel taki nazywamy celem ziemnym. Wojska nieprzyjaciela (piechota, kawaleria i artyleria), transporty drogowe, pociągi, samoloty w czasie postoju oraz kołowania mogą służyć jako przykłady celów ziemnych.

Balon na uwięzi lub latawiec na uwięzi są również celami ziemnymi, pomimo że znajdują się w powietrzu.

Cechą znamioną celu ziemnego jest istnienie jego związku z ziemią. Przy wietrze cel ziemny nie uczestniczy w ruchu warstwy powietrza, lecz powietrze go opływa.

Jako broń do strzelania w locie służą karabiny maszynowe i działka, które wraz z całym urządzeniem pomocniczym, niezbędnym do ich funkcjonowania w powietrzu, wchodzi w skład uzbrojenia strzeleckiego samolotów (w odróżnieniu od uzbrojenia bombardierskiego).

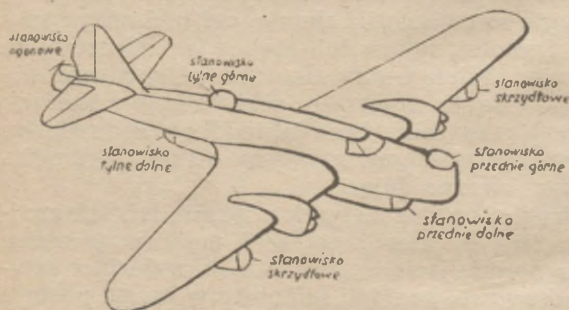
Rozróżniamy karabiny maszynowe następujących rodzajów:

1. k. m. normalnego kalibru, czyli 6—8 mm (sowieckie P. W. 1 i D. A. o kalibrze 7,62 mm; japońskie — 6,5 mm; angielskie — 7,7 mm; niemieckie — 7,92 mm);
2. k. m. dużego kalibru, czyli 11—14 mm (angielski Vickers o kalibrze 12,7 mm, niemiecki — 13,35 mm).

Działka lotnicze tworzą dwie grupy:

1. małokalibrowe, zazwyczaj automatyczne, o kalibrze 20 do 50 mm (Oerlikon — 20 mm; Vickers — 37 mm);
2. o kalibrze średnim 70—80 mm; bezodrzutowe (jak np. działko Davisa strzelające w dwóch przeciwnych kierunkach): nie-zastosowane w prakt. bojowej.

Pod nazwą *kompletne urządzenie strzeleckie* rozumieć należy sam k. m. lub działko wraz z podstawą mocującą je na samolocie, mechanizmem uruchamiającym podstawę, przyrządami celowniczymi, skrzynkami nabojewymi, przewodami donoszącymi naboje, przewodami odprowadzającymi łuski i ogniwa oraz urządzeniami sterującymi. Rozróżniamy urządzenia strzeleckie z bronią *nieruchomą* oraz urządzenia strzeleckie z bronią *ruchomą*.



Rys. 1. Rodzaje stanowisk strzeleckich na samolocie.

W wypadku pierwszym oś broni jest *nieruchoma* względem samolotu, tak iż może strzelać tylko w jednym kierunku. Jeśli natomiast broń jest *ruchoma*, to oś jej może zajmować dowolne położenie w granicach

jakie dopuszcza konstrukcja podstawy oraz pole ostrzału danego samolotu.

Zależnie od miejsca na samolocie broń może być zainstalowana na stanowisku:

przodnim górnym,
tylnym górnym,
ogonowym,
przodnim dolnym,
tylnym dolnym,
skrzydłowym.

Jeśli *nieruchomo* umocowany k. m. strzela przez płaszczyznę obrotu śmigła, to zwiemy go *k. m. przednim uzgodnionym* lub *karabinem maszynowym pilota uzgodnionym*.

Karabin maszynowy umieszczony ruchomo zwiemy *karabinem maszynowym ruchomym* lub *karabinem maszynowym obserwatora*.

Działanie mechanizmu spustowego k.m. pilota jest sprzężone z obrotem śmigła za pomocą przyrządu uzgadniającego wraz z przekaznikiem ruchu. Pilot włącza przyrząd uzgadniający, lecz strzał następuje dopiero wówczas, gdy ramie śmigła minie wylot lufy.

Przyrząd uzgadniający synchronizuje odpalenie ze ściśle określonym położeniem śmigła oraz wału silnika.

Przy działkach uzgodnienie nie jest stosowane ze względu na duże niebezpieczeństwo, jakie mogłoby pociągnąć za sobą trafienie pocisku w śmigło. Przebicie śmigła pociskami karabinowymi nie są tak niebezpieczne, gdyż przypadają na grubszą część śmigła (tj. bliżej piasty, gdzie przebicie pociskiem o kalibrze 7—8 mm nie przedstawia, w zasadzie, większego niebezpieczeństwa), podczas gdy przy strzelaniu z działka, poza znacznie większym kalibrem, działanie kruszące pocisku w razie trafienia w śmigło, spowodowałoby zawsze uszkodzenie całego samolotu jak również i rażenie załogi.

Działko może być natomiast wbudowane tak, by strzelało przez piastę śmigła przy silnikach z reduktorem. W tym wypadku lufa znajduje się wewnątrz piasty, wobec czego nie zachodzi potrzeba uzgodnienia ruchu śmigła z działaniem spustu.

Broń nieruchoma stosowana jest tylko na samolotach jednomiejscowych lub dwumiejscowych i przeznaczona wyłącznie dla pilota, zajętego prowadzeniem samolotu.

Celownik znajduje się bezpośrednio przed pilotem na kadłubie lub masce samolotu.

K.m. i działka ruchome montowane są na samolocie za pomocą podstaw.

Podstawy umożliwiają obrót broni w płaszczyźnie poziomej oraz nadanie jej pewnego kąta w płaszczyźnie pionowej.

Istnieje wiele rodzajów konstrukcji podstaw broni ruchomej. Konstrukcja zależy od typu broni, sposobu donoszenia naboju, miejsca jakim się rozporządza na samolocie, żądanych pól ostrzału itp.

Jedną z odmian podstaw jest obrotnik. *Obrotnikiem* nazywamy podstawę pierścieniową umożliwiającą obrót broni o 360° w płaszczyźnie poziomej, przez obrót pierścienia dookoła jego środka. Obrotnik może być otwarty lub też osłonięty, dla ochrony strzelca przed parciem powietrza. Jeśli k.m. ruchomy jest na samolocie bez obrotnika, lecz spoczywa bezpośrednio

na przegubie, przymocowanym do części nieruchomej samolotu, to podstawa taka zwie się *przegubową*. Jest to najprostszy typ podstawy. Często podstawy wykonywane są jako wysuwane. W stanie normalnym są one schowane w kadłubie, a do strzelania wysuwają się na zewnątrz. Stanowiska strzeleckie z wysokim wiatrochronem zwiemy osłoniętymi.

Przyrządy celownicze broni ruchomej umocowane są bądź bezpośrednio na broni, bądź też są umieszczone oddzielnie i związane mechanicznie z ruchem broni. Uwzględniają one zarówno ruch celu jak i położenie osi broni względem kierunku ruchu samolotu.

Urządzenia strzeleckie na samolotach powinny dawać możliwość szybkiego celowania oraz natychmiastowego rozpoczęcia ognia z chwilą ukazania się nieprzyjaciela.

Strzelanie w locie i stosowane do niego przyrządy celownicze mają charakter odmienny w porównaniu z ziemnymi.

Główną jednak podstawą teoretyczną są te same prawa, które rządzą zjawiskami występującymi przy strzale zarówno w warunkach strzelania w locie, jak i strzelania ziemnego. Dlatego też nauka strzelania w locie powinna rozpocząć się od poznania ogólnych zasad teorii strzelania.

§ 2. Ruch pocisku w przewodzie lufy. Żądaniem broni jest nadanie szybkości pociskowi i zapewnienie mu prawidłowego lotu do celu. Przekazanie szybkości pociskowi w broni palnej odbywa się kosztem energii ładunku prochowego, drogą zamiany energii chemicznej na energię cieplną, a następnie energii cieplnej na energię mechaniczną, czyli na ruch pocisku.

Dla zamiany energii chemicznej na energię cieplną niezbędne jest wywołanie procesu spalania się prochu.

Ładunek prochu bezdymnego, jaki mieści łuska naboju, zostaje zapalony przez spłonkę zawierającą odpowiedni materiał wybuchowy. Materiał ten ma tę właściwość, że zapala się od uderzenia lub nakłucia, dając płomień wystarczający do zapalenia się ładunku prochowego.

W zapłonnikach ładunków artyleryjskich, oprócz materiału piorunującego, znajduje się pewna ilość prochu czarnego (w kształcie kostek) dla zwiększenia płomienia spłonki oraz zwiększenia ciśnienia początkowego. Im większe jest ciśnienie, tym ładunek łatwiej zapala się i tym szybciej pali się. Zapalanie i zapłon następuje prawie natychmiastowo, po czym odbywa się spalanie prochu, czyli przenikanie płomienia w głąb ziarenek (lub płytek) prochu. Spalanie prochu w przewodzie broni aczkolwiek odbywa się bardzo szybko (w czasie około

0,003 sek dla kb.), zapewnia jednak stopniowy wzrost ciśnienia w przewodzie lufy. Stosowany tu proch bezdymny (nitrocelulozowy lub nitroglicerynowy) spala się prawie całkowicie zmieniając się na gazy o wysokiej temperaturze (około 2500°C).

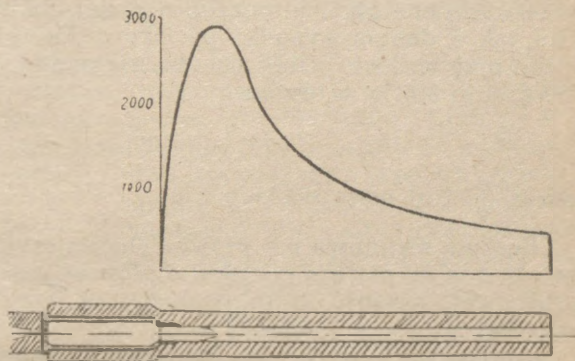
Gazy, zawarte w małej objętości komory naboowej, dążąc do zwiększenia swej objętości, wywierają ciśnienie o sile około 3000 kg/cm^2 (w karabinie) na powierzchnię wewnętrzną lufy, dno komory naboowej oraz dno pocisku.

Po pokonaniu oporu gwintów i tarcia o wewnętrzną powierzchnię lufy pocisk uzyskuje szybki ruch do przodu.

Ciśnienie w przewodzie lufy wzrasta najpierw szybko, w miarę spalania się prochu, po czym ze wzrostem szybkości pocisku, a więc ze zwiększeniem się objętości gazów, maleje, mimo że proch w dalszym ciągu się spala, aż do opuszczenia lufy przez pocisk. Na rys. 2 podany jest przebieg ciśnienia w lufie w miarę posuwania się pocisku naprzód.

Przy rozprężaniu się gazów temperatura ich spada. Kosztem straty ciepła wykonana zostaje praca nadania pociskowi dużej szybkości. Ciśnienie gazów i temperatura w chwili wylotu pocisku z lufy są znacznie niższe, niż na początku jego ruchu. Dalsze wyzyskanie prężności gazów nie daje już korzyści, gdyż wymagałoby znacznego wydłużenia lufy, a więc zwiększenia ciężaru i wymiarów broni, niewspółmiernego z nieznacznym stosunkowo wzrostem szybkości.

Gazy, po wyjściu z przewodu lufy, działają jeszcze w nieznacznym stopniu na pocisk, przyspieszając trochę jego ruch; zjawisko to nazywa się *działaniem gazów wylotowych*. Poza tym gazy, rozszerzając się we wszystkich kierunkach, wywierają ciśnienie na czołową powierzchnię wylotu lufy, przyspieszając ruch do tyłu, oraz wywołując kolejne zgęszczenia i roz-



Rys. 2. Krzywa ciśnienia gazów prochowych w kg/cm^2 w przewodzie lufy.

rzedzenia w otaczającym powietrzu, co jest przyczyną huków charakterystycznego dla broni palnej.

Środkiem wylotu lufy, w chwili wylotu pocisku, nazywamy środkowy punkt wylotu. Szybkość pocisku w punkcie wylotu nazywamy *szybkością początkową*¹). Oznacza się ją przez v_0 . Dla k.m. wzór D. A. $v_0 = 840$ m/sek, dla k.m. wzór P. W. $v_0 = 860$ m/sek. Szybkość początkowa jest jednym z najważniejszych czynników, charakteryzujących broń z punktu widzenia jej mocy, przekazanie jej pociskowi stanowi pracę użyteczną, wykonaną przez gazy prochowe.

Jak wiadomo z mechaniki, pracę wykonaną można zmierzyć wielkością energii kinetycznej, nadanej ciału będącemu w ruchu, jak w danym wypadku pociskowi. Energia kinetyczna pocisku przy wylocie z lufy nazywa się energią wylotową broni. Wyznacza się ją ze wzoru

$$E = \frac{q v_0^2}{2g} \text{ kgm}, \quad (1)$$

gdzie $\frac{q}{g}$ jest masą pocisku.

Energia wylotowa jest główną charakterystyką mocy broni; zależy ona od ciężaru pocisku, a głównie zaś od szybkości początkowej, wartość której wchodzi do wzoru (1) w drugiej potęgze.

Przykład 1. Porównać energię wylotową przy strzelaniu z k. m. wzór P. W. 1 przy strzelaniu lekkim i ciężkim pociskiem.

Dane.	Waga pocisku lekkiego	$q = 9,6$ g,
	Szybkość początkowa	$v_0 = 860$ m/sek.
	Waga pocisku ciężkiego	$q' = 11,7$ g.
	Szybkość początkowa	$v'_0 = 800$ m/sek.

Rozwiązanie. Obliczamy energię wylotową posługując się wzorem (1)

$$E = \frac{q v_0^2}{2g}$$

1. Dla pocisku lekkiego

$$E = \frac{q v_0^2}{2g} = \frac{0,0096 \cdot 860^2}{2 \cdot 9,81} = \frac{7100}{19,62} = 362 \text{ kgm.}$$

2. Dla pocisku ciężkiego

$$E = \frac{q' v'^2_0}{2g} = \frac{0,0117 \cdot 800^2}{2 \cdot 9,81} = \frac{7488}{19,62} = 382 \text{ kgm.}$$

¹ Jest to, ściśle biorąc, szybkość wylotowa, szybkość początkowa bowiem obejmuje też działanie gazów wylotowych. W dalszym ciągu jednak operować będziemy, przyjmując pewne przybliżenie, pojęciem szybkości początkowej (przyp. tłum.).

Porównując otrzymane wartości energii wylotowej, widzimy że mimo większej szybkości początkowej, energia wylotowa pocisku lekkiego, jest nawet nieco mniejsza niż pocisku ciężkiego.

Główną charakterystyką broni jest szybkość początkowa, należy jednak znać również ciężar pocisku.

§ 3. Odrzut broni. Przy ruchu pocisku ku przodowi lufy ciśnienie wywierane przez gazy na zamek, wprawia zamek i połączoną z nim lufę w ruch do tyłu. Ruchowi temu sprzyja również działanie gazów wylotowych na powierzchnię czołową lufy.

Ruch broni do tyłu przy wystrzale, nazywamy *odrzutem broni*.

Siła nadająca pociskowi ruch do przodu i siła nadająca lufie ruch do tyłu są jednakowe, gdyż powoduje je to samo zjawisko, a mianowicie, ciśnienie gazów w lufie broni. Dlatego też szybkość odrzutu broni będzie tyle razy mniejsza od szybkości pocisku, ilekrotnie ciężar broni jest większy od ciężaru pocisku.

Oznaczając szybkość odrzutu przez v , ciężar ruchomych części broni (zespołu odrzutowego) przez Q , ciężar pocisku przez q , szybkość początkową pocisku przez v_0 , możemy napisać równanie

$$Q v = q v_0 \quad (2)$$

Jeśli jednak uwzględnimy fakt, że razem z pociskiem wyrzucona zostaje część gazów prochowych, ponadto odrzut zwiększony jest przez wtórne działanie gazów, to wzór na szybkość odrzutu będzie nieco zmieniony

$$Q v = (q + \beta \omega) v_0 \quad (3)$$

gdzie ω ciężar ładunku (dla naboju kb. sowieckiego = 3,2 g), a współczynnik β uwzględnia również wpływ działania gazów wylotowych; β zależy od szybkości początkowej i oblicza się ze wzoru empirycznego

$$\beta = \frac{1275}{v_0} \quad (4)$$

Tak np. dla k.m. wz. D. A.

$$\beta = \frac{1275}{v_0} = \frac{1275}{840} = 1,52 \approx 1,5^1$$

¹ Współczynnik ten zależy od gatunku użytego prochu; dla karabina polskiego β wynosi około 0,8 (przyp. tłum.)



Rozwiązując równanie (3) względem v , otrzymamy szybkość odrzutu

$$v = \frac{(q + \beta\omega)v_0}{Q} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Ze wzoru tego wynika, że szybkość odrzutu będzie tym większa

1. im większa jest szybkość początkowa v_0 ,
2. im większy jest ciężar pocisku oraz ładunku,
3. im lżejsza jest broń lub jej części ruchome.

Szybkość odrzutu, sama przez się jeszcze nie jest miernikiem tego wrażenia, jakiego doznaje strzelec przy strzale. Broń lekka daje słabsze kopnięcie niż broń ciężka przy jednakowej szybkości odrzutu.

Dla scharakteryzowania odrzutu określa się jego energię ze wzoru

$$E = \frac{Q v^2}{2g} \text{ kgm} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

gdzie $\frac{Q}{g}$ masa broni lub części ruchomych.

Dla zmniejszenia odrzutu stosowane są czasem *hamulce wylotowe*. Praca ich polega na wyzyskaniu wtórnego działania gazów. Na drodze ich wylotu ustawiony jest pierścień z otworem dla przepuszczenia pocisku. Pierścień ten jest przytwierdzony, za pośrednictwem rurki z otworami lub prętów, do części wylotowej broni.

Gazy wylotowe idące za pociskiem, po wyjściu z lufy, cisną na powierzchnię pierścienia od strony przeciwległej do wylotu lufy, nadając lufie pewien ruch do przodu. Nacisk ten zmniejsza nieco siłę odrzutu broni, działającą do tyłu. Stroną ujemną stosowania hamulców wylotowych jest konieczność zwiększenia długości broni, oraz nieprzyjemne uczucie, jakiego doznaje strzelec pod działaniem gazów, odbijających się od hamulca. Hamulce takie zastosowane są w k. m. zdwojonych, wzoru D. A.

W pewnych wypadkach zachodzi konieczność umyślnego zwiększenia odrzutu. W k. m. wz. P. W. 1 powtarzanie samoczynne oparte jest na wykorzystaniu odrzutu lufy.

Energia odrzutu uzyskana przy wystrzale w tym k. m. była nie wystarczająca dla należytego działania mechanizmu, wobec czego dla zwiększenia siły działania gazów zastosowano pierścien na lufie przy jej wylocie i zgrubiono wylot.

Gazy, znajdujące się w komorze odrzutnika, cisnąc silniej dzięki zwiększeniu powierzchni parcia u wylotu, cofają lufę

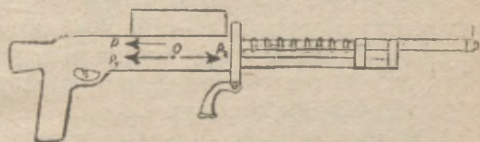
do tyłu. Nadmiar gazów odprowadza się przez otwory boczne komory odrzutnika.

Siłę działania gazów można regulować przez odpowiedni dobór średnicy otworu dla przejścia pocisku. Tak np. dla uzyskania szybkostrzelności 600 strzałów na minutę, w karabinie maszynowym P. W. 1, otwór ten wynosi 14 mm dla szybkostrzelności 750 strzałów na minutę trzeba zastosować otwór mniejszy, o średnicy 10 mm, co powoduje zebranie się większej ilości gazów w komorze odrzutnika, a tym samym energiczniejszy odrzut.

Ogólnie jednak biorąc, odrzut jest zjawiskiem niepożądanym, gdyż wywołuje wstrząsy broni i zwiększa rozrzut.

Wypadkowa siła ciśnienia gazów na dno komory nabojowej działa w kierunku osi lufy; gdyby wypadkowa ta przechodziła przez środek ciężkości broni, to ruch lufy przy odrzucie odbywałby się wzdłuż jej osi. Jednak takie wypadki należą do wyjątków. Rys. 3 wyjaśnia działanie sił przy odrzucie.

Siła P jest wypadkową ciśnienia gazów, działającą poza środkiem ciężkości, znajdującym się w punkcie O . Przyłożmy w punkcie O dwie równe i przeciwne co do działania siły P_1 i P_2 ,



Rys. 3. Odrzut broni przy strzale.

o kierunku równoległym do siły P . Mamy teraz układ trzech sił, z których P i P_1 tworzą t. zw. *parę sił*, powodującą obrót broni dookoła środka ciężkości; siła P_1 powoduje ruch broni do tyłu.

Z powyższego rozważania wynika, iż odrzut wpływa na zmianę kąta, pod jakim została ustawiona broń przed strzałem¹⁾.

Jeśli k. m. zamontowany jest na sworzniu, którego przegub znajduje się poniżej środka ciężkości k. m., siła P podrzuca wylot nieco ku górze. We współczesnych konstrukcjach obrotników, przegub umieszcza się bezpośrednio na pałaku. Siła nacisku na podporę zależy od sprężystości podpory. Jeśli podpora jest dostatecznie sprężysta, energia odrzutu pochłaniana jest na stosunkowo znacznej drodze (przy lekkim k. m. wynosi to kilka mm), nacisk zaś jest nieznaczny.

¹⁾ Kąt ten zmienia się znacznie już po opuszczeniu przez pocisk lufy (przyp. tłum.).



Przy podporze mało sprężystej, energia odrzutu zostaje pochłonięta na krótkiej drodze, wobec czego siła nacisku powoduje gwałtowne pchnięcie. Według doświadczeń francuskich, średnia siła nacisku przy odrzucie karabina maszynowego wynosi 12 kg (dla k. m. Chatellerault).

Przy k. m. lekkich, z powodu małej energii odrzutu i lekkiej konstrukcji podpór, wpływ sztywności podpory jest mało wyczuwalny; należy jednak w tych konstrukcjach unikać czynników, które spowodowałyby drgania przy strzelaniu ogniem ciągłym.

Przy użyciu k. m. ciężkich i działek małokalibrowych, siła odrzutu wzrasta o tyle, że niezbędne już jest stosowanie sprzężyn, które pochłaniałyby energię odrzutu.

Odrzut daje się odczuwać szczególnie dotkliwie przy strzelaniu z k. m. zdwojonych. Niejednoczesność strzałów stwarza moment, obracający k. m. dookoła osi przegubu to w jedną, to w drugą stronę. Przy strzale prawego k. m. pocisk odchyła się w prawo, przy strzale z lewego w lewo.

Odchylenie katowe w każdą stronę wynosi 2 — 3 tysięcznych; przy strzelaniu na odległość 50 m wynosi to 10 — 15 cm w prawo i tyleż w lewo. A więc przy strzelaniu na ziemi z k. m. zdwojonych, rozrzut jest 2 razy większy, niż dla karabina maszynowego pojedynczego.

§ 4. Konstrukcja gwintów. Pocisk zachowuje prawidłowy ruch po torze wówczas, gdy nada mu się obrót dookoła osi odpowiednio do jego szybkości. Wytlumaczenie tego zjawiska podane jest w § 8.

Dla nadania pociskowi ruchu obrotowego, przewód lufy jest gwintowany; wgłębienia zwiemy bruzdami, a części wystające polami. Pocisk w chwili rozpoczęcia ruchu wcina się w bruzdy. Siła gazów prochowych P popycha pocisk wzdłuż osi lufy w kierunku jej wylotu. Oś pocisku przesuwają się prostoliniowo, zaś jego powierzchnia boczna wzdłuż linii śrubowej, wskutek czego pocisk otrzymuje ruch obrotowy dookoła swej osi podłużnej (rys. 4). Bruzdy powinny mieć odpowiednią głębokość, gdyż w przeciwnym wypadku, zbyt niski występ wyciśnięty na powierzchni bocznej pocisku zostaje zgnieciony i pocisk przeskakuje przez gwinty. Zjawisko to występuje często przy zużyciu luf, gdy zachodzi starcie pól i zaokrąglenie krawędzi gwintów. Aby utrudnić zerwanie się pocisku z gwintu stosuje się gwinty o kilku bruzdach. Broń sowiecka o kalibrze 7,62 mm ma 4 bruzdy. Boczne powierzchnie bruzd są równoległe. Średnica przewodu lufy, mierzona od pola do pola na-

zywa się *kalibrem* broni. Jest to podstawowa wielkość, charakteryzująca dany wzór broni.

W broni sowieckiej kierunek skrętu gwintu jest zgodny z ruchem wskazówki zegara.

Długość mierzona wzdłuż osi lufy, na której następuje jeden pełny obrót gwintu jest *skokiem gwintu*. Jeśli skok wynosi 240 mm, to skok w kalibrach dla kal. 7,62 wynosi

$$\frac{240}{7,62} \cong 32 \text{ kalibry.}$$

Kąt nachylenia gwintu wynosi $5^{\circ}22'$. Przy długości części gwintowanej około 650 mm, bruzdy wykonują w lufie 2,7 obrotu.

Weźmy wycinek lufy równy co do długości skokowi gwintu i rozciawszy go wzdłuż tworzącej, rozwinijmy jego powierzchnię wewnętrzną na płaszczyznę; rys. 5 przedstawia gwint po rozwinięciu, przy czym dla przejrzystości podana jest tylko jedna z bruzd.

Kąt ABC jest kątem skrętu gwintu, charakteryzującym stromość jego skrętu. Odcinek AB jest skokiem.

Szybkość obrotu pocisku zależy od szybkości jego ruchu postępowego oraz stromości gwintu i może być wyznaczona według szybkości początkowej i skoku gwintu. Wyrażmy szybkość obrotu w obrotach na sekundę.

Na długości 240 mm (0,24 m) linia śrubowa bruzd wykonuje 1 obrót. Jeśli określimy ile razy odcinek o tej długości zmieści się w drodze przebywanej przez pocisk w 1 sekundzie, to otrzymamy ilość obrotów pocisku na sekundę. Tak np. w k.m. wz. D. A. pocisk w chwili wystrzału ma szybkość 840 m/sek, czyli przeszedłby w ciągu sekundy długość 840 m, gdyby nie było oporu powietrza.

Zatem w chwili wylotu pocisk obraca się z szybkością odpowiadającą

$$\frac{840}{0,24} = 3500 \text{ obr/sek.}$$

Zjawiska, które rozważyliśmy powyżej na przykładzie dla broni o kalibrze 7,62 mm, zachodzą w sposób analogiczny i w innych wzorach broni palnej.

§ 5. Strzelanie przez śmigło. Czas upływający od chwili spuszczenia iglicy do chwili wybuchu pocisku z lufy jest bar-



Rys. 4. Ruch pocisku w przewodzie gwintowanym lufy.



Rys. 5. Rozwinięcie jednej bruzdy gwintu lufy.

dzo mały, lecz odgrywa istotną rolę przy strzelaniu przez płaszczyzną śmigła.

Czas ten dzieli się na:

1. czas przebiegu iglicy od chwili naciśnięcia na spust do chwili uderzenia iglicy w spłonkę $t_1 = 0,003 \text{ sek}$;
2. czas upływający od chwili zapalenia się prochu do chwili rozpoczęcia ruchu pocisku, czyli okres czasu potrzebny do uzyskania takiego ciśnienia w lufie, przy którym pocisk zaczyna wcinąć się w gwinty $t_2 = 0,002 \text{ sek}$;
3. czas ruchu pocisku w lufie $t_3 = 0,0012 \text{ sek}$ (proch kończy się spalać nieco wcześniej);
4. czas przelotu pocisku od wylotu lufy do płaszczyzny obrotu śmigła $t_4 = 0,0015 \text{ sek}$ (dla odległości około 1,5 m).

Zatem od chwili rozpoczęcia funkcjonowania mechanizmu spustowego do chwili przelotu pocisku przez płaszczyznę obrotu śmigła upływa czas

$$T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 0,003 + 0,002 + 0,0012 + 0,0015 = 0,0077 \text{ sek.}$$

Przez ten czas śmigło zdąży obrócić się o dość znaczny kąt, wielkość którego zależy od szybkości obrotu śmigła, czyli od ilości obrotów silnika na minutę.

Załóżmy, iż silnik jest bez reduktora i ma $n = 1400 \text{ obr/min}$, wówczas śmigło w ciągu 1 sekundy wykona

$$\frac{n}{60} = \frac{1400}{60} \text{ obr/sek.}$$

W ciągu jednego obrotu śmigło obróci się o 360° , a w ciągu sekundy o $\frac{n \cdot 360}{60} = \frac{1400 \cdot 360}{60}$ stopni, jest to więc szybkość kątowa śmigła, mierzona w stopniach.

Aby określić ile stopni przejdzie śmigło w ciągu określonego czasu, trzeba pomnożyć szybkość obrotu przez wielkość tego czasu.

Kąt przesunięcia śmigła od chwili zwolnienia spustu do chwili przejścia pocisku przez płaszczyznę śmigła, dla założeń podanych wyżej wynosi

$$\alpha = \frac{1400 \cdot 360}{60} \cdot 0,0077 = 64^\circ$$

Im szybciej obraca się śmigło, tym większy jest ten kąt, gdyż wielkość wzrasta wprost proporcjonalnie do ilości obrotów na minutę.

Przy 2100 obr/min $\alpha = 90^\circ$.

Kąt α zwiemy kątem przejścia śmigła.

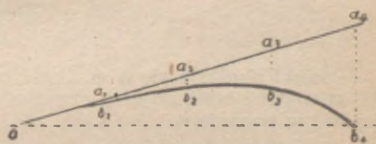
Gdyby czas T był stały, to kąt przejścia śmigła nie przedstawiałby specjalnego niebezpieczeństwa (oczywiście w granicach pewnych obrotów¹). Jednak na skutek niejednorodności ciężarów ładunków oraz pocisków, czas ten nie jest wielkością stałą. Przy wadach spłonek lub ładunków zachodzą tzw. strzały spóźnione; kąt przejścia zostaje wówczas znacznie zwiększony — nawet o kilkadziesiąt stopni.

Dla zmniejszenia niebezpieczeństwa przestrzelenia śmigła, przy strzelaniu z k. m. uzgodnionych, stosowana jest amunicja specjalnie starannie fabrykowana, dająca niewielkie odchylenia kąta przejścia. Odbiór takiej amunicji obejmuje również strzelania do tarczy wirującej, umocowanej na piaście śmigła. Na tarczy tej występuje wyraźnie zjawisko rozrzutu kąowego, spowodowanego zmienną wartością czasu T dla poszczególnych naboju.

Dla zapewnienia wysokiej jakości amunicji lotniczej musi ona być przechowywana aż do chwili jej użycia w opakowaniu hermetycznym i w warunkach określonych odpowiednimi przepisami (przy konserwacji temperatura nie powinna przekraczać 30°).

§ 6. Ruch pocisku w powietrzu. Pocisk wychodzi z przewodu lufy z pewną szybkością początkową, po czym porusza się w powietrzu dzięki bezwładności. Jako początkowy punkt toru pocisku przyjmujemy punkt wylotu, czyli środek wylotu lufy (§ 2).

Kierunkiem ruchu pocisku w chwili wylotu jest kierunek osi lufy, lecz później pocisk, jak każdy inny przedmiot rzucony swobodnie, pod wpływem siły ciężarzenia zaczyna obniżać swój lot w stosunku do poziomu wylotu.



Rys. 6. Obniżenie pocisku w stosunku do linii rzutu.

Gdyby nie było siły ciężarzenia, pocisk poruszałby się w przedłużeniu osi lufy i po pewnych określonych odstępach czasu zajmowałby kolejno położenia a_1, a_2, a_3 (rys. 6). Ponieważ jednak działa siła ciężarzenia, to pocisk poza ruchem naprzód będzie opadał tak, jak ciało swobodne, obniżając się stopniowo o odcinki $a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3$ itd. W rezultacie torem jego będzie pewna krzywa, której wszystkie punkty leżą poniżej przedłużenia kierunku osi lufy.

¹ przyp. tłum.

Prosta, wzdłuż której skierowany jest pocisk w chwili wystrzelenia, jest *linią rzutu* ($Oa_1 a_2 \dots$), krzywa, wzdłuż której porusza się środek ciężkości pocisku jest *torem pocisku*.

Odległość, mierzona wzdłuż pionu od dowolnego punktu linii rzutu do odpowiedniego punktu na torze, jest *obniżeniem pocisku* w stosunku do osi lufy.

Wielkość tego obniżenia, przy przybliżonych obliczeniach praktycznych, można określić ze wzoru określającego drogę przebytą w próżni przez ciało swobodnie spadające

$$S = \frac{g t^2}{2}.$$

W rzeczywistości pocisk porusza się w powietrzu, jednak wpływ oporu powietrza na obniżenie pocisku dla tych nieznacznych odległości z jakimi mamy do czynienia przy strzelaniu w locie jest tak mały, że w pewnych zagadnieniach praktycznych możemy go pominąć.

Przykład 2. Lufa karabina maszynowego nieruchomo ustawionego na samolocie skierowana jest na punkt a_1 (rys. 6); odległość do podstawy tarczy, na której leży punkt a_1 wynosi 400 m. Czas przelotu pocisku na 400 m wynosi $t = 0,55$ sek. Określić w jakim miejscu w stosunku do punktu a_1 należy ustawić tarczę.

Stosując wzór

$$S = \frac{g t^2}{2},$$

$$g = 9,81 \text{ m/sek},$$

$$t = 0,55 \text{ sek}, \quad t^2 = 0,303 \text{ sek}^2.$$

$$S = \frac{g t^2}{2} = \frac{9,81 \cdot 0,303}{2} \cong 1,5 \text{ m}.$$

Pociski obniżają się o wielkość około 1,5 m. Odmierzamy od punktu a_1 1,5 m w dół i otrzymujemy punkt b_1 . Tarczę należy ustawić tak, by środek jej był w punkcie b_1 .

Biorąc pod uwagę, że dla odległości spotykanych przy strzelaniu w locie, opór powietrza w bardzo nieznacznym stopniu wpływa na obniżenia pocisku, założyć możemy, że wielkość obniżenia pocisku zależy tylko od czasu przelotu pocisku. Robiąc jeszcze jedno przypuszczenie, że względów praktycznych, że jednakowym odległościom odpowiada ten sam czas przelotu pocisku, dojdziemy do sformułowania tzw. *założenia San-Roberta*: jednakowym oddaleniom wzdłuż linii rzutu odpowiadają te same wielkości obniżenia pocisku. San-Roberto, artylerzysta włoski, przyjął tę hipotezę dla kątów podniesienia nie przekraczających 15° .

Pójdziemy jeszcze dalej w swych założeniach, znów ze względu na małe odległości założymy mianowicie, że hipoteza ta jest ważna dla wszystkich wypadków strzelania w locie, niezależnie od położenia broni.¹

Przejdźmy teraz do sformułowania założenia sztywności toru. Ponieważ przy zmianie kąta podniesienia w granicach od 0° do 15° obniżenie pionowe pocisku, odpowiadające jakimukolwiek punktowi linii rzutu, zmienia się znikomo mało, przyjmuje się, iż kształt toru w granicach tych kątów jest niezmienny. Przy tym założeniu należy sobie wyobrazić tor, jako sztywny zakrzywiony pręt o stałym kształcie dla wszystkich odległości, gdzie kąt podniesienia nie przekracza 15°.²

Nie należy identyfikować przyjętego tu założenia sztywności toru z założeniem San-Roberta; sztywność toru jest dalej idącym założeniem, wobec czego nie można już stosować go powyżej pewnej granicy kąta podniesienia. Przy strzelaniu w locie, źródłem największych błędów jest ruch celu. Błędy związane z kształtem toru pocisku są mniejszego rzędu; dlatego też przy strzelaniu w locie stosować będziemy założenie sztywności toru w granicach do 30° kąta podniesienia (zamiast do 15° jak to zostało przyjęte przy strzelaniu ziemnym).

§ 7. Siła oporu powietrza. Ruch pocisku w powietrzu odbywa się z dużą szybkością, przewyższającą szybkość głosu (szybkość głosu wynosi przy temperaturze 15° C — 341 m/sek).

Przy ruchu, pocisk spotykając na swej drodze cząstki powietrza, odpycha je ze znaczną siłą, zużywa w ten sposób swą energię i traci w krótkim czasie szybkość. Poza tym tarcie powietrza o powierzchnię pocisku wywiera wpływ hamujący. Za dnem pocisku powstaje rozrzedzenie powietrza powodujące zjawisko zasysania. Wszystkie te czynniki składają się na opór powietrza, który hamuje ruch pocisku i zmniejsza jego donośność.

Jak wielki wpływ wywiera opór powietrza na donośność, widać z następującego przykładu. W powietrzu, przy kącie podniesienia równym 30°, pocisk karabinowy osiąga swą największą donośność, równą 5 km. W próżni, przy tym samym kącie podniesienia, uzyskalibyśmy donośność 65 km; wpływ hamujący powietrza jest więc bardzo znaczny.

¹ Założenie to na ogół sprawdza się bardzo dobrze; cel tego założenia stanie się zrozumiały przy omawianiu konstrukcji celowników (przyp. tłum.).

² Jest to słuszne dla torów tak płaskich, jak tory karabinowe (przyp. tłum.).

Szybkości pocisku, w poszczególnych punktach toru, podane są w załączonych tabelach (dodatek 1 i 2) w rubryce „Szybkość u celu”.

Ponieważ szybkość pocisku jest wielkością zmienną, a operowanie wielkością zmienną przy obliczeniach praktycznych jest niedogodne, więc w wypadkach, gdy musimy do obliczeń wprowadzić szybkość pocisku, będziemy się posługiwać pewną fikcją, mianowicie szybkością średnią pocisku dla danej odległości. Szybkością średnią, dla pewnej odległości, nazywamy taką szybkość stałą, którą musiałby mieć pocisk dla przebycia tej odległości w takim samym czasie, w jakim przebywa ją w rzeczywistości z szybkością malejącą.

Średnią szybkość pocisku obliczamy, dzieląc odległość przez czas przelotu

$$V_{\text{sr}} = \frac{D}{t}$$

Tak np. średnia szybkość lekkiego pocisku kb. sowieckiego dla odległości 400 m wynosi

$$V_{\text{sr}} = \frac{D}{t} = \frac{400}{0,55} = 727 \text{ m/sek.}$$

Czas przelotu pocisku podany w tabelach (dodatek 1). Na podstawie doświadczeń stwierdzić możemy, iż siła oporu powietrza jest tym większa, im

1. większy jest przekrój poprzeczny pocisku,
2. większa jest szybkość pocisku,
3. gorszy jest kształt pocisku pod względem opływu,
4. większy jest ciężar właściwy powietrza.

Ciężarem właściwym powietrza, nazywamy ciężar powietrza zawartego w 1 metrze sześciennym objętości. Zwykle bierze się pod uwagę ciężar właściwy przy ciśnieniu 750 mm i temperaturze 15°C; wynosi on $\gamma = 1,2 \text{ kg/m}^3$; im wyższa jest temperatura i im mniejsze ciśnienie, tym ciężar właściwy jest mniejszy.

Rozpatrzmy teraz wpływ poszczególnych czynników na siłę oporu powietrza.

1. Wpływ przekroju poprzecznego pocisku. Im większy jest przekrój, tym więcej cząsteczek powietrza napotyka pocisk na swej drodze.

Wymiar przekroju poprzecznego pocisków zależy w głównej mierze od żądanej siły rażenia, jaką dany pocisk ma

wywrzeć. We współczesnych konstrukcjach pocisków dąży się do zwiększenia siły rażenia nie przez zwiększenie przekroju poprzecznego lecz przez wydłużenie pocisku.¹

2. Zwiększenie szybkości pocisku zwiększa opór powietrza dlatego, że cząsteczki powietrza napotymane przez pocisk są silniej ściskane i odrzucane z większą szybkością.

Warstwę zgęszczonego powietrza przed czołem pocisku, nazywamy falą czołową, kształt której zależy od wielkości, szybkości i kształtu pocisku; im większa jest szybkość, tym bardziej ostra jest fala; stopień szczytu pocisku wywołuje większe zgęszczenie czoła fali i zaokrągla ją (rys. 7).

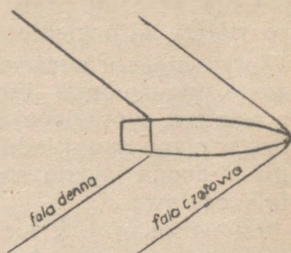
Spływające z pocisku strugi powietrza tworzą za jego dnem falę denną bardziej słabą. Za falą denną idzie obszar rozrzedzenia i wirów.

Kształt fali czołowej i dennej określa się za pomocą zdjęć kinematograficznych. Pocisk przelatując przed obiektywem zamyka obwód silnego kondensatora elektrycznego, który daje silną iskrę na przeciąg 1 milionowej części sekundy. Całokształt tych dwóch fal nazywa się falą balistyczną; fala balistyczna występuje jedynie przy szybkościach większych od szybkości głosu.

Opór powietrza wzrasta znacznie szybciej niż szybkość pocisku. Dla szybkości zbliżonych do szybkości głosu, opór wzrasta w przybliżeniu proporcjonalnie do pewnej potęgi szybkości (od trzeciej do piątej). Przy dalszym zwiększeniu szybkości opór wzrasta w stopniu słabszym niż druga potęga szybkości.

3. Wpływ kształtu pocisku. Obecnie dąży się do nadania pociskowi kształtu najkorzystniejszego pod względem opływowym, by osłabić zgęszczenie z przodu oraz naokoło pocisku i rozrzedzenie panujące za pociskiem.

Przejęcie od ostrołuku do części cylindrycznej musi być jak najłagodniejsze, a więc zarys ostrołuku wykonuje się według łuku kołowego; każde gwałtowne przejście wywołałoby falę podobną do fali czołowej.



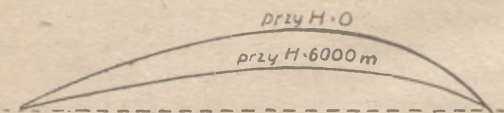
Rys. 7. Fala balistyczna.

¹ Do pewnej granicy, jak będzie o tym mowa dalej (przyp. tłum.).

Część tylna pocisku wykonana jest w kształcie stożka ściętego (o długości nie przekraczającej 1 kalibru), co zapewnia bardziej prawidłowy opływ i osłabia rozrzedzenie powietrza za pociskiem.

4. Wpływ ciężaru właściwego powietrza nie wymaga dodatkowego wyjaśnienia; jest rzeczą oczywistą, że im gęstsze jest powietrze, tym więcej cząsteczek spotka pocisk na swej drodze w ciągu danej jednostki czasu i tym większa część energii stracona będzie na odpychanie cząsteczek, tworzących falę czołową.

Przy strzelaniu w locie, wobec zmiennej wysokości lotu, spotykamy znaczne różnice ciśnień.



Rys. 8. Porównanie krzywizny torów pocisku nad ziemią i na wysokości 6000 m.

Ze wzrostem wysokości ciśnienie szybko spada. Jeśli ciśnienie na poziomie morza przyjmujemy jako 1, to na 3000 m wynosi

ono około $\frac{3}{4}$, na 6000 zaś $\frac{1}{2}$. Przyjmuje się, iż siła oporu powietrza wzrasta proporcjonalnie do jego ciężaru właściwego. Dlatego też, na wysokości 6000 m opór powietrza powinien być dwa razy mniejszy, niż na ziemi, co wyraźnie wpływa na warunki lotu pocisku.¹

Na rys. 8 podane jest porównanie torów pocisku dla k. m. wzór P. W. 1 na ziemi i na wysokości 6000 m.

§ 8. Przyspieszenie siły oporu powietrza. Jak wiadomo z mechaniki, każda siła, działająca na pewne ciało, zmienia szybkość lub kierunek jego ruchu lub też jednocześnie zmienia i szybkość i kierunek. Zmiana szybkości w jednostce czasu może być dodatnia (w razie wzrostu szybkości) lub też ujemna (w razie zmniejszenia szybkości). Siła oporu powietrza, jak i każda inna siła, zmienia szybkość ruchu pocisku, ponieważ kierunek jej działania jest przeciwny do kierunku ruchu pocisku, powoduje ona przyspieszenie ujemne. Wielkość tej siły określić możemy z obliczeń lub też doświadczalnie, lecz wielkość ta nie wystarcza jeszcze do określenia straty szybkości. Wiadomo, że jeśli siłę przyłożyć do przedmiotu lekkiego, to szybkość

¹ Autor pomija tu wpływ spadku temperatury; jeśli ten spadek uwzględnić, to spadek oporu powietrza wyniesie nie 2, lecz 1,8 (przypp. tłum.).

jego można zmienić prędko; zmiana szybkości przedmiotu cięższego następuje trudniej. Np. lecąca piłka nożna może być łatwo przez gracza zatrzymana, podczas gdy kula drewniana o wymiarach piłki, przy zatrzymaniu może spowodować poważne nawet urazy. Zgodnie z prawem mechaniki, przyspieszenie, jakie nadać może pewna siła, jest odwrotnie proporcjonalne do masy ciała; ponieważ ciężar jest proporcjonalny do masy ciała, to przyspieszenie nadane przez pewną siłę jest odwrotnie proporcjonalne do ciężaru ciała.

Jeśli jednak poszczególne rodzaje pocisków mają różne ciężary i odmienne wymiary, istnieje trudność porównania ich z punktu widzenia działania na nie siły oporu powietrza. Dlatego też ciężar pocisku należy odnieść do jednostki przekroju poprzecznego. Wówczas otrzymujemy możliwość takiej oceny, jakbyśmy mieli do czynienia z pociskami o jednakowym przekroju, równym jednostce powierzchni.

Ciężar pocisku przypadający na jednostkę powierzchni przekroju poprzecznego nazywamy *obciążeniem przekroju pocisku*.

Wielkość obciążenia przekroju otrzymujemy dzieląc ciężar jego przez powierzchnię przekroju poprzecznego

$$\frac{q}{\left(\frac{\pi d^2}{4}\right)} \quad \dots \quad (7)$$

gdzie q ciężar pocisku, d kaliber.

Porównajmy dane lekkiego i ciężkiego pocisku o kalibrze 7,62 mm.

Wzór pocisku	Kaliber w mm	Szybkość początkowa	Ciężar pocisku w gramach	Obciążenie przekroju	Doność największa w m
Pocisk lekki wz. 1908 r.	7,62	860	9,6	20	ok. 3500
Pocisk ciężki wz. 1930 r.	7,62	800	11,7	25	ok. 5100

Mimo mniejszej szybkości początkowej pocisk ciężki ma większą doność, dzięki większemu obciążeniu przekroju.

To dziwne, na pierwszy rzut oka, zjawisko zachodzi dlatego, że pocisk ciężki, dzięki większemu obciążeniu przekroju, traci

mniej szybkości w ciągu swej drogi, niż pocisk lekki; dlatego też bardzo prędko, w przybliżeniu na 500 m, szybkości obydwóch wzorów pocisków stają się równe, a na dalszej drodze pocisk ciężki ma już przewagę szybkości.

Z powyższego porównania staje się jasne, że pocisk lekki otrzymuje ogromne przyspieszenie ujemne wskutek niewielkiego obciążenia przekroju.

Ciężki pocisk otrzymuje mniejsze przyspieszenia ujemne, dlatego też idzie dalej, mimo mniejszej szybkości początkowej. Z tego wynika również, że korzystne jest wydłużenie pocisku, jeśli tylko ma on zapewnioną prawidłowość lotu, zrozumiałe jest również dlaczego stosowane są teraz wyłącznie pociski wydłużone, a nie kuliste.

Ciężar pocisku wzrasta, w przybliżeniu, proporcjonalnie do jego objętości, a objętość, jak wiadomo, wzrasta proporcjonalnie do trzeciej potęgi jego wymiarów. W tym samym stosunku do wymiarów wzrastać będzie i ciężar. Jeśli kaliber broni zwiększymy dwukrotnie, to ciężar pocisku wzrośnie ośmiokrotnie (czyli 2^3).

Przekrój poprzeczny wzrasta proporcjonalnie do drugiej potęgi, czyli że przy podwojeniu kalibru przekrój poprzeczny wzrośnie czterokrotnie.

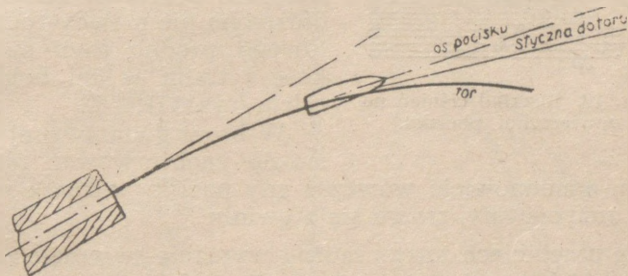
Zatem, ciężar pocisku wzrasta w stosunku do sześciangu kalibru, a przekrój poprzeczny w stosunku do kwadratu kalibru. Dlatego też, większy pocisk będzie miał zawsze większe obciążenie przekroju niż pocisk mały, a przyspieszenia ujemne przy większych pociskach będą mniejsze, niż przy pociskach małych. Tym się tłumaczy, że donośności maksymalne, mimo równorzędnych co do wielkości szybkości początkowych, będą różne. Wynoszą one

dla pocisku 7,62 mm lekkiego	około 3500 m,
dla pocisku 7,62 mm ciężkiego	około 5100 m,
dla pocisku 13 mm	około 7000 m,
dla pocisku 76 mm działa przeciwlotn.	
Boforsa przy $v_0 = 845$ m/sek	16000 m.

§ 9. Ruch obrotowy pocisku i zboczenie.¹ Przypuśćmy że pocisk nie ma ruchu obrotowego. Wówczas obniżając się na torze dążyłby do zachowania tego kierunku osi, jaki miał

¹ Często zamiast „zboczenie” używany jest w balistyce termin niewłaściwy — derywacja (przyp. tłum.).

w chwili wypuszczenia z lufy, czyli równoległego do osi lufy. Szybkość ma w każdym punkcie toru, kierunek styczny do toru, wobec czego, oś pocisku tworzyłaby w miarę obniżania się coraz większy kąt z kierunkiem szybkości (rys. 10). Skutek byłby taki, że pocisk posuwałby się naprzód nie tylko swą częścią przednią, lecz częściowo i swą powierzchnią boczną.



Rys. 9. Ruch pocisku po wylocie z lufy.

Dlatego też rozkład ciśnienia powietrza na powierzchnię pocisku byłby taki, jak wskazuje rys. 10.

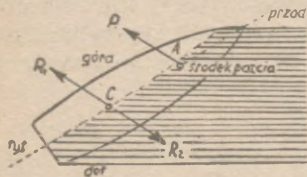
Z rys. 10 widzimy, iż część przednia pocisku jest w większym stopniu poddana działaniu ciśnienia powietrza, niż część bliższa do dna; z prawej i z lewej strony osi pocisku ciśnienie rozkłada się jednakowo, lecz część dolna powierzchni pocisku jest przy tym ustawieniu większa od części górnej. Siła oporu powietrza jest wskutek tego przesunięta do przodu, bliżej czoła pocisku, i skierowana z dołu do góry, a kierunek jej nie jest zgodny z osią pocisku. Jak wynika z obliczeń teoretycznych i z doświadczeń, jest ona skierowana do tyłu i do góry, tworząc pewien kąt z osią pocisku. Przesuńmy punkt przyłożenia tej siły na oś pocisku.

Punkt przyłożenia siły oporu powietrza R na osi pocisku nazywamy *środkiem parcia*;² środek parcia leży przed środkiem ciężkości.

Aby wyjaśnić, jaki efekt wywiera przesunięcie do przodu środka parcia, przyłożmy do środka ciężkości dwie przeciwne

² Lub też punktem zaczepienia siły oporu powietrza (przyp. tłum.).

siły R_1 i R_2 równe co do wielkości sile oporu powietrza i równoległe do niej. Siły R i R_2 tworzą parę sił o ramieniu AC , równym odległości od środka ciężkości do środka parcia; para ta dąży do przewrócenia pocisku w tył.

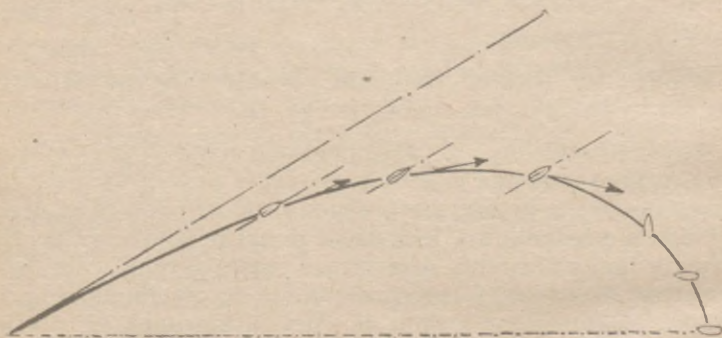


Rys. 10. Rozkład ciśnień na powierzchni pocisku.

Zjawisko to zachodzi w rzeczywistości; pocisk o kształcie wydłużonym nie mający ruchu obrotowego, prędko traci swą szybkość i trafia w cel bokiem lub tyłem (rys. 11).

W broni gwintowanej również można zaobserwować takie zjawisko, a mianowicie wówczas gdy pocisk, wskutek nadmiernego zużycia lufy, zrywa się z gwintu.

Na przebiegach tarczy można wyraźnie stwierdzić zarys powierzchni bocznej pocisku (są to tzw. skośniki).



Rys. 11. Wzrost kąta pomiędzy osią pocisku nie obracającego się a kierunkiem ruchu (styczną do toru).

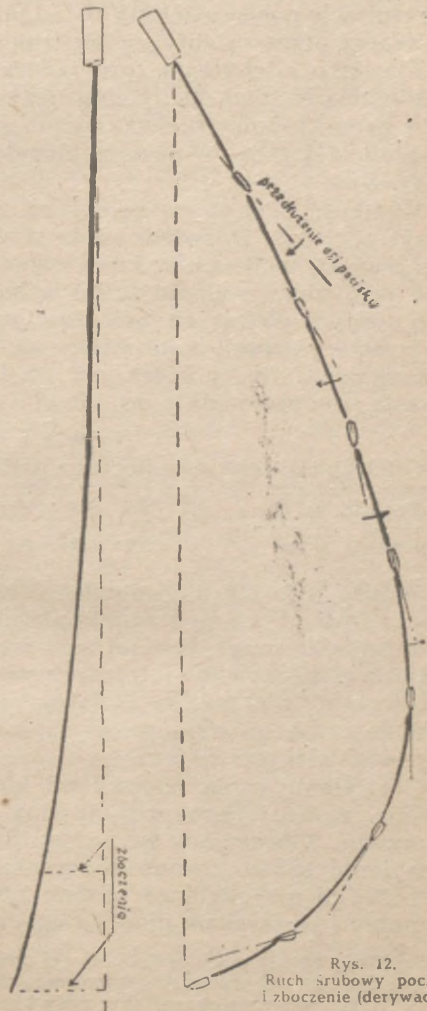
Para sił przewracająca pocisk jest tym większa, im większe jest jej ramię, czyli odległość od środka ciężkości do środka parcia. Odległość ta wzrasta w miarę wydłużenia pocisku, zaostrenia części głowicowej oraz ulżenia przedniej części pocisku.

Koziółkowanie pocisku na torze powoduje znaczne zmniejszenie donośności, gdyż powierzchnia wystawiona na opór powietrza wzrasta; zmniejszenia donośności nie da się ściśle

określić; wskutek nieprawidłowości lotu powstają uchylenia boczne i wszystko razem wzięte składa się na zmniejszenie celności. Siła R_1 (rys. 10) wywiera również swój wpływ, hamuje ona ruch naprzód oraz stwarza jakby siłę nośną, zmieniającą działanie siły ciężkości. Pocisk inaczej opuszcza się w czasie lotu na swym torze, niż ciało spadające swobodnie i dlatego też w § 6 wspomnieliśmy, że zastosowanie wzoru z mechaniki do obliczenia obniżenia pocisku ma charakter przybliżony.

Dla zapewnienia stateczności pocisku na torze nadaje się mu ruch obrotowy za pomocą gwintów w przewodzie lufy (§ 4).

Obracający się pocisk nie poddaje się działaniu przewracającemu pary sił RR_2 (rys. 10), powstałej na skutek oporu powietrza (tak jak bąk nie przewraca się pod działaniem własnego ciężaru). Wypadkowa działania dwóch par sił — pary obracającej pocisk i pary przewracającej pocisk powoduje to, że szczyt pocisku opisuje niewielkie kółka w stronę prawą (przy gwincie prawoskrętnym), idąc po spirali nawiniętej na tor; pocisk jednak zachowuje swe położenie i stale idzie ostrzem ku przodowi (rys. 12)



Rys. 12.
Ruch śrubowy pocisku i zboczenie (derywacja).

Spirale, opisywane przez szczyt pocisku w miarę tego, jak tor staje się coraz bardziej stromy, coraz bardziej rozszerzają się w prawo, gdyż działanie przewracające pary RR_z maleje. W rezultacie pocisk odchyła się od płaszczyzny pionowej, przechodzącej przez oś lufy, w kierunku prawym.¹

Zjawisko odchylenia toru pocisku od płaszczyzny strzału oraz wielkość tego odchylenia nazywamy *zбочeniem*.

A zatem tor pocisku zakrzywia się nie tylko w płaszczyźnie pionowej, lecz i w poziomej, czyli jest krzywą o podwójnej krzywiznie.

Wielkość odchylenia zależy od ilości kótek, jaką zatoczy szczyt pocisku. Doświadczalnie stwierdzono, iż szybkość obrotu pocisku spada stosunkowo nieznacznie, podczas gdy szybkość jego ruchu naprzód spada w bardzo dużym stopniu. Dlatego też na większych odległościach, odchylenia występują znacznie wyraźniej, ponieważ na dalszych odcinkach toru pocisk zatacza więcej kótek niż na bliższych. Zбочenie nie wzrasta proporcjonalnie do odległości, lecz znacznie szybciej.

Tabela 1

Odchylenie lekkiego pocisku pod wpływem zбочenia

Odległość w m	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Zбочenie w m	0,1	0,2	0,3	0,4	0,8	1,5	2,7	4,3	6,4

Wobec tego, że dla odległości 1000 m odchylenie wynosi 0,4 m i że w obecnym stanie konstrukcji celowników do strzelania w locie uwzględnić się tego nie da, przy strzelaniu z karabinów maszynowych lotniczych wielkości zбочenia w ogóle nie bierzemy pod uwagę. Zwiększenie odległości strzelania do 2000 m i więcej wymagałoby już uwzględnienia zбочenia, gdyż dochodzi ono do 7 m.

Odchylenie czoła pocisku od kierunku stycznej jest niewielkie, wobec czego przyjmujemy, że pocisk leci szczytem do przodu. Obracający się pocisk idąc po torze jest stateczny; odchylenie spowodowane zбочeniem stwarza pewną niedogodność, co nie odgrywa jednak istotnej roli, gdyż wielkość tę znamy i w zasadzie moglibyśmy ją uwzględnić.

Szybkość obrotu pocisku dookoła osi powinna być tak obrana, by odpowiadała momentowi przewracającemu pary. Efekt spowodowany zbyt powolnym obrotem, może się okazać zbyt mały i nastąpi przewrócenie się pocisku. Pocisk długi, w którym odległość od środka ciężkości do środka parcia jest znaczna, powinien obracać się szybciej, niż krótki, w którym ta odległość jest

¹ W broni angielskiej, francuskiej i włoskiej, gwinty są lewoskrętne, a więc odchylenie pocisku od płaszczyzny strzału odbywa się w lewo.

mniejsza. Dla zwiększenia szybkości obrotu gwinty muszą być bardziej strome, lecz może to sprzyjać zrywaniu się pocisku z gwintu; dlatego też nie konstruuje się pocisków dłuższych niż 5 kalibrów. Aby zapobiec zrywaniu się pocisków z gwintu, można zwiększać stopniowo kąt skreśu; są to tzw. gwinty o skręcie postępowym. Jednak wobec trudności produkcyjnych, gwinty o skoku zmiennym znajdują zastosowanie tylko w konstrukcjach artyleryjskich oraz w niektórych karabinach¹.

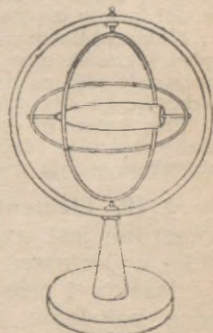
Zbyt szybki obrót pocisku krótkiego jest szkodliwy, gdyż oś jego zachowuje prawie stały kierunek przy ruchu na torze, równoległy do osi broni; stateczność jest tu zachowana, lecz opór powietrza wzrasta. Moment przewracający pary sił oporu powietrza jest zjawiskiem niekorzystnym, lecz nie zawsze celowe będzie jego osłabienie. Wyobraźmy sobie, że ramię pary jest równe zeru, czyli że środek leży w środku ciężkości pocisku; wówczas pocisk jest w równowadze obojętnej w stosunku do siły oporu powietrza, a więc pocisk może zajmować różne położenia na torze, niezależnie od działania tej siły. Pocisk więc mógłby lecieć w położeniu równoległym do osi lufy, a jeśli jakieś przypadkowe działanie warstwy powietrza ustawiło go w położeniu prostopadłym, to leciałby dalej stojąc prostopadłe.

Taki lot pocisku nie byłby korzystny, ponieważ nie zapewniałby jego ruchu szczytem do przodu. Jeśli konstrukcja pocisku nie zapewnia dostatecznego ramienia pary, to wówczas sztucznie przesuwamy się środek ciężkości ku tyłowi; używa się to zwykle przez ulżenie części przedniej. Na przykład w angielskim pocisku karabinowym szczyt pocisku napęczniony jest lekkim metalem.

Do pokazania działania sił na ciało bęące w ruchu obrotowym służy specjalny przyrząd, zwany żyroskopem (rys. 13). Składa się on z nieruchomego pierścienia, w którym osadzony jest drugi pierścień, obracający się dookoła osi pionowej, w nim zaś z kolei osadzony jest trzeci pierścień, obracający się dookoła osi poziomej. W pierścieniu poziomym obraca się tarczka dookoła drugiej osi poziomej, prostopadłej do osi tego pierścienia. Oś tarczki można wprawić w szybki ruch obrotowy za pomocą sznurka. Jeśli tarczka obraca się w kierunku wskazówki zegara, to pchnięcie przedniego jej końca z dołu do góry spowoduje odchylenie jej osi w prawo; pchnięcie z lewej strony nachyla oś w dół; pchnięcie z góry w dół odchyła oś w lewo, jednym słowem, zaobserwować tu można wszystkie zjawiska zachodzące przy ruchu pocisku.



Rys. 14. Rozkład ciśnienia przy strzeleniu w górę.



Rys. 13. Żyroskop z modelem pocisku.

Zjawisko zachodzące przy locie pocisku. Doświadczenie to przedstawić można w sposób jeszcze bardziej poglądowy, jeśli zastąpimy tarczkę modelem pocisku; wówczas zamiast wykonywania pchnięć, można skierować na model prąd powietrza. Otrzymamy tu wszystkie zjawiska, zachodzące przy locie pocisku.

Często powstaje pytanie, jak poeci pocisk wypuszczony pionowo do góry. Z rys. 14 widzimy, że opór powietrza działa wzdłuż osi pocisku, a momentu przewracającego tu nie będzie. Po dojściu do swego pułapu, pocisk zatrzyma się na chwilę, po czym zacznie spadać w dół zachowując swe położenie, czyli szczytem do góry, teoretycznie powinien on upaść w to samo miejsce, z którego

¹ Jak np. w karabinach włoskich — (przyp. tłum.).

był wypuszczony. Zjawisko zboczenia tu nie zachodzi, gdyż nie ma tu momentu przewracającego. W rzeczywistości jednak pocisk nie może upaść w to samo miejsce, gdyż wiatr odchyli go w bok. Wskutek powolnego ruchu pocisku w górnej części swej drogi, gdzie wiatr jest zawsze silniejszy niż przy ziemi, znoszenie pocisku będzie znaczne (dla wiatru o średniej sile wyniesie to około 0,5 km). Prawidłowość lotu przy strzale w górę zostaje naruszona; pocisk zaczyna się opuszczać częścią denną w dół lecz w drodze stopniowo przewraca się.

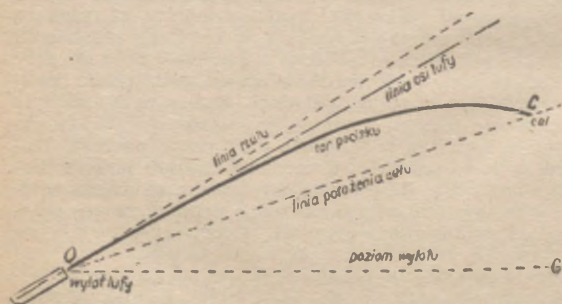
Nieprawidłowy ruch pocisku otrzymujemy również przy kątach 85° — 90° , gdyż kierunek siły oporu powietrza jest jeszcze bardzo zbliżony do osi pocisku i nie ma należytego, wzajemnego oddziaływania momentu przewracającego siły oporu i momentu powodującego ruch obrotowy.

Przy kątach 70° — 60° w punkcie wierzchołkowym toru, pocisk zdoła zachować stateczność i leci w części opadającej toru szczytem naprzód. Zjawisko zboczenia w tym wypadku występuje już prawidłowo.

§ 10. Elementy toru pocisku. Położenie toru pocisku wyznaczone jest względem pewnych punktów i linii, przyjętych jako wyjściowe.

Punkty i proste, których właściwości są znane, wyznaczające położenie toru względem broni oraz względem celu, zwiemy *elementami toru*. Jako początek toru przyjmujemy punkt wylotu, czyli środek wylotu lufy (§ 2 i 6). *Torem pocisku* zwie się krzywa, jaką opisuje przy locie środek ciężkości pocisku.

Broń może posiadać również i inne punkty, które przyjmujemy jako wyjściowe; na przykład przy rozważaniu zagadnień celowania, bierze się pod uwagę punkt środkowy celownika. Jeśli pominąć wymiary broni, to samą broń określić można jako punkt początkowy toru, co częstokroć stosuje się w praktyce.



Rys. 15. Elementy toru pocisku — linie.

W rozważaniu niniejszym brać będziemy jako punkt początkowy — punkt wylotu O ; przeprowadzmy przez niego płaszczyznę poziomą, będzie ona przechodziła przez prostą OG (rys. 15).

Płaszczyznę poziomą, przechodzącą przez jakikolwiek punkt broni przyjęty jako wyjściowy, zwiemy *poziomem*

wylotu. Prosta OG jest śladem tej płaszczyzny (na płaszczyźnie rysunku) i nazywa się *podstawą toru*.

Poziom wylotu jest podstawą, w stosunku do której wykonuje się wszelkie pomiary; kierunek w górę od poziomu broni przyjmujemy jako kierunek dodatni, kierunek w dół będzie ujemny.

Elementy toru — linie. Rozpatrzmy teraz linie, charakteryzujące tor.

Prosta łącząca wylot lufy i cel, zwie się *linią położenia celu*. Jeśli skierujemy broń na cel, tak by przedłużenie osi przewodu lufy przeszło przez cel i damy strzał, to przy odległościach praktycznych trafienia nie otrzymamy. Jak wiadomo z § 6, pocisk zaraz po wylocie zaczyna się obniżać pod wpływem siły ciężkości. W każdym wypadku wszystkie punkty toru leżąc będą poniżej przedłużenia osi lufy w chwili strzału; pocisk więc przy takim wycelowaniu, o którym wspomnieliśmy wyżej, przejdzie pod celem.

Aby trafić w cel należy lufę podnieść pod pewnym kątem i wystrzelić pocisk o tyle wyżej, aby po uwzględnieniu zjawiska obniżenia przeszedł on przez pewien określony punkt. Jeśli broń zajmuje położenie, które odpowiada rażeniu celu, to mówimy, że broń jest wycelowana. Oś przewodu lufy ma wówczas pewien ściśle określony kierunek.

Przedłużenie osi przewodu lufy wycelowanej zwie się *linią osi lufy*.

W chwili strzału, pod wpływem działania gazów i innych czynników (np. drgania lufy), broń zmienia nieco swe położenie, wskutek czego pocisk wylatuje nie wzdłuż linii osi lufy, lecz wzdłuż innej prostej, która jest początkowym kierunkiem lotu pocisku po opuszczeniu lufy.

Przedłużenie początkowego kierunku lotu pocisku nazywa się *linią rzutu*. (Jest to styczna do toru pocisku w jego punkcie początkowym).

Linia rzutu tworzy pewien kąt z linią osi lufy i może leżeć powyżej lub poniżej linii osi lufy, zależnie od konstrukcji broni, a przede wszystkim od rozkładu mas lufy. Przy strzale z karabina z bagnetem na przykład, linia rzutu opuszcza się, przy strzale zaś z karabina bez bagnetu, linia ta podnosi się.

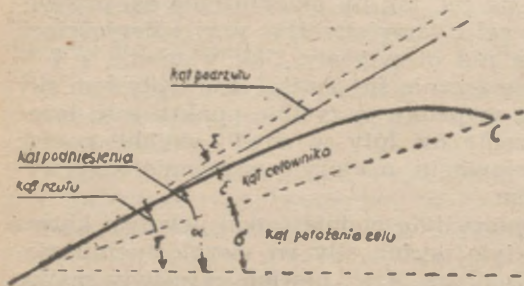
W k.m. lotniczych ruchomych, linia rzutu leży nieco powyżej linii osi lufy.

Elementy toru — kąty. Przechodzimy do określenia kątów, jakie tworzą opisane wyżej linie (rys. 16).

Kąt pomiędzy poziomem wylotu i linią położenia jest *kątem*

położenia celu. Kąt ten zależy od położenia, jakie zajmuje cel. Kąt położenia może być dodatni lub ujemny; w pierwszym wypadku cel leży nad poziomem broni, w drugim zaś pod poziomem. Kąt położenia zmienia się w granicach od 0° do $+90^\circ$, wynosi on 0° , gdy cel znajduje się na poziomie broni, $+90^\circ$ gdy cel jest na pionie w górze, -90° gdy cel jest pionowo w dół, czyli pod strzelcem.

Kąt pomiędzy linią położenia a linią osi lufy nazywa się *kątem celownika*. Nazwa ta pochodzi stąd, że kąt ten nada-



Rys. 16. Elementy toru — kąty.

jemy broni za pomocą celownika (będzie to omówione bardziej szczegółowo dalej w § 13). Zadaniem kąta celownika jest także skierowanie osi przewodu lufy powyżej celu, by skompensować obniżenie pocisku na torze

i uzyskać przejście jego przez określony z góry punkt. Obniżenie pocisku na torze, jak sama nazwa wskazuje, zawsze jest kierowane w dół, z czego wynika, że kąt celownika zawsze będzie dodatni.

Kąt pomiędzy linią osi lufy a linią rzutu jest *kątem podrzutu*. Kąt ten może być dodatni lub ujemny w zależności od tego, w jakim kierunku zmienia swe położenie przy strzale, oś przewodu. Kąt podrzutu jest dodatni, jeśli linia rzutu leży ponad linią podniesienia, jeśli zaś linia rzutu leży poniżej linii podniesienia, to kąt ten jest ujemny.

Ruchome k. m. mają kąt podrzutu dodatni. Dla k. m. wzór D.A. kąt podrzutu wynosi $+6'$, czyli 1,7 tysięcznych.

Na ogół kąty podrzutu bywają małe: dla kb z bagnetem — $5'$, dla k. m. Maxim $+1'$, a dla k. m. lotniczego, wzór P. W. 1, zamocowanego na samolocie, przyjmuje się kąt podrzutu jak > 0 .

Suma kątów położenia i celownika stanowi *kąt podniesienia*.

Jak widać na rys. 15, kąt podniesienia zawarty jest pomiędzy poziomem wylotu i linią osi lufy. Kąt ten może być dodatni lub ujemny, zależnie od znaku i wartości bezwzględnej kąta położenia. Na przykład przy kącie położenia równym —

40° i kącie celownika 2° (zawsze dodatnim) kąt podniesienia wynosi 2° — 40° = — 38°.

Kąt podniesienia ujemny nazywa się *kątem depresji* (rys 17).

Sumę algebraiczną kątów tworzących kąt podniesienia wyrazić możemy wzorem:

$$\angle \text{podniesienia} = \angle \text{celownika} \pm \angle \text{położenia} \quad (8)$$

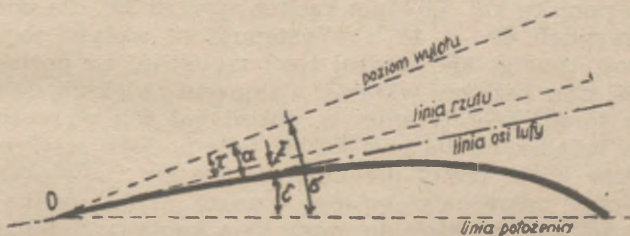
Kąt pomiędzy poziomem wylotu a linią rzutu jest *kątem rzutu*. Składa się on z sumy trzech kątów: położenia, celownika i podrzutu; można również określić go jako sumę dwóch tylko kątów: podniesienia i podrzutu. Kąt ten może być dodatni lub ujemny, zależnie od wielkości i jego znaków składowych.

Suma algebraiczna kątów tworzących kąt rzutu wyraża się wzorem:

$$\begin{array}{l} \angle \text{rzutu} = \angle \text{celownika} + \angle \text{położenia} + \angle \text{podrzutu} \\ \text{lub} \\ \angle \text{rzutu} = \angle \text{podniesienia} + \angle \text{podrzutu} \end{array} \quad (9)$$

Broń wycelowana przed strzałem ma kąt podniesienia, w czasie strzału zaś kąt rzutu.

Jeśli cel leży na poziomie, kąt położenia równy jest zeru, a linia położenia zlewa się z poziomem broni. Jeśli kąt podrzutu jest równy zeru, to linia rzutu jest zarazem linią osi lufy, a kąt podniesienia równa się kątowi rzutu.



Rys. 17. Elementy toru przy ujemnym kącie rzutu.

Aby zmierzyć odchylenia boczne, należy przez oś wylotu przeprowadzić płaszczyznę pionową. Ponieważ oś ta może mieć dwa różne położenia, a mianowicie

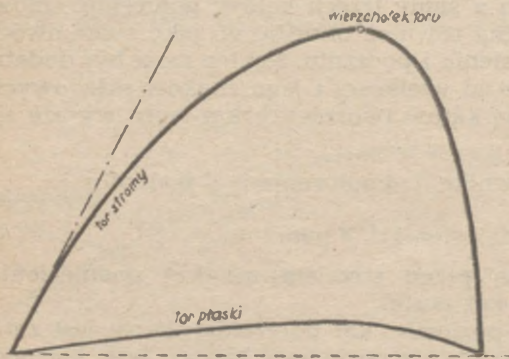
1. przed strzałem wzdłuż linii osi lufy,
2. w chwili strzału wzdłuż linii rzutu,

to płaszczyzna pionowa może mieć również dwa położenia.

1. Płaszczyzna pionowa, przechodząca przez linię osi lufy przed strzałem jest *płaszczyzną strzału*.

2. Płaszczyzna pionowa przechodząca przez linie rzutu w chwili strzału jest *płaszczyzną rzutu*.

Tory płaskie i strome. Przejdźmy do rozpatrzenia kształtu toru oraz charakterystycznych jego punktów. Ze zwiększeniem kąta rzutu pocisk idzie coraz wyżej, wobec czego, chwila jego upadku na ziemię staje się coraz bardziej oddalona, a zarazem zwiększa się donośność.



Rys. 18. Dwa tory odpowiadające tej samej donośności.

Odległość ta wzrasta tylko do pewnej wielkości kąta rzutu, po przekroczeniu której dalsze zwiększenie powodować będzie już zmniejszenie donośności.

Kąt podniesienia, któremu odpowiada największa donośność, nazywamy *kątem największej donośności*.

Dla pocisku kal. 7,62 mm kąt ten wynosi 30° , dla pocisków artyleryjskich 40° — 44° .¹ Występuje tu wpływ obciążenia przekroju; pocisk kb. prędzej traci szybkość, niż pocisk artyleryjski, czas przelotu wzrasta, a zarazem zwiększa się opadanie na torze. Teoretycznie, w próżni kąt ten wynosiłby 45° i byłby jednakowy dla pocisku kb. i dla pocisku artyleryjskiego. Przy kącie rzutu, przekraczającym kąt największej donośności, w miarę dalszego jego wzrostu, punkt upadku pocisku przybliżać się będzie do broni. Przy kącie rzutu 90° , donośność będzie równa 0 (w rzeczywistości jednak wiatr znosić będzie pocisk, wobec czego tor ulegnie skrzywieniu). Donośności przy wzroście kątów powyżej kąta największej donośności maleją dlatego, że pocisk wznosząc się stromo w górę ma małą szybkość przesuwu poziomego i w rezultacie całkowity przesuw poziomy wypada mniejszy. W chwili zaprzestania ruchu w górę i rozpoczęcia stromego opadania, pocisk zachowuje jeszcze resztkę szybkości ruchu naprzód, wskutek

¹ Dla dział bardzo dalekostrzelnych kąt ten przekracza nawet 45° , dochodząc do 55° ; wtedy pocisk porusza się już w stratosferze (przyp. tłum.).

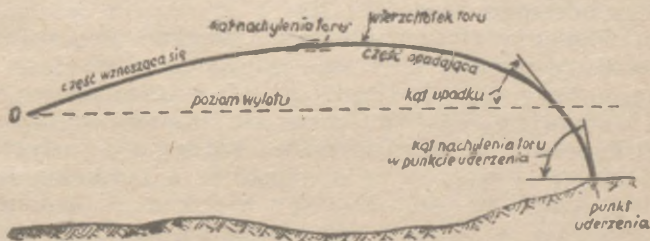
czego tor jego, po przejściu przez punkt zwrotny, nie będzie prostą pionową lecz pewną stromą krzywą.

Najwyższy punkt na torze zowie się *wierzchołkiem toru*.

Część toru od jego początku aż do wierzchołka jest częścią *wznoszącą* się, a od wierzchołka do punktu upadku częścią *opadającą* (rys. 19).

Tory, przy kątach rzutu nie przekraczających kąta największej donośności, zwiemy torami *płaskimi*, przy kątach zaś przekraczających kąt największej donośności — torami *stromymi*.

Dla skutecznego ognia z k. m. i armat wykorzystywane są w całości tylko tory płaskie, gdyż one zapewniają należyłą celność. Przy torach stromych, wykorzystuje się tylko część wznoszącą się, dalszy bowiem lot pocisku jest już powolny i daje znaczne odchylenia. Szybkości lotu pocisku w części



Rys. 19. Elementy toru.

wznoszącej się są zawsze wyższe, niż w części opadającej, co dzieje się na skutek wpływu oporu powietrza. W części opadającej zachodzi pewien wzrost szybkości pocisku, spowodowany opadaniem, lecz jest on przy pociskach karabinowych znikomy w porównaniu ze stratami, jakie zaszły pod wpływem oporu powietrza.

W k. m. wzór P. W. 1 przez czas lotu równy 1 sekundzie, szybkość maleje z 860 m/sek do 470 m/sek, czyli o 390 m/sek. Część opadająca jest zawsze bardziej stroma i krótsza od części wznoszącej się.

Wierzchołek toru leży w odległości mniej więcej $\frac{3}{5}$ donośności od punktu wylotu.

Przy torach stromych pocisk w pobliżu wierzchołka kończy ruch do góry, mając pewną szybkość poziomą (od 10 do 100 m/sek, przy kątach rzutu 85° do 40°); przy ruchu w dół ze względu na dość znaczny czas, pocisk zdąży wydatnie zwiększyć szybkość (do 100 — 125 m/sek).

Jednak szybkości w części opadającej są zawsze mniejsze niż w części wznoszącej się.

Kąt, jaki tworzy styczna do toru w dowolnym jego punkcie z poziomem zwie się *kątem nachylenia toru*.

Punkt, w którym pocisk napotyka przeszkodę jest *punktem uderzenia*; kąt, jaki tworzy styczna do toru w punkcie uderzenia z poziomem jest *kątem nachylenia w punkcie uderzenia*.

W tabelach strzelniczych jako poziom, przyjmuje się poziom wylotu.

Punkt przecięcia się toru z poziomem wylotu zwie się *punktem upadku*. Kąt pomiędzy styczną do toru a poziomem w punkcie upadku jest *kątem upadku*.

§ 11. **Elementy toru pocisku względem celu.** Jak wiemy, punkt, w którym pocisk napotyka cel (przeszkodę) nazywa się *punktem uderzenia* (rys. 19 i 20).

Kąt pomiędzy styczną do toru a styczną do powierzchni przeszkody w punkcie uderzenia jest *kątem uderzenia*.

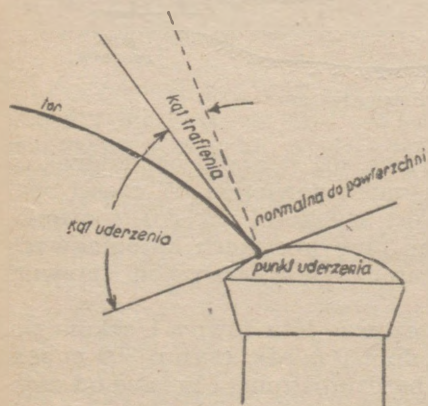
Czasem wygodniej jest zmierzyć odpowiedni kąt nie w stosunku do powierzchni celu lecz w stosunku do normalnej do tej powierzchni. W takim wypadku, kąt pomiędzy styczną do toru, a normalną do powierzchni w punkcie uderzenia, nazywa się *kątem trafienia*.

Odległość od punktu początkowego toru do punktu przecięcia się toru z linią położenia celu zwie się *odległością strzału*. Jako punkt początkowy przyjmuje się wówczas ten punkt broni, który uważany jest za wyjściowy, czyli punkt wylotu, pewien punkt na przyrządzie celowniczym itp. (§ 9).

Donośnością nazywamy odległość między punktem początkowym toru a punktem upadku.¹

Donośność wstrzelana jest to donośność, jaką uzyskano w wyniku wstrzelania się.

¹ Przy kącie położenia równym zeru odległość strzału jest równa donośności (przyj. tłum.).



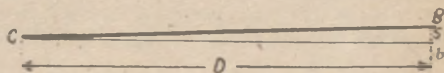
Rys. 20.
Elementy toru pocisku względem celu.

Odległość celownika jest to odległość odpowiadająca liczbie napisanej na celowniku; otrzymuje się ją jako iloczyn ilości podziałek celownika i wartości jednej podziałki w metrach (jeśli celownik ma takie podziałki).

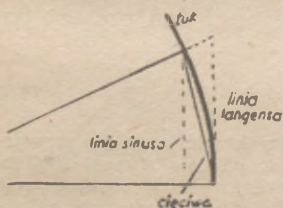
§ 12. Pomiar kątów w tysięcznych. Dla pomiaru kątów używa się pewnych jednostek kątowych. Zmierzyć dany kąt, jest to porównać wielkość jego z wielkością przyjętą za jednostkę, czyli określić, ile razy mieści się w kącie mierzonym przyjęta przez nas jednostka lub też jej część; otrzymana w wyniku podziału wielkość jest miarą kątową. W geometrii stosuje się pomiar kątów w stopniach. Stopień jest to jednostka kątowa, odpowiadająca $1/360$ części obwodu koła. Dalszym podziałem są minuty, których stopień zawiera 60; każda minuta dzieli się na 60 sekund.

Korzystniejsze jest jednak stosowanie takiej jednostki kątowej, która odtwarzałaby, w wyraźny sposób, stosunek pomiędzy długością łuku i promieniem (czyli odległością od wierzchołka kąta) oraz dzięki swej wielkości dawałaby możliwość pomiaru niewielkich kątów, spotykanych w zagadnieniach praktycznych (rys. 21).

Najwygodniejszą jednostką kątową jest kąt, dla którego stosunek długości łuku do odległości od wierzchołka wynosi



Rys. 21. Kąt, odpowiadający mu łuk i odległość od łuku do wierzchołka.



Rys. 22. Linie poprzeczne kąta.

$$\frac{S}{D} = \frac{1}{1000}$$

Kąt taki ze względu na pochodzenie jego wielkości zwie się „tysięczną”. Używa się tu również określenie „tysięczna rzeczywista” w odróżnieniu od „tysięcznej pomiarowej”, o której będzie mowa niżej.

Ponieważ w praktycznych zagadnieniach strzeleckich ma się do czynienia z pomiarem kątów bardzo małych, więc bez naruszenia dokładności pomiarów, można zamiast łuku brać jakąkolwiek wielkość do niego zbliżoną, jak: cięciwę, sinus lub tangens (rys. 22).

Przy obliczeniach bojowych odległość od wierzchołka kąta występuje przeważnie jako donośność, dlatego też wówczas

mówi się że: „tysięczna jest to kąt odpowiadający $\frac{1111}{1000}$ donośności”.

Prostsze określenie tysięcznej można sformułować również w ten sposób:

„Tysięczna jest to kąt, pod jakim widzi się metr z odległości kilometra”.

Jeśli stosunek $\frac{S}{D} = \frac{1}{1000}$, to kąt równa się 1 tysięcznej. Gdy stosunek $\frac{S}{D} = \frac{5}{1000}$ (rys. 23), to w kącie tym kąt jednostkowy tysięczna, mieści się 5 razy, czyli wynosi on 5 tysięcznych.



Rys. 23. Kąt zawierający 5 jednostek.

Ogólnie biorąc, dla określenia ile tysięcznych zawiera dany kąt należy stosunek $\frac{S}{D}$ pomnożyć przez 1000

$$\frac{5}{1000} \cdot 1000 = 5.$$

Otrzymaliśmy więc wzór dla określenia kąta w tysięcznych, w zależności od długości łuku (lub zbliżonej doń prostej poprzecznej) i odległości od wierzchołka

$$y = \frac{S}{D} \cdot 1000 \text{ tysięcznych} \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Przykład 3. Określić o ile tysięcznych trzeba skrócić k. m. dla przeniesienia punktu trafienia o 20 m w bok. Odległość od celu wynosi 2000 m.

Wielkość tego kąta określić można w drodze zwykłego rozumowania albo też ze wzoru. Dla rozwiązywania zagadnień praktycznych należy umieć znajdować kąt bez posługiwania się wzorem

1. Znajdźmy ten kąt, rozumując następująco: jednostka końcowa jest to kąt, któremu odpowiada łuk (lub też linia poprzeczna) równy $\frac{1}{1000}$

donośności. Dzielimy donośność przez 1000, otrzymamy $\frac{2000}{1000} = 2$; długość

łuku 2 m. Określamy ile razy w danym łuku równym 20 m mieści się łuk opowiadający 1 tysięcznej: $\frac{20}{2} = 10$.

Zatem poszukiwany kąt wynosi 10 tysięcznych.

2. Znajdźmy kąt ze wzoru (10)

$$\begin{aligned} \text{Dane: } S &= 20 \text{ m} \\ D &= 2000 \text{ m} \\ y &= ? \end{aligned}$$

Podstawiamy te wielkości do wzoru:

b

$$y = \frac{S}{D} \cdot 1000 = \frac{20}{2000} \cdot 1000 = 10 \text{ tysięcznych.}$$

Przykład 4. Przy celowaniu popełniono błąd katowy o wielkości 7 tysięcznych. Określić ile wyniesie odchylenie pocisków, jeśli dorośność równa się 1500 m.

Rozwiążmy najpierw zadanie posługując się rozumowaniem, później zaś stosując wzór.

1. Określamy wielkość łuku, odpowiadającego 1 tysięcznej

$$\frac{1500}{1000} = 1,5 \text{ m}$$

Ponieważ pociski zboczą o 7 tysięcznych, więc zboczenie liniowe wyniesie

$$1,5 \cdot 7 = 10,5 \text{ m}$$

2. Ze wzoru (10).

$$\begin{aligned} \text{Dane: } y &= 7 \text{ tysięcznych,} \\ D &= 1500 \text{ m,} \\ S &= ? \end{aligned}$$

Rozwiążemy wzór (10) względem S, podstawiając powyższe dane

$$S = \frac{y \cdot D}{1000} = \frac{7 \cdot 1500}{1000} = 10,5 \text{ m.}$$

Przykład 5. Za pomocą lornetki stwierdzono, że kąt odpowiadający rozpiętości skrzydeł samolotu nieprzyjaciela wynosi 20 tysięcznych. Nieprzyjacielski samolot bombardujący ma rozpiętość skrzydeł równą 40 m. Obliczyć odległość do samolotu.

1. Wielkość liniowa 40 m odpowiada wielkości katowej 20 tysięcznych, czyli 1 tysięczna odpowiada

$$\frac{40}{20} = 2 \text{ m.}$$

2 m — jest to łuk lub linia poprzeczna, równa $\frac{1}{1000}$ odległości.

Całkowita odległość wynosi więc

$$2 \cdot 1000 = 2000 \text{ m.}$$

$$\begin{aligned} \text{2. Dane: } y &= 20 \text{ tysięcznych,} \\ S &= 40 \text{ m,} \\ D &= ? \end{aligned}$$

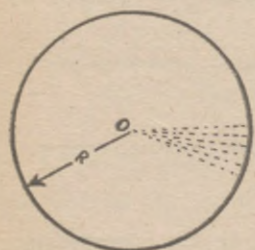
Rozwiązujemy wzór (10) względem D, podstawiając dane

$$D = \frac{S}{y} \cdot 1000 = \frac{40}{20} \cdot 1000 = 2000 \text{ m.}$$

Należy znać stosunek pomiędzy stopniem i tysięczną. Aby go określić, weźmy koło o promieniu $R = 1000 \text{ m}$. Długość obwodu koła wynosi $2 \pi R = 2 \cdot 3,14 \cdot 1000 = 6280 \text{ m}$.

Jeśli ze środka koła poprowadzimy promienie co każdy metr długości obwodu (rys. 24), to całkowity kąt środkowy podzielony zostanie na małe kąty, z których każdy wyniesie 1 tysięczną. Ile takich kątów zmieścimy? Kątów tych będzie tyle ile metrów ma obwód koła, czyli 6280. Każdy z tych kątów jest równy wielkości 1 tysięcznej, czyli cały kąt odpowiadający kołu zawiera 6280 tysięcznych. Przy rozmowaniu można zastosować dowolną długość promienia lecz na obwodzie zawsze należy odkładać $\frac{1}{1000}$ długości promienia, wówczas zawsze obwód koła zawierać będzie 6280 podziałek (przyjmując w przybliżeniu $\pi = 3,14$).

Jeśli stosować miarę w stopniach to obwód koła wynosi 360° , czyli



Rys. 24. Podział koła na jednostki kątowe

$$360^\circ = 6280 \text{ tysięcznych;}$$

$$1^\circ = \frac{6280}{360} = 17,45 \text{ tysięcznym,}$$

1 stopień równa się 17,45 tysięcznym;

$$1' = \frac{6280}{360 \cdot 60} = 0,291 \text{ tysięcznej,}$$

1 minuta równa się 0,291 tysięcznej;

$$1'' = \frac{6280}{360 \cdot 60 \cdot 60} = 0,005 \text{ tysięcznej,}$$

1 sekunda równa się 0,005 tysięcznej.

Dla przybliżonych obliczeń praktycznych przyjmuje się:

$$1^\circ = 17 \text{ tysięcznych,}$$

$$1' = 0,3 \text{ tysięcznych.}$$

Stosunek odwrotny wynosi

$$1 \text{ tysięczna} = \frac{60}{17,45} = 3,44' \text{ (minuty).}$$

W artylerii i zagadnieniach strzeleckich przy pomiarze kątów operuje się tysięcznymi.

Podziałka kątomierza podzielona jest dla uproszczenia pomiaru nie na 6280 części lecz na 6000 części¹; w tym przybliżeniu jedna podziałka kątomierza nazywa się „tysięczną pomia-

¹ W artylerii rosyjskiej stosowany jest podział na 6000, w artylerii polskiej, francuskiej (nowy sprzęt), austriackiej i niemieckiej podział na 6400, przy którym popełniony błąd wynosi 0,33 tysięcznych (przyp. tłum.).

rową" lub też po prostu podziałką kątomierza. Łatwo znaleźć błąd jaki tu popełniamy

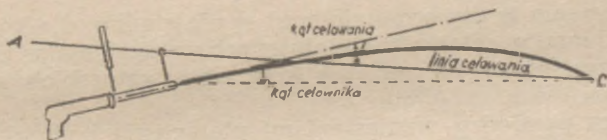
$$1^{\circ} = \frac{6000}{360} = 16,67 \text{ podziałki kątomierza.}$$

Poprzednio otrzymaliśmy, że 1 stopień wynosi 17,45 tysięcznych

$$17,45 - 16,67 = 0,78.$$

W obliczeniach praktycznych nie bierze się pod uwagę powstałej tu różnicy, przyjmując że 1 stopień równa się 17 tysięcznym (lub też 17 podziałkom kątomierza), 6000 podziałek kątomierza nazywamy również podziałkami małymi. 100 podziałek małych odpowiada jednej podziałce dużej. Obwód koła zawiera więc 60 podziałek dużych kątomierza (albo 64 podziałki duże) lub 6000 podziałek małych kątomierza. Przy pisaniu ilość podziałek dużych oddziela się od ilości podziałek małych kreską. Na przykład 4782 pisze się: 47 — 82; przy podawaniu komend mówi się: „krąg czterdzieści siedem, bęben osiemdziesiąt dwa”. Celowniczy wie, że chodzi tu o 47 dużych podziałek i 82 małe podziałki.

§ 13. Przyrząd celowniczy. Aby pocisk doleciał do celu należy broń ustawić pod kątem celownika (§ 10). Kąt ten musi



Rys. 25. Położenie linii celowania względem toru.

być ustawiony dość dokładnie; oblicza się go w minutach lub w tysięcznych, a dla nadania broni tego kąta, używa się tzw. przyrządów celowniczych. Przyrząd celowniczy w najprostszej swej postaci składa się z celownika (przeziernika lub szczerbiny) i muszki (rys. 25). Każdy z tych elementów daje pewien punkt (punkt celowniczy) na linii celowania, którego położenie można zmieniać stosownie do warunków strzelania.

Nadanie pewnego położenia punktom celowniczym względem osi lufy nazywamy *nastawieniem przyrządu celowniczego*.

Prosta, przechodząca przez środek celownika i środek muszki, przy ustawieniu broni w położeniu odpowiadającym oddaniu strzału, zwie się *linią celowania*.

Kąt, pomiędzy linią celowania a osią lufy, nazywa się *kątem celowania*. Kąt ten co do wielkości zbliżony jest do kąta ce-

lownika. Weźmy wypadek, gdy muszka jest z przodu, a szczerbina z tyłu; wówczas podnosząc szczerbinę, będziemy obniżali tył broni zwiększając tym samym kąt celownika. Ten sam rezultat otrzymamy obniżając muszkę, czego jednak nie stosuje się w praktyce, gdyż muszka jest bardziej oddalona od strzelca.

Założmy, iż ustawiliśmy celownik pod pewnym żądanym kątem (kątem celów); następnie tak manipulujemy bronią, by zobaczyć cel na linii celowania a wówczas oś lufy ustawi się pod określonym kątem celownika.

Urządzenia celownicze mogą mieć różną konstrukcję, zależnie od ich przeznaczenia. Karabin piechoty lub k. m. Maxim mają szczerbinę i muszkę trójkątną, k. m. lotnicze mają przeziernik pierścieniowy i muszkę kulkową.

Punktami celowniczymi w wypadku pierwszym są: środek szczerbiny i wierzchołek muszki, w drugim zaś: środek pierścienia i środek kulki. Istnieją również celowniki optyczne, które równocześnie z innymi typami celowników lotniczych opisane będą szczegółowo niżej.

Odległość środka pierścienia lub też środka kulki od osi lufy nazywamy *wzniesieniem pierścienia lub muszki ponad oś lufy*.

Wzniesienia te dla broni ziemnej są niewielkie: dla kb. wynoszą 18,5 mm; w celownikach lotniczych wzniesienia są znacznie większe: około 160 mm dla k. m. obserwatorskich, a 200 do 700 mm dla k. m. pilota.

Różnica pomiędzy wzniesieniami pierścienia i muszki nazywa się *wysokością celownika*.

Odcinek prostej łączący środki pierścienia i kulki muszki jest to *linia celownika*; linia celownika, jak wynika z określenia, jest przedłużeniem linii celowania.

Dla broni ziemnej linią celowania jest linia łącząca środek szczerbiny i wierzchołek muszki. Jeśli pierścień opuszczimy tak, że jego wzniesienie będzie równe wzniesieniu muszki, to linia celowania będzie równoległa do osi broni.

Linia celowania równoległa do osi broni jest zerową linią celowania.

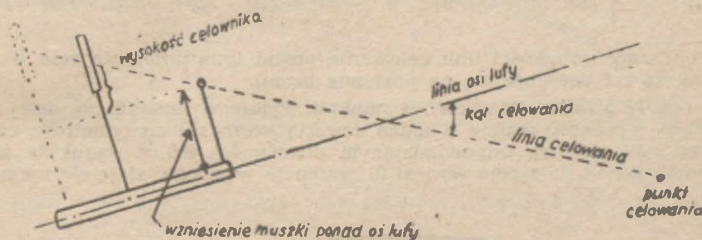
Jak wspomniano wyżej, dla otrzymania żadanego kąta celowania, należy nadać broni odpowiedni kąt celownika, otrzymany przez nastawienie celownika, czyli wzniesienie szczerbiny. Na rys. 26 widać, że przy tym samym kącie celownika mogą być stosowane różne wzniesienia, zależnie od długości linii celownika.

Wysokość celownika zależna jest od żądanego kąta celownika i długości linii celownika.

Ustawienie linii celownika wzdłuż linii celowania jest istotą czynności celowania.

Wycelowanie broni jest to nadanie jej położenia, odpowiadającego ustawieniu celownika. Punkt, na który skierowana zostaje linia celowania dla dania strzału, zwie się *punktem celowania*. Punkt celowania może leżeć w celu lub poza celem.

Do ustawienia żądanego kąta celownika w broni ziemnej lub broni lotniczej, służy podziałka w krokach lub setkach metrów (dla broni ziemnej) lub w metrach (dla broni lotniczej — działek lotniczych i ciężkich k. m. lotniczych). Podziałki



Rys. 26. Zależność wysokości celownika od długości linii celownika.

celownika odpowiadają zmianom odległości co 100 kroków lub co 100 m w broni ziemnej, a co 200 m w broni lotniczej (ze względu na szybką zmianę odległości przy strzelaniu do celów latających).

Ustawiając celownik według skali, nadajemy mu odpowiednie wzniesienie odpowiadające żądanej odległości. Celowniki k. m. lotniczych normalnych skali nie mają, a wysokość ich określa się przystrzeliwaniem. Przystrzeliwuje się k. m. lotnicze w chwili obecnej na 400 m.

§ 14. Wysokość toru. Strzelec, przy prowadzeniu ognia, patrzy na cel wzdłuż linii celowania, przy czym powinien wiedzieć, gdzie może znajdować się pocisk względem tej linii.

Odległość dowolnego punktu toru od linii celowania nazywa się *wysokością toru ponad linią celowania*. Jeśli chodzi o odległości poszczególnych punktów toru od linii położenia celu, to zwą się one *wysokościami ponad linią położenia celu*. Zarówno jedna jak i druga wysokość mogą mieć wartość dodatnią lub ujemną. Tabele strzelnicze dla k. m. lotniczych uwzględniają wysokość ponad linią celu, przy założeniu, że cel znajduje się na jednym poziomie z bronią. Wysokości w ten

sposób podane nazywamy *rzędnymi toru*. Aby z wielkości rzędnych toru otrzymywać wysokości ponad linią celowania, należy od rzędnych toru odjąć wysokości linii celowania ponad linią położenia celu.

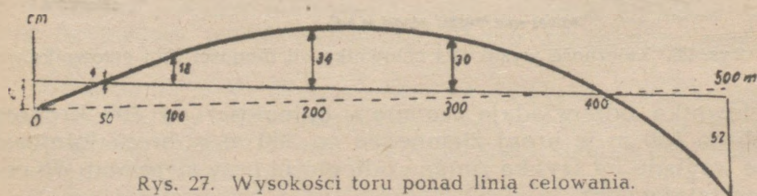
Przykład 6. Wzniesienie muszki ponad oś lufy wynosi w k. m. wzór D.A. 16 cm. Celownik przystrzelany jest na 400 m.

Tabele podają rzędne toru (w stosunku do linii celu, patrz dodatek 2). Wybieramy wiersz w tabelach, odpowiadający celownikowi 400 m.

Odległości w m	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Rzędne toru w cm	18	30	42	34	0	-66	-170	-320	-550	-850	-1290

Obliczamy wysokości linii celowania ponad linią położenia celu w założeniu, że cel znajduje się na poziomie broni).

Z rys. 27 wynika: wysokość w punkcie wylotu wynosi 16 cm, dalej zaś co 100 m wysokość maleje o jedną czwartą szesnastu centymetrów, czyli o 4 cm. W punkcie odpowiadającym donośności 400 m, wysokość linii celowania ponad linią celu wynosi 0, następnie wysokość staje się ujemna.



Rys. 27. Wysokości toru ponad linią celowania.

lecz bezwzględna wartość jej wzrasta o 4 cm co 100 m. Jest to najprostszy sposób obliczenia, lecz można również obliczyć dane, wychodząc z podobieństwa trójkątów.

Zestawmy następującą tabelkę:

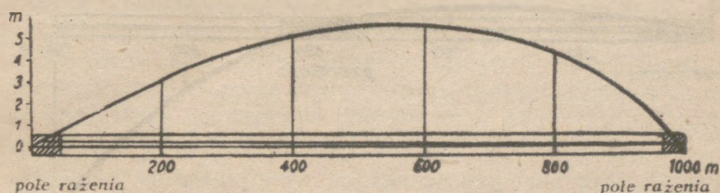
Odległość od strzelca w m	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Rzędne toru w cm	18	30	42	34	0	-66	-170	-320	-550	-850	-1290
Wysokości linii celowania po- nad linią celu w cm	14	12	8	4	0	-4	-8	-12	-16	-20	-24
Wykonujemy odejmowanie											
Wzniesienie to- ru ponad linią celowania w cm	4	18	34	30	0	-62	-162	-308	-534	-830	-1266

Strzelec powinien wiedzieć, na jakich częściach toru liczyć może na trafienie celu w wypadku prawidłowego wycelowania.

Przy strzelaniu ziemnym celuje się „pod cel”, czyli punkt celowania bierze się na dolnej krawędzi obiektu; przy strzelaniu w locie celuje się „w cel”, czyli w środek celu.

Wymiar głównego celu latającego, tj. samolotu, wynosi na wysokość około 1 m. Cel rażony będzie wówczas, jeśli tor nie oddali się od linii celowania na odległość większą niż 0,5 m w górę lub 0,5 m w dół.

Obszar, w którym tor nie wznosi się ponad cel i nie opuszcza się poniżej celu, zwie się *polem rażenia*.

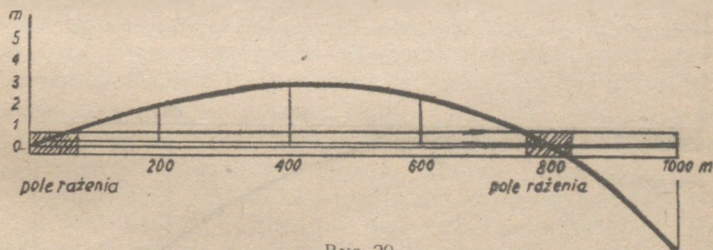


Rys. 28.

Położenie toru względem linii celowania przy przystrzelaniu na 1000 m

Im większe jest pole rażenia, tym lepiej, gdyż błędy w określeniu donośności mniej wpływają na celność.

Przy k.m. lotniczych celowniki stałe są ustawione na pewną określoną odległość strzału (czyli przystrzelane na tę odległość). Należy wybrać taką odległość przystrzelania, dla której pole rażenia byłoby jak największe.



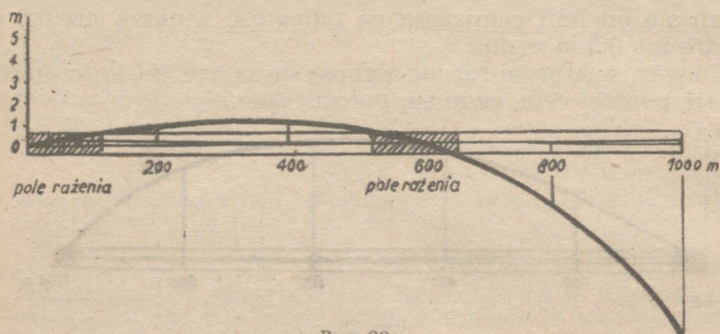
Rys. 29.

Położenie toru względem linii celowania przy przystrzelaniu na 800 m

Na rys. 28 — 31 podane są wykresy dla porównania przystrzelania k.m. na odległości 400, 600, 800 i 1000 m. Najkorzystniejsze jest przystrzelanie na 400 m, ponieważ daje ono jedno ciągłe pole rażenia dla odległości od 0 do 500 m.

Odległość, przy której tor nie wznosi się ponad cel ani nie opuszcza się poniżej celu, zwie się *odległością całkowitego pola rażenia*.

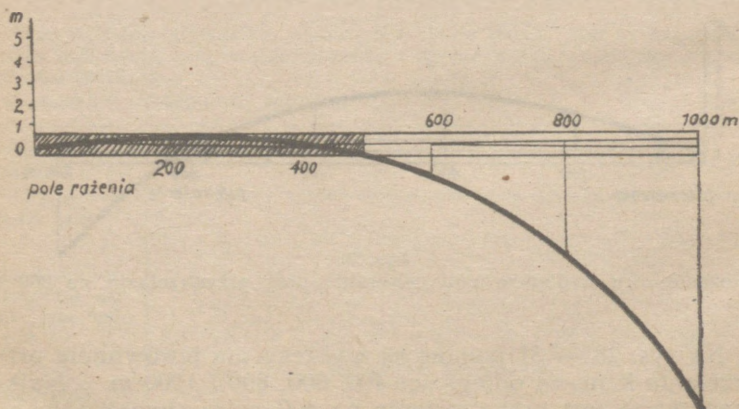
Pole rażenia i odległość całkowitego pola rażenia zależne są od wysokości celu; im wyższy jest cel, tym większe jest pole rażenia i tym większa jest odległość ognia bezpośredniego.



Rys. 30.

Położenie toru względem linii celowania przy przystrzelaniu na 600 m.

Dla k.m. lotniczych przestrzelanych na 400 m, odległość całkowitego pola rażenia wynosi 500 m. Warunki te odpowiadają strzelaniu ziemnemu przy kątach położenia nie przekraczających 30° .



Rys. 31.

Położenie toru względem linii celowania przy przystrzelaniu na 400 m.

Jeśli porównamy tory o różnych wielkościach rzędnych to stwierdzimy, że torom o mniejszych rzędnych odpowiada większe pole rażenia. Aby porównać dwa tory, należy sprowadzić je do wspólnej donośności; tor wznoszący się wyżej zwie się torem bardziej stromym, a tor idący niżej bardziej płaskim. Aby uzyskać większe pole rażenia, trzeba mieć tor bardziej płaski. Jak wiadomo (§ 6) zakrzywienie toru zachodzi na skutek obniżania się lotu pocisku. Im mniejsze są obniżenia, tym tor jest bardziej zbliżony do linii rzutu, tym bardziej jest płaski. Obniżenia są tym mniejsze, im mniejszy jest czas lotu pocisku na danym odcinku toru; aby czas ten był krótszy, musimy mieć większą szybkość i jak najmniej tę szybkość tracić. Da się to osiągnąć przez zwiększenie szybkości początkowej pocisku oraz przez zmniejszenie wpływu oporu powietrza (§ 7 i 8); aby zmniejszyć wpływ oporu powietrza należy zwiększyć obciążenie poprzeczne pocisku oraz nadać mu kształt korzystny pod względem balistycznym.

Płaskość toru odgrywa bardzo ważną rolę przy strzelaniu w locie, gdyż odległość do celu ruchomego ulega szybkim zmianom, błędy zaś przy określeniu tej odległości mogą być bardzo znaczne. Aby trafić w cel, musimy mieć duże pole rażenia.

§ 15. Tabele strzelnicze. Wszystkie dane, określające tor pocisku, zestawione są w tabelach strzelniczych. Strzelec powinien znać przede wszystkim wysokości toru ponad linią celu lub też ponad linią celowania. Przy k. m. lotniczych wysokość muszki ponad osią lufy jest zmienna, gdyż celownik regulowany jest odpowiednio do wzrostu oraz położenia pilota lub obserwatora. Sposób przejścia od rzędnych podanych w tabelach do wysokości ponad linią celowania omówiony był wyżej (§ 14).

Elementami, które również należy znać przy strzelaniu w locie, są kąty rzutu i czasy przelotu pocisku. Kąt rzutu jest jednym z najważniejszych elementów, bowiem według niego ustawia się celownik. (W praktyce przyjmuje się, że kąt celownika równy jest kątowi celowania; kąt celowania zaś przy kącie położenia 0° równa się kątowi rzutu plus lub minus kąt podrzutu; kąt podrzutu traktowany jest jako wielkość stała).

Przykład 7. Celownik 7,62 mm k.m. lotniczych przystrzelany jest na odległość 400 m. Należy nie zmieniając przystrzelania celownika ostrzelać cel, znajdujący się na odległości 1000 m.

Rozwiązanie. Kąt rzutu dla odległości 400 m wynosi $13'$; kąt rzutu dla odległości 1000 m $56'$. Różnica $56' - 13' = 43'$. Aby uwzględnić ten kąt, należy punkt celowania podnieść nad cel.

Wyrażamy kąt 43' w tysięcznych

$$0,3 \cdot 43 = 12,9 \text{ tysięcznych.}$$

1 tysięczna na 1000 m odpowiada 1 m; ponieważ mamy tu 12,9 tys. to poszukiwane wzniesienie wyniesie

$$1 \cdot 12,9 = 12,9 \text{ m} \approx 13 \text{ m.}$$

Jeśli w tabelach podane są rzędne ujemne (dodatek 2), to wielkość powyższą można wziąć wprost z tabel (patrz rubr. toru, przystrzelanego na 400 m; dla odległości strzału 1000 m rzędna ujemna wynosi 12,9 m).

Czas przelotu pocisku potrzebny jest po to, by określić, jaką drogę przejdzie cel ruchomy w czasie potrzebnym na przelot pocisku do celu.

Na przykład: czas pocisku na odległość 1000 m wynosi 2,1 sek.; cel ma szybkość 70 m/sek.; do chwili dojścia pocisku cel przejdzie drogę $70 \cdot 2,1 = 147 \text{ m}$.

W tabelach strzelniczych ponadto podane są kąty upadku, według których znaleźć możemy kąty trafienia.

Poza ogólnymi tabelami strzelniczymi, zawierającymi zbiór podstawowych elementów, charakteryzujących tor, istnieją również i tabele specjalne, jak na przykład tabela zmian rzędnych zależnie od wysokości lotu, tabela zmian rzędnych zależnie od zwiększenia lub zmniejszenia szybkości początkowej itp.

Wszelkie tabele są ułożone w wyniku określenia kilku punktów toru drogą doświadczalną i następnie obliczenia punktów pośrednich.

Doświadczenia mogą być wykonywane w różnych warunkach, czyli w różnych temperaturach otoczenia, przy zmiennym ciśnieniu, przy wiatrach o różnej sile lub też ciszy, przy pogodzie wilgotnej lub suchej. Wszystkie te warunki wywierają wpływ na lot pocisku.

Przez odpowiednie obliczenia kąty rzutu i kąty upadku, rzędne, czasy przelotu pocisku, szybkości w różnych punktach i sprowadza się do pewnych warunków normalnych.

Jako warunki normalne przy ziemi przyjmuje się¹⁾: ciśnienie 750 mm słupa rtęci, temperatura 15° C (Celsjusza), wilgotność 50% (wilgotność względna).

Pytania z rozdziału pierwszego.

1. Jaki rodzaj strzelania nazywamy strzelaniem w locie? Co charakteryzuje cel ziemny i cel latający?
2. Co należy rozumieć pod nazwą: kompletne urządzenie strzeleckie na samolocie? Podać charakterystyki urządzeń strzeleckich na znanych typach samolotów.

¹ Polskie warunki przyjęte dla broni ręcznej i maszynowej są następujące: ciśnienie 745 mm, temperatura + 7° C, wilgotność 50 %; są to średnie roczne warunki klimatyczne Polski (przyp. tłum.).

3. Co powoduje odrzut broni, od czego zależy odrzut, w jaki sposób odrzut wpływa na strzelanie?
4. Co to jest tor? Dlaczego tor jest linią krzywą?
5. W jaki sposób można obliczyć przy przystrzeliwaniu obniżenie się pocisku na torze? Jakie przybliżenie przyjmuje się na podstawie założenia San-Roberta? W jakich granicach można przyjąć założenie sztywności toru?
6. Co to jest siła oporu powietrza, na skutek czego ona powstaje i od czego zależy jej wielkość?
7. Od czego zależy utrata szybkości przez pocisk? Co to jest przyspieszenie siły oporu powietrza, od czego zależy jego wielkość? Dlaczego stosowane są pociski podłużne a nie kuliste?
8. Do czego służą gwinty w przewodzie lufy? Jak leci pocisk nie obracający się (w razie zerwania się z gwintów)? Jaki ruch ma lecący pocisk?
9. Co to są elementy toru, co one określają? Co to jest poziom broni? Jakie linie określają położenie toru względem broni i celu?
10. Jakie kąty określają położenie linii-elementów toru? W jakich granicach zmieniają się te kąty?
11. Z jakich kątów składa się kąt podniesienia i kąt rzutu?
12. Co to są tory strome i tory płaskie?
13. Co to jest punkt uderzenia, punkt upadku, kąt uderzenia, kąt trafienia, kąt upadku?
14. Jaka jednostka katowa przyjęta jest przy pomiarach artyleryjskich i strzelniczych? Na czym polega dogodność stosowania tej jednostki? Jaki jest stosunek jej do stopnia?
15. Do czego używany jest celownik? Jakie kąty uzależnione są od celownika?
16. Co to jest rzędna toru? Jak określa się wysokość toru ponad linią celowania?
17. Co to jest pole rażenia? Co to jest ogień bezpośredni?
18. Jakie warunki (ciśnienie, temperatura, wilgotność, położenie celu) przyjmuje się jako normalne przy układaniu tabel strzelniczych?

ROZDZIAŁ II

LOT POCISKU PRZY STRZELANIU Z SAMOLOTU

§ 16. Wpływ wysokości na lot pocisku. W miarę wzrostu wysokości lotu ciśnienie atmosferyczne spada, a gęstość powietrza maleje. Wobec zmniejszenia gęstości pocisk doznaje mniejszego oporu powietrza, wskutek czego szybkości lotu pocisku dla pewnych odległości w porównaniu z szybkościami lotu dla tych samych odległości przy ziemi wzrastają, a czasy przelotu i wielkości obniżenia należą.

Dlatego też przy jednakowych kątach rzutu, tory pocisków będą szły wyżej i dalej na wysokości niż przy ziemi.

Siła oporu powietrza (§ 7) zmienia się proporcjonalnie do stosunku $\frac{\delta}{1,206}$, gdzie δ ciężar właściwy rzeczywisty,

a 1,206 ciężar właściwy tabelaryczny, czyli ten ciężar właściwy, dla którego obliczone są tabele. Ciężar rzeczywisty przy ziemi zmienia się zależnie od ciśnienia i temperatury, lecz w granicach stosunkowo niewielkich, zwykle $\pm 10\%$.

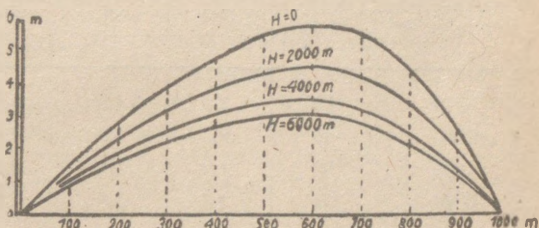
Tabela 2

Zmiana ciśnienia i ciężaru właściwego powietrza
ze zmianą wysokości

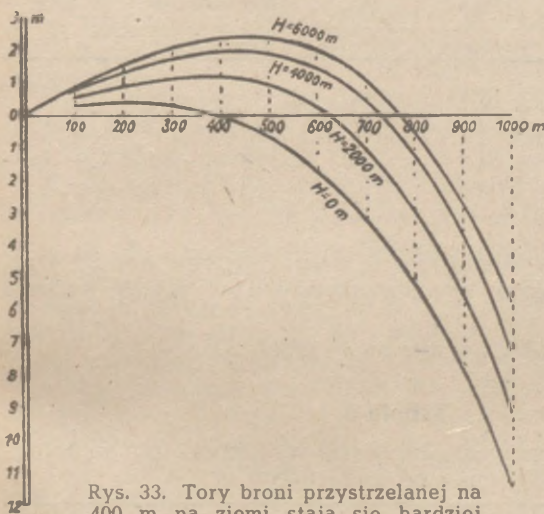
Wysokość w m <i>H</i>	Ciśnienie w mm słupa rtęci	Stosunek ciśnień $\frac{p}{750}$	Stosunek ciężarów właściwych $\frac{\delta}{1,206}$
0	750	1,000	1,000
1000	666	0,889	0,907
2000	589	0,785	0,821
3000	519	0,694	0,741
4000	456	0,609	0,668
5000	400	0,535	0,600
6000	349	0,467	0,538
7000	305	0,407	0,481
8000	265	0,354	0,428
9000	229	0,306	0,381
10000	197	0,263	0,336

Przy strzelaniu w locie zachodzi jednak zjawisko zupełnie odmienne. Ciężar właściwy rzeczywisty może zmniejszyć się kilkakrotnie. Dlatego też możemy pominąć tu wpływ warunków atmosferycznych na ciężar, a brać pod uwagę tylko zmianę jego, spowodowaną zmianą wysokości. Powyżej podana jest tabela zmiany ciśnienia i ciężaru właściwego powietrza ze zmianą wysokości w porównaniu z warunkami panującymi przy ziemi.

Rozpatrując rzędne toru w zależności od wysokości w tabeli 3 zauważymy, że dla tej samej odległości tory w miarę wzrostu wysokości stają się coraz bardziej płaskie, a rzędne coraz bardziej maleją (rys. 32).



Rys. 32. Kształt toru przy różnych wysokościach nad ziemią.



Rys. 33. Tory broni przystrzelanej na 400 m na ziemi stają się bardziej płaskie w miarę wzrostu wysokości.

Jeśli tor staje się bardziej płaski, to kąt rzutu dla tych samych odległości strzału są mniejsze w miarę zwiększania wysokości lotu. Porównując tory dla stałego kąta celownika ($\alpha = 13'$) na różnych wysokościach, stwierdzimy, że donośności i rzędne zwiększają się wraz ze wzrostem wysokości (rys. 33).

Z faktu wzrostu rzędnych nie wynika bynajmniej, że tor stał się

bardziej stromy, gdyż stromość ocenić można wówczas, gdy się zrówna odpowiednie donośności.

Tabela 3

Rzędne toru 7,62 mm k.m. lotniczego w zależności od wysokości (dane przybliżone)

Wysokość nad ziemią w <i>m</i>	Kąty rzutu	Odległości strzału w <i>m</i>				
		200	400	600	800	1000
		Rzędne w <i>m</i>				
0	56'	2,7	4,8	5,6	4,4	0
2000	45'	2,3	4,0	4,5	3,4	0
4000	38'	1,9	3,2	3,5	2,5	0
6000	34'	1,7	2,8	3,0	2,2	0

Tabela 4

Rzędne toru dla kąta celownika 13' w zależności od wysokości lotu

Wysokość lotu nad ziemią w m	Odległość strzału w m				
	200	400	600	800	1000
Rzędne w m					
0	0,42	0	-1,7	-5,5	12,7
2000	1,0	1,2	0,2	-2,9	-9,3
4000	1,3	2,0	1,4	-1,3	-7,3
6000	1,6	2,5	2,1	-0,4	-6,1

Posługując się tą tabelą można dobrać pewne średnie wartości proporcjonalnego wzrostu rzędnych w miarę wzrostu wysokości lotu.

Odpowiednie liczby podane są w tabeli 5.

Tabela 5

Zmiana rzędnych toru w zależności od wysokości lotu samolotu nad ziemią co każde 2000 m

Odległość w m	200	400	600	800	1000
Zmiana rzędnej w m	0,4	0,8	1,2	1,8	2,2

W miarę wydłużania się toru wzrastają odległości strzału. Przy przystrzeleniu k. m. 7,62 mm na odległość 400 m na ziemi, donośności poziome będą następujące:

Wysokość w m	2000	4000	6000	Na większych wysokościach warunki strzelania są korzystniejsze niż na ziemi ze względu na bardziej płaskie tor.
Donośność w m	600	700	800	

Tabela 5 wskazuje, że dla odległości do 600 m zmiany rzędnych w warunkach strzelania w locie są stosunkowo niewielkie i że nie opłaca się ich uwzględniać w mało precyzyjnych celownikach. Przy zastosowaniu bardziej precyzyjnych celowników i przy strzelaniu na odległości zbliżone do 1000 m należy już uwzględnić wysokość lotu. Sposób uwzględniania wysokości lotu przy strzelaniu na większe odległości podany jest w § 34.

Przy przechodzeniu z k. m. lekkich na k. m. ciężkie, o większym kalibrze, które można użyć aż do donośności 2000 m, niezbędne jest już uwzględnienie wysokości lotu.

Poprawkę na wysokość lotu wprowadzić można przez zmniejszenie kąta celownika. Celownik wówczas ma kilka skal. Dla wysokości większych odległości między działkami skali będą mniejsze, gdyż kąty celownika maleją ze wzrostem wysokości.

Przy dokładnych strzelaniach na ziemi niezbędne jest uwzględnienie warunków meteorologicznych, co pomija się przy strzelaniu w locie. Instrukcje strzeleckie do strzelania ziemnego podają tabele zależności donośności od ciśnienia i temperatury. Tabela ta podana jest w dodatku 3.

§ 17. Wpływ zmiany szybkości początkowej pocisku. Szybkość samolotu zwiększa lub zmniejsza szybkość początkową pocisku, zależnie od tego czy c. k. m. skierowany jest naprzód, czy też w tył w stosunku do samolotu. Ze zwiększeniem szybkości początkowej zmniejsza się czas przelotu pocisku, wskutek czego obniżenie pocisku na torze będzie mniejsze, a tor stanie się bardziej płaski. Przy stałym kącie celownika tor pójdzie wyżej i donośność wzrośnie. Dla zachowania stałej donośności przy zwiększeniu szybkości początkowej kąt celownika należy zmniejszyć.

Zmniejszenie szybkości początkowej wywołuje skutek odwrotny, czyli tor obniży się, donośność zmaleje, a dla zachowania stałej donośności kąt celownika należy zwiększyć.

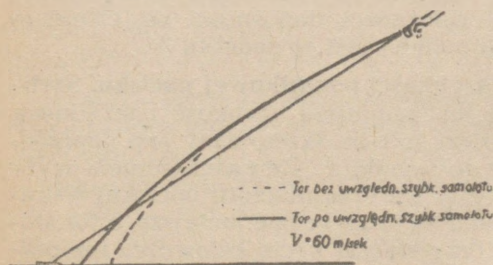
Dokładne obliczenie zmian rzędnych jest skomplikowane, gdyż opór powietrza wzrasta w stosunku do pewnej potęgi

w miarę wzrostu szybkości (§ 7). Do użytku praktycznego służy tabela 6.

Do obliczeń przybliżonych przyjmuje się, że zmiany rzędnych i zmiany donośności wzrastają proporcjonalnie do zmiany szybkości początkowej. Na przykład przy szybkości samolotu 60 m/sek pociski wystrzelone naprzód lub w tył przy donośności 800 m pójdą wyżej lub niżej o $17 \cdot 6 = 102 \text{ cm} \cong 1 \text{ m}$. Przy obecnych mało precyzyjnych celownikach uwzględnienie takich wielkości nie jest możliwe.

Wpływ szybkości samolotu przy strzelaniu naprzód polepsza warunki strzelania, zaś przy strzelaniu w tył pogarsza je.

Rozpatrzmy następujący wypadek konkretny: lotnik nurkując otworzył ogień do celu ziemnego z odległości 600 m (rys. 34). K.m. przystrzelane są na odległość 400 m , wobec czego rzędna ujemna na 600 m wynosi $1,5 \text{ m}$. Wobec wpływu szybkości lotu tor będzie mniej stromy. Przyjmijmy że szybkość lotu wynosi $V = 60 \text{ m/sek}$, a wówczas zwiększenie rzędnej (tabela 6) wyniesie $10 \cdot 6 = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m}$. W rezultacie,



Rys. 34. Wydłużanie się toru pod wpływem zwiększenia szybkości początkowej przez szybkość samolotu.

rzędna ujemna dla 600 m , uwzględniając wpływ szybkości, będzie $1,5 - 0,6 = 0,9 \text{ m}$. Widzimy, iż w ten sposób tor zbliżył się do linii nurkowania.

Wobec tego, że obliczenia te są stosunkowo skomplikowane, przy strzelaniu w locie nie korzysta się z nich; w pewnych wypadkach jed-

Tabela 6

Zmiany rzędnych toru oraz zmiany donośności przy zmianie szybkości początkowej o 10 m/sek

Odległości w m	200	400	600	800	1000
Zmiany rzędnych w m	1	3	10	17	30
Zmiany donośności w m	4	6	8	10	12

na zwiększenie szybkości początkowej, można zastosować zwykłą interpolację, co daje dostateczną dokładność.

Sposób ten wyjaśnimy na przykładzie.

Przykład 8. Strzelanie odbywa się z k.m. wzór P. W. 1 uzgodnionego. Szybkość własna samolotu wynosi $V = 200 \text{ km/godz.} = 55,5 \text{ m/sek.}$ Szybkość początkowa pocisku dla k.m. P. W. 1 $v_0 = 860 \text{ m/sek.}$ Należy określić szybkość końcową oraz szybkość średnią przelotu pocisku na odległość 400 m.

Z tabeli oraz § 7 wiadomo, że dla odległości 400 m czas przelotu $t = 0,55 \text{ sek.}$, szybkość średnia $v_{sr} = 727 \text{ m/sek.}$, a szybkość końcowa $v_k = 580 \text{ m/sek.}$ przy strzelaniu z punktu nieruchomego.

Rozwiązanie. 1. Określamy szybkość średnią pocisku na 400 m, w założeniu, że szybkość początkowa równa się $860 + 55,5 \cong 916 \text{ (m/sek.)}$.

$$\frac{v_{sr}}{727} = \frac{916}{860}; v'_{sr} = \frac{916 \cdot 727}{860} \cong 774 \text{ m/sek.}$$

2. Określamy szybkość końcową lotu pocisku v'_k w założeniu, że szybkość początkowa wynosi 916 m/sek.

$$\frac{v'_k}{580} = \frac{916}{860}; v'_k = \frac{916 \cdot 580}{860} \cong 618 \text{ m/sek.}$$

Rozumując w sposób analogiczny, jak w rozpatrzonym przykładzie, możemy ułożyć wzór¹⁾ dla określenia szybkości średniej pocisku po uwzględnieniu wpływu szybkości własnej samolotu

$$\frac{v'_{sr}}{v_{sr}} = \frac{v_0 + V}{v_0} \dots \dots \dots (11)$$

oraz wzór dla określenia szybkości końcowej pocisku (przy doliczeniu do celu), po uwzględnieniu wpływu szybkości własnej samolotu

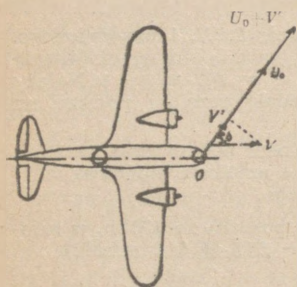
$$\frac{v'_k}{v_k} = \frac{v_0 + V}{v_0} \dots \dots \dots (12)$$

Szybkość początkowa pocisku, wystrzelonego w locie z k.m. ruchomego, może zależnie od kierunku strzelania wzrastać lub maleć o całą wielkość szybkości własnej samolotu, lub też o część tej wielkości. Przy ostrzale przedniej półkuli (czyli naprzód, w dół naprzód lub w górę naprzód) szybkość początkowa wzrasta o wielkość rzutu szybkości samolotu (rys. 35), przy ostrzale zaś tylnej półkuli o analogiczną wielkość maleje.

W praktyce nie jesteśmy w stanie, ze względu na obecną konstrukcję celowników, uwzględnić tego zjawiska, wobec czego wpływ jego pomijamy.

¹⁾ Wzór ten, jak również wzór następny, są przybliżone (przyp. tłum.).

Zmiana szybkości początkowej zacząć może również ze względu na jakość nabojów. Duże wahania wielkości szybkości początkowej zwiększają rozrzut; dlatego też podczas odbioru partii amunicji w fabryce przeprowadza się odpowiednią próbę i w razie otrzymania odchyień, przekraczających granice dopuszczalne, nabojów tej partii nie dopuszcza się do strzelania na celność.



Rys. 35. Zmiana szybkości początkowej pod wpływem szybkości własnej samolotu przy k.m. ruchomych.

Specjalnie niezalecane jest przechowywanie nabojów bez opakowania, może to bowiem spowodować różnice w szybkości początkowej, dochodzące do 30—40 m/sek.; natomiast naboje w opakowaniu hermetycznym mogą leżeć w składniach przez dłuższy czas.

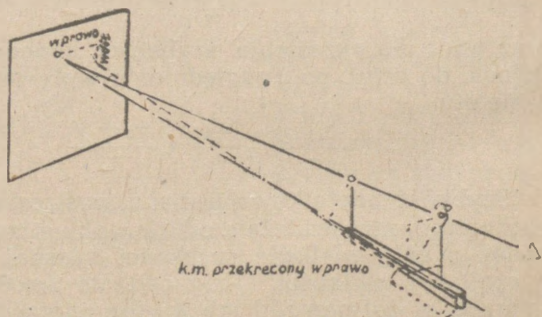
§ 18. Odchylenia pocisków, spowodowane przekreśleniem broni oraz oświetleniem jednostronnym. Zjawisko przekreślenia k.m. może zachodzić w następujących wypadkach:

1. przy przystrzeliwaniu, gdy podstawa k.m. ruchomego jest źle ustawiona lub też koła samolotu, na którym zamontowany jest k.m. pilota stoją na różnych poziomach;
2. przy strzelaniu ze skreću.

Zarówno w jednym jak i w drugim wypadku k.m. wraz z celownikiem są przechylone.

Zadaniem celownika, jak wiadomo, jest nadanie broni odpowiedniego kąta dla wyrównania wpływu obniżania pocisku na torze. Obniżenie to zachodzi zawsze w płaszczyźnie pionowej, a więc celownik musi zapewnić nadanie odpowiedniego kąta celowania również w płaszczyźnie pionowej.

Nachylmy broń wraz z celownikiem w stosunku do płasz-



Rys. 36. Odchylenie punktów trafienia przy przekreśleniu broni.

czyzny pionowej — celownik obniży się i przesunie w kierunku nachylenia (rys. 36). Obniżenie celownika spowoduje oczywiście obniżenie punktu trafienia. Przesunięcie celownika powodować będzie przesunięcie punktu trafienia w tym samym kierunku, w jakim nachylono broń. Z tego wniosek: *przekręcenie broni wraz z celownikiem obniża punkt trafienia i przesuwa go w kierunku przekręcenia.*

W k. m. lotniczych przekręcenie o 10° odchyła pocisk mniej więcej o 1 tysięczną odległości.

Przy strzelaniu ze skreću prawidłowość lotu naruszona jest prócz tego siłą odśrodkową, wobec czego strzelanie nie może być dokładne, a można je wykonywać tylko z bardzo bliskich odległości.

Wpływ jednostronnego oświetlenia występuje w zjawisku opisanym poniżej. Przedmiot wydaje się większy przy oświetleniu jaskrawym, a przy braku oświetlenia wydaje się mniejszy; jeśli oświetlić jaskrawo przedmiot z jednej tylko strony, to będzie się nam wydawało, że jest on większy ze strony oświetlonej.

Kulka muszki przy oświetleniu z prawej strony wydaje się nam rozciągnięta w stronę prawą; zachodzi tu jakby przesunięcie środka muszki. W stronę przesunięcia muszki, choćby tylko wzrokowego, przesuwa się również i linia celowania. W przytoczonym przykładzie linia celowania przesunęła się w prawo. Strzelec przez skierowanie linii celowania na cel otrzyma przesunięcie osi lufy w lewo, na skutek czego pociski odchylają się w lewo.

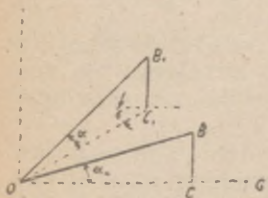
Jednostronne jaskrawe oświetlenie muszki odchyła tor w kierunku przeciwnym do kierunku oświetlenia.

Jednostronne oświetlenie pierścienia celowniczego nie wywiera bezpośredniego wpływu na przesunięcie toru lecz pogarsza warunki strzelania ze względu na tworzenie się odbłasków na częściach celownika. Dla zmniejszenia szkodliwych skutków oświetlenia jednostronnego przyrządy celownicze powinny być pokryte farbą matową i pomalowane na czarno; powierzchnia chropowata farby matowej rozprasza promienie i nie daje jaskrawych odbłasków. Strzelec powinien dbać o to, by we właściwym czasie miejsca pozbawione farby były na nowo malowane.

Przy strzelaniu dokładnym, przy przystrzeliwaniu i doświadczeniach, przyrządy celownicze powinny być osłaniane przed jaskrawym światłem słonecznym.

§ 19. Kąt położenia celu. Przy strzelaniu do celów, znajdujących się na poziomie wylotu, tor jest, jak ustaliliśmy, linią

krzywą. Przy strzelaniu pionowo w górę tor staje się linią prostą (§ 9). W pierwszym wypadku kąt położenia jest 0° , w drugim zaś 90° . Należy się spodziewać, iż przy pośrednich kątach położenia, na przykład przy 30° , 60° lub 75° tor będzie mniej zakrzywiony, niż przy strzelaniu do celu, znajdującego się na poziomie. Istotnie zjawisko to ma miejsce przy torach tak płaskich jak tory k. m.



Rys. 37. Zmiana kąta celownika w zależności od kąta położenia celu.

Określmy zależność kąta celownika od kąta położenia. Dla określenia tej zależności opierać się będziemy na założeniach zawartych w § 6, a mianowicie na zasadzie San Roberta, która głosi, iż jednakowym oddaleniom wzdłuż linii rzutu odpowiadają jednakowe obniżenia pocisku na torze.

A więc pewnej odległości OB przy kącie położenia $\sigma = 0$ odpowiada obniżenie BC (rys. 37), przy innym zaś kącie położenia σ , odległości OB odpowiada obniżenie $B_1 C_1$, przy czym $OB_1 = OB$ oraz $B_1 C_1 = BC$.

Kąt celownika wynosi w pierwszym wypadku α_0 , w drugim zaś α . Przeprowadźmy przez punkt C_1 prostą poziomą, a stwierdzimy że kąt, jaki tworzy prosta OC_1 z poziomem, wynosi σ .

Z trójkątów OBC i $OB_1 C_1$ otrzymujemy

$$\frac{BC}{OB} = \sin \alpha_0,$$

$$\frac{B_1 C_1}{OB_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin C_1};$$

kąt $C_1 = (90^\circ + \sigma)$ skąd $\sin C_1 = (90^\circ + \sigma) = \cos \sigma$.

Stąd

$$\frac{B_1 C_1}{OB_1} = \frac{\sin \alpha}{\cos \sigma},$$

ponieważ z założenia $BC = B_1 C_1$ i $OB = OB_1$, to

$$\frac{BC}{OB} = \frac{B_1 C_1}{OB_1}, \text{ więc } \sin \alpha_0 = \frac{\sin \alpha}{\cos \sigma}$$

$$\text{lub } \sin \alpha = \sin \alpha_0 \cdot \cos \sigma \quad \dots \quad (13)^1$$

¹ Wzór ten jest słuszny jedynie przy niedużych kątach α (przyp. tłum.).

Wzór (13) formułujemy w sposób następujący:

sinus kąta celownika α przy strzelaniu do celu o kącie położenia σ równa się sinusowi kąta celownika przy strzelaniu na tę samą odległość do celu znajdującego się w poziomie, pomnożonemu przez cosinus kąta położenia.

Ponieważ kąty celownika ze względu na płaskość torów, z jakimi mamy do czynienia przy strzelaniu w locie, są niewielkie, możemy sinusy ich zastąpić łukami, czyli samymi kątami (kąty te nie przekraczają 3°).

Wówczas otrzymamy

$$\alpha = \alpha_0 \cdot \cos \sigma \quad \dots \dots \dots (14)$$

Przykład 9. W tabelach strzelniczych dla donośności 1000 m podany jest kąt rzutu $55'$. Należy określić jaki będzie kąt rzutu przy kącie położenia 60° .

Rozwiązanie. Stosujemy wzór (14).

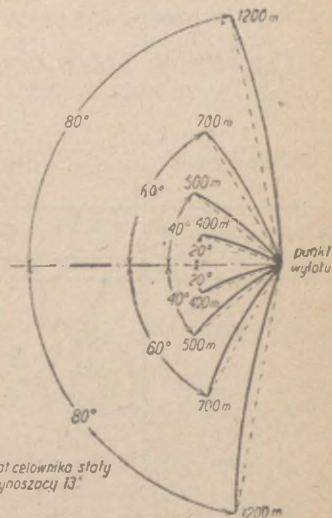
Dane: $\alpha_0 = 55'$
 $\sigma = 60^\circ$

Z tablic trygonometrycznych mamy

$$\cos 60^\circ = 0,5;$$

$$\alpha = \alpha_0 \cdot \cos \sigma = 55 \cdot 0,5 = 27'30'' \cong 28'.$$

Celowniki k. m. lotniczych są ustawione na stałe, wobec czego kąty celownika są niezmiennie. Kąt celownika przy przystrzelaniu na 400 m wynosi $13'$ dla k. m. wzór D. A., a $11'$ dla k. m. wzór P. W. 1. Przy zmianie kąta położenia tor wydłuża się, a ponieważ kąt celownika pozostaje stały, więc pocisk poleci wyżej i dalej. Poniżej przytoczone są tabele zmiany wysokości oraz zmiany odległości strzału k. m. lotniczych przy zmianie kąta położenia. Wykreślne ujęcie tabeli 7 przedstawia rys. 38. Tabele te w praktyce mają zastosowanie zarówno do strzelania z k. m. wzór D. A. jak i z k. m. wzór P. W. 1.



Rys. 38. Zmiana kształtu toru dla k. m. przystrzelanego na 400 m, przy zmianie kąta położenia.

Tabela 7

Odległości strzału przy różnych kątach położenia i przy stałym kącie celownika $13'$

Kąt położenia w stopniach	20	40	60	80	90
Odległość strzału w m	400	500	700	1200	2700

Tabela 8

Wzrost wysokości toru ponad linią położenia celu przy wzroście kąta położenia; kąt celownika stały 14°

Kąt położenia w stopniach	20	40	60	80
Odległości od punktu początkowego	Wzrost wysokości w m			
200 m	—	—	0,2	0,2
400 m	—	0,2	1,0	1,2
600 m	0,2	1,0	3,0	3,2
800 m	0,6	3,0	6,0	7,0
1000 m	1,5	6,0	11,0	14,0

Porównanie krzywizny torów dla jednakowej donośności przy różnych kątach położenia podaje tabela 9.

Tabela 9

Wysokości toru dla odległości strzału 1000 m przy różnych kątach położenia

Kąty położenia w stopniach	Kąty rzutu		Odległości od punktu początkowego				
	minuty	tysięczne	200	400	600	800	1000
			Wysokości w m				
0	56	16,0	2,8	4,9	5,8	4,5	0
20	50	14,5	1,9	3,9	5,1	3,9	0
40	35	10,0	1,3	2,7	3,6	3,2	0
60	15	4,5	0,7	1,6	2,1	1,6	0
80	6	2,0	0,3	0,4	0,5	0,5	0

§ 20. Wpływ wiatru. Rozpatrzmy teraz wpływ wiatru w trzech wypadkach, przy różnych położeniach broni i różnych rodzajach celu, a mianowicie:

- A) broń na ziemi — cel ziemny lub latający,
- B) broń na samolocie — cel ziemny,
- C) broń na samolocie — cel latający.

A. Broń znajduje się na ziemi — cel jest ziemny lub latający.

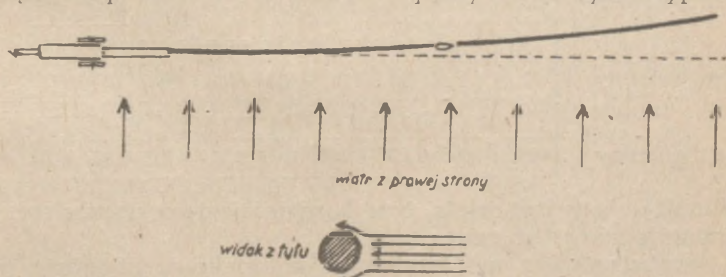
Przyjmijmy, iż kierunek wiatru jest prostopadły do płaszczyzny strzału (rys. 39). Pocisk przy wylocie ma jedynie szybkość nadaną mu przez gazy prochowe, czyli szybkość początkową v_0 .

Gdyby wiatru nie było, pocisk lecąc zakreśliłby w powietrzu

rze pewną krzywą, leżącą w płaszczyźnie strzału (jeśli pominiemy zboczenie). Przy wietrze natomiast, cząsteczki powietrza uderzają o pocisk, wytwarzają tarcie o jego powierzchnię przy opływie i tworzą siłę, która spycha pocisk z jego właściwej drogi.

Wielkość odchylenia zależy głównie od szybkości wiatru i czasu jego działania. Im silniejszy jest wiatr, tym większe jest odchylenie toru.

Drogą doświadczalną stwierdzono, że wielkość odchylenia, spowodowanego przez wiatr, praktycznie jest proporcjonalna do szybkości wiatru. Im większy jest czas przelotu pocisku, tym większe jest odchylenie pocisku z jego drogi pod wpływem siły wytworzonej przez wiatr. Na skutek stopniowej utraty szybkości postępowej, odchylenia pocisku wzrastają w większym stopniu, niż oddalenie pocisku od punktu wylotu. Czy wiatr jest w stanie przekazać całkowicie swą szybkość lecącemu pociskowi? Możliwe byłoby to w tym wypadku.



Rys. 39. Odchylenie pocisku pod wpływem wiatru przy strzelaniu ziemnym.

jeśli czas lotu pocisku byłby nieskończenie wielki. W rzeczywistości jednak, czas przelotu jest bardzo krótki; łagodny kształt pocisku zmniejsza siłę parcia wiatru na jego powierzchnię i masa pocisku, aczkolwiek niewielka, wywiera jednak swój wpływ. Szybkość odchylenia jest znacznie mniejsza od szybkości wiatru.

Wiatr podłużny zgodny z kierunkiem lotu pocisku lub też przeciwny do tego kierunku, przyspiesza lub zwalnia ruch pocisku. Stwierdzono iż przy stałej szybkości wiatru odchylenia w szereg są mniejsze, niż odchylenia w głąb (tabela 10).

Działanie wiatru pod pewnym kątem ostrym do kierunku lotu pocisku sprowadzić można do dwóch opisanych wypadków. Szybkość wiatru skośnego rozkłada się na dwa kierunki; jedna ze składowych jest szybkością zgodną lub przeciwną

do kierunku ruchu pocisku, druga zaś jest szybkością prostopadłą do kierunku ruchu.

Składowe te powodują odchylenia odpowiadające ich wielkości i kierunkowi.

Przy określaniu wielkości odchylenia zakładamy, iż szybkość wiatru jest stała. W rzeczywistości jednak jest inaczej, gdyż szybkość ta waha się w pewnych granicach; na wahania te nie mamy żadnego wpływu, wskutek czego rozrzut powiększa się.

Tabela 10¹⁾

Odchylenie pocisków, spowodowane wiatrem o szybkości 5 m/sek. przy strzelaniu ziemnym

Kierunek wiatru	Odległość od punktu początkowego w m									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Wiatr poprzeczny	Odchylenie w szerz w m									
	0,02	0,12	0,28	0,5	0,85	1,30	2,00	2,75	3,60	4,25
Wiatr podłużny	Odchylenie w głąb w m									
	1	1	2	2	3,5	3,5	6	6	9	9
Wiatr podłużny	Odchylenie w zwyż w m									
	0,003	0,005	0,007	0,009	0,011	0,015	0,019	0,025	0,03	0,04

Im silniejszy jest wiatr, tym bardziej jest on porywisty, co wywołuje wzrost rozrzutu.

Przy strzelaniu artyleryjskim na większe odległości nie można już uważać, że ruch powietrza jest jednorodny; w drodze obliczeń znajduje się tu pewną średnią wielkość szybkości wiatrów, panujących w różnych warstwach atmosfery, przez które przechodzi pocisk. W wyniku tych obliczeń przyjmuje się szybkość pewnego fikcyjnego wiatru.

Taki fikcyjny wiatr, którego szybkość została wyznaczona jako wielkość wypadkowa szybkości wiatrów, panujących na różnych odcinkach toru, i którego działanie jest równoznaczne z działaniem wszystkich tych wiatrów łącznie, zwiemy *wiatrem balistycznym*.

Przy strzelaniu z k. m. lotniczych wiatru balistycznego nie bierze się pod uwagę.

Konkretyzując powyższe możemy powiedzieć:

1. Odchylenia są proporcjonalne do szybkości wiatru.
2. Odchylenia w głąb są większe niż odchylenia w szerz.

¹ Wielkości podane w tabeli są przybliżone.

3. Odchylenia wzrastają stosunkowo szybciej, niż odległości strzału.

4. Wiatr porywisty zwiększa rozrzut.

Musimy podkreślić, iż odchylenia pocisku, wystrzelonego z broni nieruchomej, powstają na skutek ciśnienia wytworzonego przez uderzanie cząsteczek powietrza o pocisk. Zjawisko to nie ulega zmianie bez względu na to, czy strzelamy do celu ziemnego, czy też latającego. Natomiast wpływ wiatru na szybkość celu jest zjawiskiem zupełnie odmiennym. Cel względem ziemi porusza się z szybkością wypadkową, równą sumie geometrycznej szybkości celu względem powietrza i szybkości wiatru względem ziemi. Ta szybkość wypadkowa jest właśnie szybkością ruchu celu, którą bierzemy pod uwagę przy strzelaniu w locie.

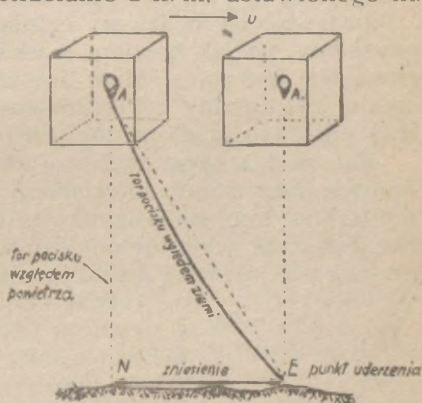
Jeśli broń znajduje się w koszu balonu na uwięzi, związanego z ziemią za pomocą liny, to strzelanie wykonuje się według tych samych zasad co i strzelanie z k. m. ustawionego na ziemi. Warunki strzelania jednak są tu znacznie gorsze ze względu na wahanie kosza.

B. Broń znajduje się na samolocie—cel jest ziemny. Przy strzelaniu w locie przyjmujemy, iż wiatr wieje równoległe do ziemi w kierunku stałym i jest jednostajny, bez porywów. Wyobraźmy sobie, że balon wolny (rys. 40) znajduje się początkowo w punkcie A, prostopadłe nad celem umieszczonym w punkcie N.

Wydzielimy z masy powietrza pewien element prze-

strzenny, przedstawiony na rysunku jako sześcián.

Sześcián ten przy wietrze będzie się przesunął w kierunku wiatru z taką samą szybkością jak wiatr. Wszystko to, co znajduje się w tym sześcianie, będzie się przesunęło z taką samą szybkością, a więc i cząsteczki powietrza i balon wolny, który będzie przesunął się względem ziemi z szybkością wiatru. Aeronauci stwierdzili charakterystyczne zjawisko: mianowicie, nawet przy silnym wietrze, jeśli tylko nie ma porywów i zaburzeń, w koszu balonu odczuwa się zupełną ciszę; zachodzi to dlatego, że zarówno balon jak i powietrze przesuwają się względem ziemi z tą samą szybkością.



Rys. 40. Lot pocisku przy strzelaniu z powietrza.

Strzelec, broń, naboje, pociski w nabojach i w lufie w czasie strzału — wszystko to porusza się względem ziemi z szybkością wiatru.

Z balonu dano strzał do celu, znajdującego się w punkcie *N*. Pocisk po wyjściu z lufy w dalszym ciągu zachowuje szybkość bocznego przesuwu względem ziemi. Czy szybkość ta może ulec zmniejszeniu na skutek oporu powietrza? Ruchowi pocisku naprzód (względem broni) istotnie przeciwdziała siła oporu powietrza, lecz boczne przesunięcie pocisku nie napotyka na żaden opór, gdyż powietrze samo przesuwu się z tą samą szybkością i w tym samym kierunku.

Pocisk przesuwu się o taką długość, o jaką przesunie się powietrze. Zjawisko odchylenia pocisku pod wpływem wiatru przy strzelaniu z powietrza nazywamy *znoszeniem pocisku*.

Odległość mierzona w poziomie, o którą przesunie się punkt upadku wywołany działaniem wiatru przy strzelaniu z powietrza, nazywamy *zniesieniem liniowym pocisku*.

Jeśli strzelać będziemy celując w punkt *N*, to trafienia nie uzyskamy, pocisk bowiem zniesiony będzie do punktu *E*. Odciętek *NE* jest zniesieniem liniowym pocisku. Kierunek zniesienia jest zgodny z kierunkiem wiatru, a wielkość jego zależy od czasu przelotu pocisku i szybkości wiatru.

Kąt, pod którym widzimy ze stanowiska broni zniesienie liniowe, nazywamy *zniesieniem kątowym*. Ponieważ pocisk porusza się ruchem o szybkości malejącej, a szybkość znoszenia jest stała, więc tor pocisku względem ziemi będzie pewną krzywą przestrzenną (praktycznie jednak nie odgrywa to roli).

Gdybyśmy strzelali nie z balonu, lecz z samolotu nurkującego na cel, zjawisko to nie zmieniłoby się. W danym wypadku wzrasta szybkość początkowa pocisku z powodu wzajemnego dodawania się szybkości uzyskanej z broni i szybkości samolotu, dzięki czemu maleje czas przelotu pocisku. Zjawisko znoszenia pozostaje bez zmiany, a wielkość odchylenia zależy, jak zobaczymy dalej, od czasu przelotu pocisku. Z rys. 41 widać, że jeśli samolot nurkując celuje w punkt *B*, to pocisk zostanie zniesiony do punktu *C*.

Rys. 41. Znoszenie pocisku przy strzelaniu do ziemi z nurkującego samolotu.

Przy strzelaniu z k. m. ruchomego na samolocie, należy rozpatrzyć dwa wypadki:

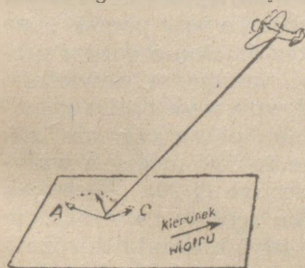
- 1) szybkość własna samolotu jest automatycznie uwzględniona przez przyrząd celowniczy,
- 2) szybkość własna samolotu nie jest uwzględniona.

W pierwszym wypadku strzelec nie potrzebuje nic uwzględnić i prowadzi ogień tak, jak ze stanowiska nieruchomego w przestrzeni; sytuacja jest tu analogiczna do strzelania z balonu.

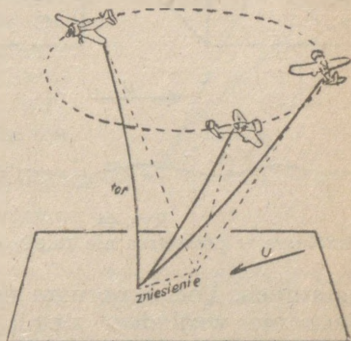
Jeśli szybkość samolotu uwzględniona jest automatycznie, to wielkość znieśienia liniowego jest niezależna od kierunku lotu, wobec czego przy strzelaniu ze skreśu punkt celowania pozostaje ten sam. jeśli tylko odległość strzelania nie ulega zmianie (rys. 42).

W wypadku drugim szybkość znoszenia musi być dodana do szybkości spowodowanej ruchem samolotu. Wpływ tego ruchu omówiony będzie niżej (§ 21); teraz nadmienimy jedynie, że wpływ ten zaznacza się w przeniesieniu punktu upadku pocisku w kierunku równoległym do osi samolotu i zgodnym z ruchem. Odchylenia spowodowane wiatrem i ruchem sumują się według reguły równoległoboku (rys. 43).

Pocisk, wystrzelony z broni znajdującej się na samolocie, otrzymuje szybkość znoszenia równą szybkości wiatru i zachowuje tę szybkość aż do chwili zetknięcia się z ziemią, czyli jest znoszony ze stałą szybkością. Wielkość znieśienia liniowego oblicza się ze wzorów na ruch jednostajny.



Rys. 43. Sumowanie znieśienia i przeniesienia pocisku przy strzelaniu do ziemi.



Rys. 42. Strzelanie w skreśie przy stałej odległości.

Oznaczając znieśenie liniowe przez C , szybkość wiatru przez U , czas przelotu pocisku przez t , otrzymamy wzór na wielkość znieśienia liniowego

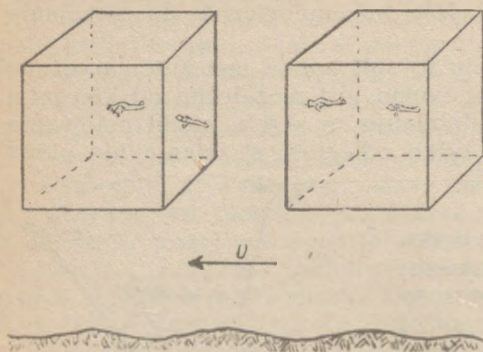
$$C = U \cdot t \quad (15)$$

Poprawka na znieśenie równa się co do wielkości i jest przeciwna co do kierunku znieśieniu liniowemu.

C. Broń znajduje się na samolocie, a cel jest w powietrzu.

Wyobraźmy sobie, że samolot — cel i samolot strzelca znajdują się w pewnym wydzielonym obszarze powietrza (rys. 44). Jeśli wiatr jest stały, a przesuwa-

nie się całego wydzielonego obszaru jest równomierne, to razem z tym obszarem przesuwa się wszystko to, co w nim jest



Rys. 44.

Strzelanie w powietrzu nie zależy od wiatru.

zawarte, podobnie jak przesuwa się przedmioty i ludzie, znajdujący się w pociągu. Wzajemne położenie samolotów nie ulega zmianie pod wpływem ruchu powietrza względem ziemi. Jeśli wiatr nie jest porywisty, to załogi samolotów nie są w stanie go w ogóle zauważyć, ponieważ nie ma tu sił zew-

nętrznych. Pocisk porusza się jednakowo względem powietrza (lecz nie względem ziemi) niezależnie od tego, czy wiatr jest, czy też go nie ma. Dlatego też przy strzelaniu w powietrzu, czyli z samolotu, wiatru w ogóle nie bierze się pod uwagę.

§ 21. Przenoszenie pocisku. Na lot pocisku oddziałuje w znacznym stopniu szybkość własna samolotu strzelca. Broń znajdująca się na lecącym samolocie (k. m. lub działo) uczestniczy w ruchu całości i posiada tę samą szybkość, co i samolot. Dotyczy to również naboju i pocisków bez względu na to gdzie się one znajdują — czy jeszcze w ładowniku, czy też już w komorze naboju. W chwili opuszczania lufy pocisk poza szybkością początkową, nadaną mu przez działanie gazów prochowych, posiada również i szybkość względem powietrza, czyli tzw. szybkość własną nabytą pod wpływem ruchu samolotu. Rozpatrujemy tu ruch względem powietrza, nie zaś względem ziemi, wobec czego nie może tu być mowy o wpływie wiatru, co zresztą zostało już wyjaśnione (§ 20). Kierunek ruchu samolotu traktować będziemy jako zgodny z kierunkiem jego osi; w rzeczywistości tak nie jest, gdyż kierunki te różnią się o pewien kąt, którego wielkość zależy od szybkości własnej; wielkość ta jest jednak nieznaczna, tak że w tym konkretnym wypadku możemy ją pominąć.

Przypuśćmy, iż w chwili strzału oś lufy (czyli linia rzutu) tworzy pewien kąt q z kierunkiem lotu (rys. 45). Pocisk, w wyniku działania dwóch szybkości v_0 i V , będzie miał szybkość

wypadkową. Wielkość i kierunek wypadkowej zależne są od wielkości i kierunków składowych; wypadkowa więc wyznaczona jest jako przekątna równoległoboku zbudowanego ze składowych.

W chwili strzału pocisk ma szybkość odpowiadającą całkowitej wielkości szybkości początkowej i całkowitej wielkości szybkości własnej samolotu, opór powietrza bowiem nie zaczął wywierać swego wpływu. Należy jasno zdać sobie sprawę z tego, że pociskowi nadany został kierunek właśnie w tej chwili początkowej, gdy opuszcza on lufę i wchodząc w ośrodek powietrza ma całkowite wielkości v_0 i V .

Powstaje teraz kwestia — czy pocisk zachowa nadal kierunek ruchu wzdłuż przekątnej równoległoboku i na jaką odległość poleci.

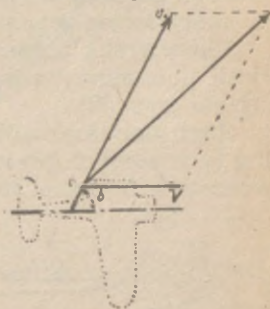
Zjawisko to komplikuje fakt, że w chwili wylotu oś podłużna pocisku jest przedłużeniem osi lufy, a ruch początkowy pocisku jest skośny, czyli jego powierzchnia boczna jest skierowana do przodu. Tego rodzaju zjawisko będziemy mieć zawsze przy strzelaniu, z wyjątkiem wypadków strzelania wzdłuż osi samolotu (naprzód lub w tył), gdy kierunki v_0 i V są zgodne.

Przy ruchu skośnym opór powietrza dąży do przewrócenia pocisku. Jeśli pocisk obraca się dostatecznie szybko, to obrót zapobiegnie temu przewróceniu i skieruje pocisk ostrołukiem naprzód, tak samo jak zapobiega przewróceniu się pod działaniem siły ciężkości.

Poza rzadkimi wyjątkami, obrót zapewnia stateczność lotu pocisku przy strzelaniu z samolotu, a pocisk po pewnych wahaniami jakich doznaje na początku lotu, w ciągu bardzo krótkiej drogi (wielkość jej nie została jeszcze określona) ustawia się osi w kierunku ruchu i dalej porusza się już normalnie.

Nie ma żadnych podstaw do przypuszczenia, że pocisk wychodzi z płaszczyzny przeprowadzonej przez przekątną równoległoboku¹). Przy strzelaniu z samolotu, jak wykazała praktyka, nie ma żadnych widocznych odchyśleń od tej płaszczyzny.

W wyniku rozważań powyższych stwierdzić możemy, że kierunek lotu pocisku przy strzelaniu z samolotu w powietrzu



Rys. 45. Sumowanie szybkości początkowej broni i szybkości własnej samolotu przy strzelaniu powietrznym.

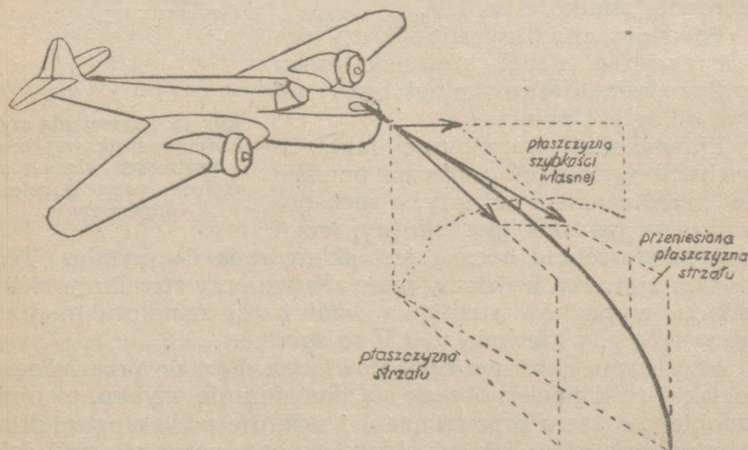
¹ Poza normalnym zjawiskiem zboczenia, § 9 (przyp. tłum.).

wyznaczony jest przez przekątną równoległoboku, zbudowanego na szybkości początkowej pocisku i szybkości własnej samolotu, przyłożonych w punkcie wylotu pocisku.

Zjawisko odchylenia pocisku pod wpływem szybkości własnej samolotu nazywamy *przenoszeniem pocisku*. Tor, wzdłuż którego porusza się pocisk po uwzględnieniu przenoszenia, nazywamy *torem przeniesionym*.

Płaszczyzna pionowa, przechodząca przez tor przeniesiony (jeśli pominiemy zboczenie) jest to *przeniesiona płaszczyzna strzału* (rys. 46).

Ruch pocisku wzdłuż toru przeniesionego odbywa się według tych samych praw, co przy strzelaniu ziemnym. Opór powietrza w ten sam sposób zmniejsza szybkość pocisku, a siła



Rys. 46. Zjawisko przenoszenia pocisku.

ciężkości powoduje zakrzywienie toru. Zjawisko zboczenia zostaje tu w mocy lecz, jak wspomnieliśmy wyżej, przy strzelaniu w locie możemy je pominąć.

Przy ruchu w powietrzu pocisk oczywiście nie może przejść takich odległości, jakie uwidocznione są na rys. 45 przy budowie równoległoboku. Przekątna równoległoboku w tym wypadku wyznacza nam tylko kierunek ruchu, który pozostaje stały przez cały czas lotu pocisku (jeśli pominiemy zboczenie); szybkość natomiast ma wielkość wyznaczoną z równoległoboku tylko w chwili początkowej, następnie zaś **prędko maleje**. Jeśli pocisk wystrzelony został z broni, znajdującej się na ziemi, to w ciągu pierwszej sekundy ruchu zdąży on przejść

około 600 m. Odległość tę przechodzi on w kierunku szybkości początkowej (rys. 47, odcinek OP). Jeśli samolot jest w ruchu, to pocisk pójdzie wzdłuż przekątnej OP¹.

Aby określić w jakim punkcie znajdzie się pocisk, zbudujemy równoległobok w sposób podobny do poprzedniego. Punkt P₁ odpowiada rzeczywistemu położeniu pocisku po upływie 1 sek. od chwili dania strzału.

Wykres ten daje nam obraz przenoszenia¹.

Analogicznie znajdziemy i inne kolejne położenia pocisku. Na przykład jeśliby pocisk przy strzelaniu ziemnym doszedł do punktu B, to przy strzelaniu w locie dojdzie on do B₁ (rys. 47 i 48).

Odcinek BB₁ jest odchyleniem pocisku.

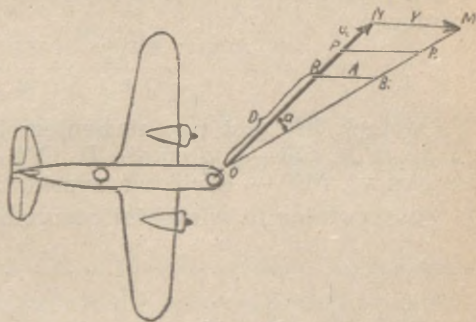
Wielkość odchylenia pocisku zachodzącego pod wpływem szybkości własnej samolotu nazywamy *przeniesieniem liniowym* (oznaczamy je literą A).

Wielkość odchylenia pocisku zachodzącego pod wpływem szybkości własnej, mierzona w kierunku prostopadłym do płaszczyzny strzału, nazywamy *przeniesieniem bocznym* (oznaczamy je przez A_b, rys. 51).

Kąt mierzący przeniesienie liniowe lub boczne w stosunku do wylotu broni nazywamy *przeniesieniem kątowym* (oznaczamy je przez α).

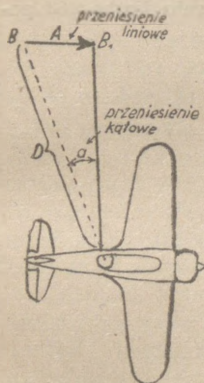
A. Obliczenie przeniesienia liniowego.

Przeniesienie liniowe zależne jest od stosunku szybkości początkowej pocisku v₀ do szybkości własnej samolotu V oraz od odległości D. Z rys. 47 wynika, iż trójkąty OBB₁ i ONM są podob-



Rys. 47.

Przeniesienie przy ostrzale przedniej półkuli.



Rys. 48. Przeniesienie przy ostrzale tylnej półkuli.

¹ Przy wykonywaniu wykresu jak na rys. 47, zakładamy, że opór powietrza wzrasta proporcjonalnie do szybkości; przy niewielkich wzrostach możemy przy rozwiązywaniu zagadnień praktycznych przyjąć takie przybliżenie.

ne, gdyż boki BB_1 i NM są równoległe. Boki leżące naprzeciw równych kątów są więc proporcjonalne.

Na podstawie podobieństwa trójkątów ułożyć możemy proporcję:

$$\frac{BB_1}{OB} = \frac{MN}{ON}.$$

Odcinek BB_1 jest przeniesieniem liniowym — oznaczmy go przez A , OB — odległość D , ON — szybkość początkowa pocisku v_0 , MN — szybkość własna samolotu strzelca V .

Podstawiając te wielkości otrzymamy wzór

$$\frac{A}{D} = \frac{V}{v_0} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

Wzór (16) służy do obliczenia wielkości przeniesienia liniowego.

Przykład 10. Szybkość własna 160 km/godz. Strzelanie odbywa się z k. m. wzór D. A. o szybkości początkowej 840 m/sek. Określić wielkość przeniesienia liniowego dla odległości 400 m.

Rozwiązanie. Sprowadźmy najpierw dane do wspólnych jednostek pomiarowych. Zamieńmy km/godz. na m/sek., w tym celu liczbę 160 podzielmy przez 3,6

$$160 : 3,6 = 44,4 \text{ m/sek.}$$

Rozwiązujemy wzór (16) względem A

$$\frac{A}{D} = \frac{V}{v_0},$$

$$A = \frac{D \cdot V}{v_0} = \frac{400 \cdot 44,4}{840} = 21,2 \text{ m,}$$

przeniesienie liniowe $A \approx 21 \text{ m}$.

Stanowi to nieco więcej niż 5% odległości

$$\frac{21}{400} = 0,0525, \text{ czyli } 5,25\%.$$

Przykład 11. Samolot bombardujący uzbrojony jest w 20 mm działko Oerlikon.

Szybkość początkowa pocisku $v_0 = 835 \text{ m/sek}$.

Szybkość samolotu $V = 200 \text{ km/godz}$.

Określić wielkość przeniesienia liniowego w założeniu, że strzelanie odbywa się na odległość 1000 — 2000 m.

Rozwiązanie.

1. Określamy szybkość własną w m/sek.

$$200 : 3,6 = 55,55 \text{ m/sek.}$$

Przyjmujemy dokładność do jednej dziesiątej metra, co w zupełności wystarcza przy obliczeniach praktycznych

$$V = 55,6 \text{ m/sek.}$$

2. Określamy wielkość przeniesienia dla odległości 1000 m

$$A = \frac{D \cdot V}{v_0} = \frac{1000 \cdot 55,6}{835} = 66,6.$$

Zaokrąglając przyjmujemy $A = 67 \text{ m}$.

3. Określamy wielkość przeniesienia dla odległości 2000 m. Nie potrzebujemy już posługiwać się wzorem (16), gdyż przeniesienie jest wprost proporcjonalne do odległości; dlatego też wielkość przeniesienia na 2000 m jest dwa razy większa niż na 1000 m

$$66,6 \cdot 2 = 133,2 \text{ m,}$$

$$A = 133 \text{ m.}$$

Przeniesienia o wielkości 67 m i 133 m stanowią około 7% odległości.

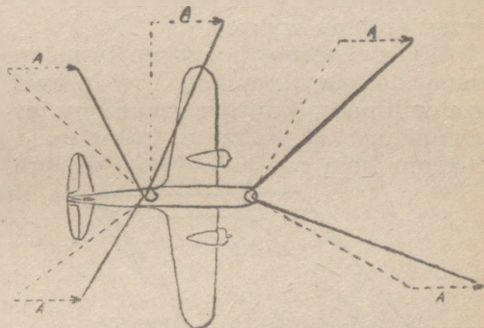
Możemy przyjąć, iż przeniesienie liniowe praktycznie wynosi 5—7%, czyli jest wielkością bardzo znaczną, którą trzeba uwzględnić.

Z rozpatrzenia wzoru (16) wynika, że wielkość przeniesienia liniowego zależy od odległości strzelania, szybkości własnej samolotu oraz szybkości początkowej pocisku. Jeżeli szybkość początkowa jest stała, to mamy regułę następującą:

Przeniesienie liniowe zmienia się wprost proporcjonalnie do odległości strzelania i szybkości własnej samolotu.

Kierunek przeniesienia liniowego jest zawsze równoległy i zgodny z kierunkiem ruchu samolotu i jest niezależny od kierunku strzelania.

Aby zobrazować to, zrobimy wykres przeniesienia dla różnych kątów wychylenia broni¹⁾ (rys. 49). We wszystkich wypadkach ma zastosowanie wzór $\frac{A}{D} = \frac{V}{v_0}$, zupełnie niezależny od kierunku strzelania.



Rys. 49. Wielkość przeniesienia liniowego nie zależy od kierunku strzelania.

¹ Kątem wychylenia broni nazywać będziemy kąt pomiędzy płaszczyzną pionową przechodzącą przez oś broni a płaszczyzną pionową przechodzącą przez oś podłużną samolotu (przyp. tłumacza).

wylotu O , a przy locie poziomym (jak w wypadku rozpatrzonym) również i przez kierunek lotu, jest poziomem wylotu.

Kąt $NOE = i$ mierzony między osią lufy i osią samolotu jest kątem osiowym. Kąt ten zawsze leży w płaszczyźnie przeniesienia, przeprowadzonej przez oś lufy równoległe do osi samolotu. Ścisłe określenie tego kąta podane jest niżej.

Kąt, określający położenie osi lufy względem kierunku lotu samolotu w płaszczyźnie przeniesienia zwiemy *kątem osiowym*.

Kąt taki tworzy płaszczyzna przeniesienia z poziomem broni, jest to kąt *nachylenia płaszczyzny przeniesienia*; oznaczamy go przez n .

Wykreślmy w płaszczyźnie przeniesienia równoległobok $ONME$ i trójkąt OBB_1 . Odcinek OB daje w pewnej skali odległość D , zaś $BB_1 = A$ jest przeniesieniem liniowym, odpowiadającym odległości D . Pocisk przy tej odległości przeniesiony będzie do punktu B_1 . Poprowadźmy z punktu B_1 prostopadłą do kierunku szybkości początkowej. Odcinek $B_1F = A_b$ jest przeniesieniem bocznym.

Z trójkąta BB_1F wynika

$$A_b = A \sin i \quad (17)$$

Podstawiając zamiast A jego wartość, określoną ze wzoru (16), mamy

$$A_b = \frac{D \cdot V}{v_0} \sin i \quad (18)$$

Jak wskazuje wzór (18), przeniesienie boczne zależy od donośności, szybkości początkowej, szybkości własnej i kąta osiowego.

Po to, by wiedzieć jakie jest położenie przeniesienia bocznego względem samolotu, trzeba znać kąt nachylenia płaszczyzny przeniesienia. Natomiast wielkość kąta osiowego nie zależy od kąta nachylenia płaszczyzny przeniesienia.

Przykład 12. Określmy przeniesienie boczne dla odległości 400 m, kąta osiowego $i = 45^\circ$, szybkości początkowej $v_0 = 840$ m/sec i szybkości własnej $V = 60$ m/sec.

Rozwiązanie. Stosujemy wzór (18)

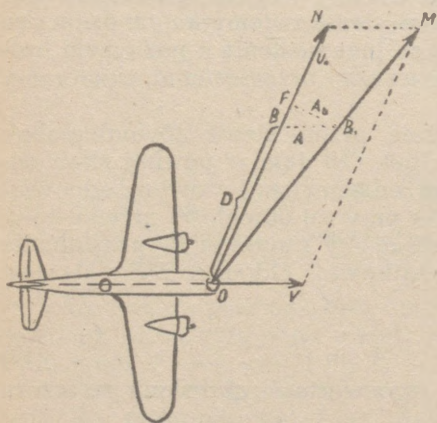
$$A_b = \frac{D \cdot V}{v_0} \sin i = \frac{400 \cdot 60}{840} \sin 45^\circ = \frac{400 \cdot 60}{840} \cdot 0,71 = 20 \text{ m.}$$

Poznanie zależności przeniesienia bocznego od kąta osiowego jest niezbędne dla przestudiowania teorii muszki wiatrowej (§ 24).

C. Obliczenie przeniesienia bocznego w zależności od kąta podniesienia i kąta wychylenia broni.

1. Obliczmy najpierw przeniesienie boczne dla wypadku prostszego, gdy oś lufy tworzy z poziomem kąt tak mały, że można go pominąć.

Wówczas wykres przeniesienia będzie wyglądał tak, jak podano na rys 52, przyjmując, iż płaszczyzna rysunku jest zarazem poziomem. Przeniesienie boczne B_1F mierzy się wzdłuż kierunku prostopadłego do płaszczyzny strzału, przedstawionej na rysunku linią OB . Poprowadziwszy z punktu B_1 prostopadłą do prostej OB otrzymamy trójkąt BB_1F . W trójkącie tym bok BB_1 jest przeniesieniem liniowym, kąt BB_1F , równy kątowi BOV jest kątem wychYLENIA broni, określającym położenie płaszczyzny strzału względem kierunku lotu.



Rys. 52. Wykres przeniesienia przy strzelaniu w przedniej półkuli.

Zważywszy, że w rozpatrywanym wypadku kąt wychYLENIA broni jest zarazem kątem osiowym, możemy posługując się wzorem (18) oraz zastępując i przez b napisać

$$A_b = \frac{D \cdot V}{v_0} \sin b \dots \dots (19)$$

Jeśli kąt wychYLENIA broni jest większy od 90° (rys. 53), to kąt $BB_1F = 180^\circ - b$, zaś $Ab = A \sin (180^\circ - b) = A \sin b$, czyli wzór (19) pozostaje bez zmian.

Przykład 13. Określić przeniesienie boczne przy strzelaniu z samolotu o szybkości $V = 160 \text{ km/godz.}$ dla odległości $D = 400 \text{ m}$, szybkości początkowej $v_0 = 840 \text{ m/sek.}$, kąta wychYLENIA broni $b = 30^\circ$, kąta podniesienia $\alpha = 0^\circ$.

Rozwiązanie. $160 \text{ km/godz.} = 44,4 \text{ m/sek.}$

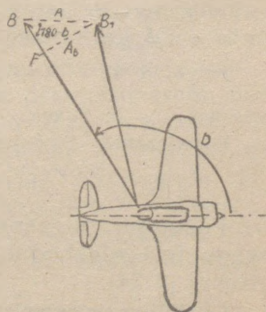
$$A_b = \frac{D \cdot V}{v_0} \sin b = \frac{400 \cdot 44,4}{840} \sin 30^\circ = 21 \cdot 0,5 = 10,5 \text{ m.}$$

2. Obliczenie przeniesienia bocznego dla wypadku, gdy płaszczyzna strzału jest zarazem płaszczyzną symetrii samolotu (rys. 54); wówczas cały wykres przeniesienia leży w płaszczyźnie pionowej, podobnie do tego jak w poprzednim wypadku leżał w płaszczyźnie poziomej. Stosujemy ten sam wzór (19), zastępując kąt wychYLENIA broni przez kąt podniesienia. Wzór wówczas będzie się przedstawiał następująco

$$A_b = \frac{D \cdot V}{v_0} \sin \alpha \dots \dots (20)$$

Kąt podniesienia może zmieniać się w granicach od 0° do 90° , wobec czego należy różniczyć prowadzenie ognia naprzód i w tył. Wzór jednak pozostaje bez zmian.

3. Obliczenie przeniesienia bocznego dla dowolnego położenia broni. Dowolne położenie



Rys. 53. Wykres przeniesienia przy strzelaniu w tylnej półkuli.

broni względem samolotu określa się dwoma kątami — kątem wychylenia broni i kątem podniesienia.

Należy określić wielkość przeniesienia bocznego mając dane V , v_0 , α oraz kąty wychylenia broni b i podniesienia a .

Znajdźmy wzór dający wzajemną zależność tych danych.

Zróbmy wykres przeniesienia dla pewnego kierunku broni (rys. 55). Linia ON jest to linia osi lufy. Przez linię tę prowadzimy płaszczyznę strzału, czyli płaszczyznę pionową OBQ ; kąt BOQ jest kątem podniesienia.

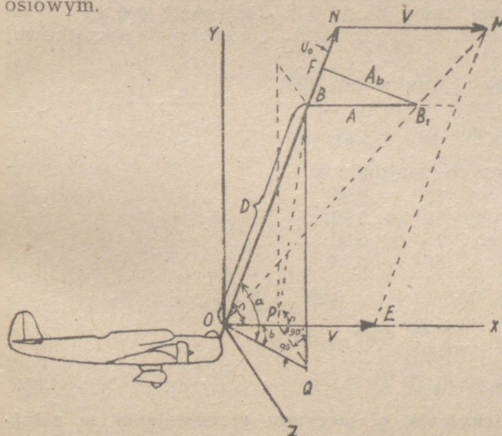
Od punktu wylotu odkładamy w skali szybkość własną samolotu oznaczoną przez V oraz, wzdłuż linii ON , szybkość początkową v_0 .

Na tych dwóch szybkościach budujemy równoległobok. Prowadzimy przekątną OM .

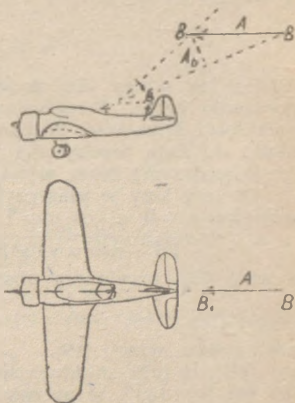
Z punktu B , znajdującego się w odległości D od broni, prowadzimy prostą równoległą do osi samolotu; otrzymamy odcinek BB_1 , który jest przeniesieniem liniowym dla odległości D .

Z punktu B prowadzimy prostopadłą BQ do poziomu.

Przez prostopadłą BQ prowadzimy płaszczyznę BQP prostopadłą do osi samolotu oraz prostą BP ; otrzymamy trzy trójkąty prostokątne: jeden z nich OPQ leży w płaszczyźnie poziomej, drugi OBP w płaszczyźnie pochylej, trzeci BPQ w płaszczyźnie pionowej. Kąt $BOP = i$ leżący w płaszczyźnie pochylej jest, jak wiadomo, kątem osiowym.



Rys. 55. Położenie broni wyznaczone jest dwoma kątami: kątem podniesienia i kątem wychylenia broni lub też kątem osiowym i kątem nachylenia płaszczyzny przeniesienia.



Rys. 54.

Wykres przeniesienia przy strzelaniu w płaszczyźnie symetrii samolotu.

Z trójkąta OBQ mamy:
 $OQ = OB \cos a = D \cos a$.

Z trójkątów OBP i OPQ mamy

$$OP = OB \cos i = D \cos i,$$

$$\begin{aligned} OP &= OQ \cos b \\ &= D \cos a \cos b, \end{aligned}$$

skąd

$$D \cos i = D \cos a \cos b$$

$$\text{lub}$$

$$\cos i = \cos a \cos b \quad (21)$$

W dalszych rozważaniach potrzebny nam będzie $\sin$. Ze znanego wzoru:

$$\sin^2 i + \cos^2 i = 1$$

mamy

$$\begin{aligned} \sin^2 i &= 1 - \cos^2 i \\ &= 1 - \cos^2 a \cdot \cos^2 b; \end{aligned}$$

$$\sin i = \sqrt{1 - \cos^2 a \cdot \cos^2 b} \quad (22)$$

Przeniesienie boczne ze wzoru (18) wynosi

$$A_b = D \frac{V}{v_0} \sin i;$$

podstawiając wartość $\sin i$ ze wzoru (22) otrzymamy przeniesienie boczne w zależności od kąta wychylenia broni i kąta podniesienia

$$A_b = D \frac{V}{v_0} \sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b} \dots \dots \dots (23)$$

Oto są wzory dla określenia przeniesienia bocznego dla dowolnego położenia broni. Przeniesienie boczne, jak wynika ze wzoru, zależy od odległości strzelania, szybkości własnej, szybkości początkowej oraz ponadto od kąta wychylenia broni i kąta podniesienia.

Rozpatrzmy teraz wypadki szczególne położenia broni.

Oś lufy leży w płaszczyźnie poziomej (czyli cel jest poniżej poziomu), wówczas $\alpha = 0$, a $\cos \alpha = 1$;

$$\sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b} = \sqrt{1 - \cos^2 b} = |\sin b| = \sin b.$$

a wzór (23) przybierze postać

$$A_b = D \frac{V}{v_0} \sin b,$$

czyli postać wzoru (19).

Jeśli oś lufy znajduje się w płaszczyźnie symetrii samolotu, to $b = 0^\circ$ lub też $b = 180^\circ$; w pierwszym wypadku $\cos 0 = +1$, w drugim zaś $\cos 180^\circ = -1$, lecz $\cos b = (\pm 1)^2 = 1$;

$$\sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b} = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = |\sin \alpha| = \sin \alpha,$$

a wzór (23) przybiera postać wzoru (20)

$$A = D \frac{V}{v_0} \sin \alpha.$$

Przykład 14. Określić przeniesienie boczne dla strzelania przy kącie podniesienia 15° i kącie wychylenia broni 60° . Odległość 400 m. Szybkość własna 50 m/sec. Broń k. m. wzór D. A. o szybkości początkowej 840 m/sec.

Rozwiązanie. Znajdujemy A_b ze wzoru (23)

$$A_b = \frac{D V}{v_0} \sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b} = \frac{400 \cdot 50}{840} \sqrt{1 - \cos^2 15^\circ \cdot \cos^2 60^\circ}$$

Z tablic trygonometrycznych znajdujemy

$$\cos 15^\circ = 0,96;$$

$$\cos 60^\circ = 0,50;$$

$$\cos^2 15^\circ = 0,92;$$

$$\cos^2 60^\circ = 0,25;$$

$$\sqrt{1 - \cos^2 15^\circ \cdot \cos^2 60^\circ} = \sqrt{1 - 0,23} = \sqrt{0,77} = 0,87;$$

$$A_b = \frac{40 \cdot 50}{840} \cdot 0,87 = 20,8;$$

$$A_b \cong 21 \text{ m.}$$

D. Określenie kąta nachylenia płaszczyzny przeniesienia w zależności od kątów wychylenia broni i podniesienia. Płaszczyzna przeniesienia przechodzi przez punkt wylotu i przeniesienie liniowe. W płaszczyźnie tej leży również przeniesienie boczne, jako znajdujące się wewnątrz trójkąta na wykresie przeniesienia.

Kąt nachylenia płaszczyzny przeniesienia na rys. 51 i 55 oznaczony jest przez n ; leży on w płaszczyźnie PQB (rys. 55) prostopadłej do kierunku lotu (do osi samolotu). Określmy ten kąt w zależności od kąta wychylenia broni b i kąta podniesienia α . Z trójkąta prostokątnego OPQ mamy

$$PQ = OQ \cdot \sin b.$$

Ponieważ $OQ = D \cos \alpha$, więc

$$PQ = D \cos \alpha \cdot \sin b.$$

Rozpatrujemy trójkąt prostokątny POB

$$PB = D \sin i.$$

Z poprzednich rozważań wiemy, że

$$\sin i = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b},$$

wobec czego

$$PB = D \sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b}.$$

Ze stosunku boków trójkąta prostokątnego BPO otrzymujemy

$$\cos n = \frac{PQ}{PB} = \frac{D \cos \alpha \cdot \sin b}{D \sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b}}.$$

Po skróceniu przez D otrzymujemy ostatecznie wzór określający kąt nachylenia płaszczyzny przeniesienia

$$\cos n = \frac{\cos \alpha \sin b}{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b}} \quad (24)$$

Przykład 15. Określić kąt nachylenia płaszczyzny przeniesienia dla kąta podniesienia $\alpha = 30^\circ$ oraz kąta wychylenia broni $b = 60^\circ$.

Rozwiązanie. Z tablic trygonometrycznych znajdujemy

$$\cos 30^\circ = 0,87;$$

$$\sin 60^\circ = 0,87;$$

$$\sin 30^\circ = 0,5$$

$$\cos n = \frac{\cos \alpha \cdot \sin b}{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b}} = \frac{\cos 30^\circ \cdot \sin 60^\circ}{\sqrt{1 - \cos^2 30^\circ \cdot \cos^2 60^\circ}} = \frac{0,87 \cdot 0,87}{\sqrt{1 - 0,87^2 \cdot 0,5^2}} = \frac{0,7569}{\sqrt{1 - 0,1892}} = \frac{0,7569}{\sqrt{0,8108}} = \frac{0,7569}{0,9} = 0,841;$$

skąd $n = 33^\circ$.

E. Obliczenie przeniesienia kąowego. Przeniesienie kąowe jest to kąt, odpowiadający przeniesieniu liniowemu lub bocznemu.

1. Wyprowadźmy w sposób uproszczony wzór, określający przeniesienie kąowe w zależności od kąta osiowego.

Na rys. 51 przeniesieniem kąowym jest kąt FOB_1 , który oznaczmy przez α . Z trójkąta prostokątnego OFB_1 wynika

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{B_1 F}{O F}.$$

gdzie $B_1 F$ jest przeniesieniem bocznym, równym

$$A_b = D \frac{v}{v_0} \sin i.$$

$$OF = OB + BF.$$

Odcinek BF jest rzutem przeniesienia liniowego na kie-

runek strzału: jest to wielkość zmienna, która waha się w granicach od 0 do A (czyli pełnej wartości przeniesienia liniowego). $BF = 0$ dla $i = 90^\circ$ (broń jest prostopadła do osi samolotu) oraz $BF = A$, gdy kierunek strzelania jest zgodny z kierunkiem osi samolotu, czyli dla $i = 0$ lub $i = 180^\circ$.

Przeniesienie liniowe stanowi 5 — 7% donośności. Jeśli robimy obliczenie z grubsza, to wielkość tę możemy pominąć. Wówczas otrzymamy w przybliżeniu

$$OF = OB, \text{ ponieważ } OB = D, \text{ więc } OF \cong D,$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{B_1 F}{OF} = \frac{A_b}{D} = \frac{D \cdot V}{D \cdot v_0} \sin i,$$

skąd po skróceniu przez D otrzymamy uproszczony wzór, wyrażający przeniesienie kątowe w zależności od kąta osiowego

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V}{v_0} \sin i \quad \dots \quad (25)$$

Przykład 16. Określić przeniesienie kątowe stosując wzór przybliżony, jeśli kąt osiowy $i = 45^\circ$, $v_0 = 840$ m/sec i $V = 60$ m/sec.

Rozwiązanie. Stosujemy wzór (25)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V}{v_0} \sin i = \frac{60}{840} \sin 45^\circ = \frac{60}{840} \cdot 0,71 = 0,051.$$

Z tablic trygonometrycznych znajdujemy

$$\alpha = 2^\circ 55' \cong 3^\circ.$$

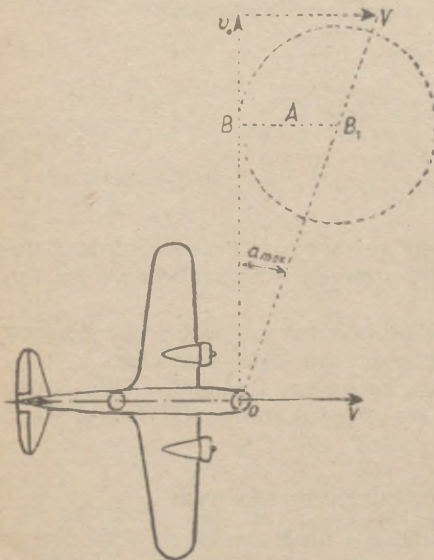
Przeniesienie kątowe, jak widać ze wzoru (25) oraz z rys. 56, będzie największe wówczas, gdy kierunek osi lufy będzie prostopadły do kierunku lotu.

Maksymalne przeniesienie kątowe określa się z trójkąta prostokątnego OBB_1 (rys. 56)

$$\sin \alpha_{\max} = \frac{A}{D}$$

Podstawiając wartość A ze wzoru (16) i skracając przez D mamy

$$\sin \alpha_{\max} = \frac{D \frac{V}{v_0}}{D} = \frac{V}{v_0}.$$



Rys. 56. Położenie broni przy maksymalnym przeniesieniu kątowym.

Z rys. 56 widzimy, że kąt osiowy i przy strzelaniu w poziomie (jak i równy m w tym wypadku kąt wychylenia broni) odpowiadający $a_{\max}$ jest sumą kąta prostego i maksymalnego przeniesienia kąтового

$$i = 90^\circ + a_{\max}.$$

2. Jeśli nie chcemy pominąć wielkości rzutu przeniesienia liniowego na kierunek strzelania to

$$OF = OB + BF = D + A \cos i = D + \frac{D \cdot V}{v_0} \cos i.$$

Przeniesienie kątowe

$$\operatorname{tg} a = \frac{B, F}{OF} = \frac{D \frac{V}{v_0} \sin i}{D + D \frac{V}{v_0} \cos i}.$$

Podzielimy licznik i mianownik przez wyraz $D \frac{V}{v_0}$, a wówczas otrzymamy wzór dla określenia przeniesienia kąowego w zależności od kąta osiowego

$$\operatorname{tg} a = \frac{\sin i}{\frac{v_0}{V} + \cos i} \quad (26)$$

Przykład 17. Określić przeniesienie kątowe, jeśli kąt osiowy $i = 45^\circ$, $v_0 = 840$ m/sek. i $V = 60$ m/sek.

Rozwiązanie. Stosujemy wzór (26)

$$\operatorname{tg} a = \frac{\sin i}{\frac{v_0}{V} + \cos i} = \frac{\sin 45^\circ}{\frac{840}{60} + \cos 45^\circ} = \frac{0,71}{14 + 0,71} = 0,048.$$

Z tablic trygonometrycznych znajdujemy $a \cong 2^\circ 45' \cong 3^\circ$.

Porównując ten wynik z wynikiem, otrzymanym w przykładzie poprzednim dochodzimy do wniosku, że dla obliczeń praktycznych można stosować wzór (25) jako prostszy.

3. Dla określenia przeniesienia kąowego w zależności od kątów podniesienia i wychylenia broni posługiwać się będziemy wzorami poprzednio wprowadzonymi (21), (22), (25), (26).

We wzorze (25)

$$\operatorname{tg} a = \frac{V}{v_0} \sin i.$$

podstawiamy $\sin i$, posługując się wzorem (22)

$$\sin i = \sqrt{1 - \cos^2 a \cdot \cos^2 b};$$

otrzymujemy uproszczony wzór dla określenia przeniesienia kąowego w zależności od kątów podniesienia i wychylenia broni.

$$\operatorname{tg} a = \frac{V}{v_0} \sqrt{1 - \cos^2 a \cdot \cos^2 b} \quad (27)$$

Wzór ścisły otrzymamy wychodząc ze wzoru (26) dla wyznaczenia $\operatorname{tg} a$

$$\operatorname{tg} a = \frac{\sin i}{\frac{v_0}{V} + \cos i}$$

i podstawiając $\sin i$ ze wzoru (22) oraz $\cos i$ ze wzoru (21) $\cos i = \cos \alpha \cdot \cos b$.

Ostatecznie otrzymamy ścisły wzór dla określenia przeniesienia kąto-
wego w zależności od kątów podniesienia i wychylenia broni

$$\operatorname{tg} a = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b}}{\frac{v_0}{V} + \cos \alpha \cdot \cos b} \quad (28)$$

Przy strzelaniu w poziomie, gdy kąt $\alpha = 0$ lub jest on tyle mały, że można go pominąć (mniej niż 1°), $\cos \alpha = \cos 0^\circ = 1$, a wzór (28) przybierze postać

$$\operatorname{tg} a = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 b}}{\frac{v_0}{V} + \cos b} = \frac{\sqrt{\sin^2 b}}{\frac{v_0}{V} + \cos b} = \frac{\sin b}{\frac{v_0}{V} + \cos b} \quad (29)$$

Przy strzelaniu w płaszczyźnie pionowej, przechodzącej przez oś samolotu, czyli w płaszczyźnie symetrii samolotu $b = 0$, $\cos b = \cos 0^\circ = 1$; wzór (28) przybierze analogiczną postać jak i w wypadku strzelania w płaszczyźnie poziomej z tym, że kąt b zostanie zastąpiony przez kąt α

$$\operatorname{tg} a = \frac{\sin \alpha}{\frac{v_0}{V} + \cos \alpha} \quad (30)$$

Przykład 18. Określić przeniesienie kątowe przy strzelaniu pod kątem podniesienia 45° i przy kącie wychylenia broni 45° . Szybkość własna samolotu $V = 50$ m/sec.

Szybkość początkowa pocisku $v_0 = 835$ m/sec.

Rozwiązanie.

1. Stosujemy wzór skrócony (27); z tablic trygonometrycznych znajdujemy: $\cos 45^\circ = 0,707$;

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} a &= \frac{V}{v_0} \sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cos^2 b} = \frac{50}{835} \sqrt{1 - 0,707^2 \cdot 0,707^2} = \\ &= \frac{50}{835} \sqrt{1 - 0,5 \cdot 0,5} = \frac{50}{835} \sqrt{1 - 0,25} = \frac{50}{835} \sqrt{0,75} = \frac{50}{835} \cdot 0,866 = \\ &= 0,06 \cdot 0,866 = 0,0518. \end{aligned}$$

Znajdujemy z tablic z dokładnością do $1'$,

$$a = 2^\circ 58'$$

lub też zaokrąglając do całych stopni

$$a \cong 3^\circ.$$

2. Stosując wzór pełny (28) mamy

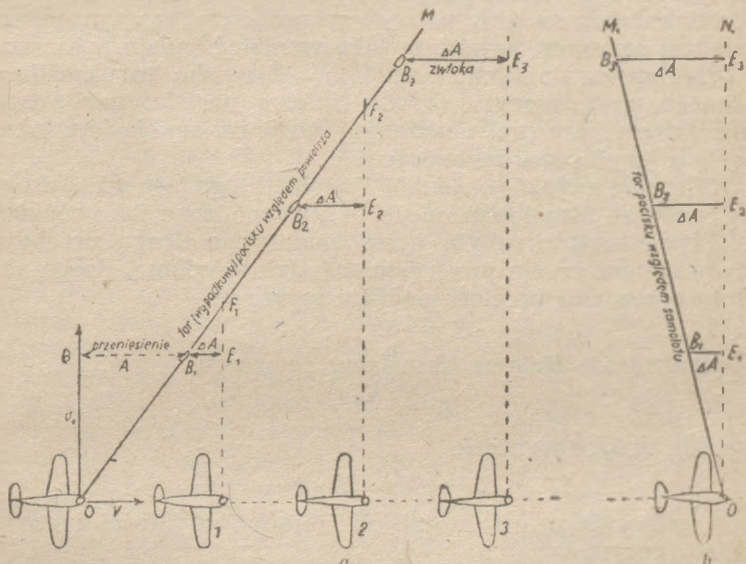
$$\begin{aligned} \operatorname{tg} a &= \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cos^2 b}}{\frac{v_0}{V} + \cos \alpha \cos b} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 45^\circ \cdot \cos^2 45^\circ}}{\frac{835}{50} + \cos 45^\circ \cdot \cos 45^\circ} = \\ &= \frac{\sqrt{1 - 0,707^2 \cdot 0,707^2}}{\frac{835}{50} + 0,707 \cdot 0,707} = \frac{\sqrt{1 - 0,25}}{16,7 + 0,5} = \frac{0,866}{17,2} = 0,0503. \end{aligned}$$

Z tablic $a = 2^\circ 53'$ lub $a \cong 3^\circ$.

Różnica wyników obliczonych za pomocą wzorów skróconego i pełnego jest tak mała, że w warunkach praktycznych roli nie odgrywa.

§ 22. Zwłoka pocisku. Przy wyznaczaniu przeniesienia budujemy równoległobok na szybkościach v_0 i V . Przekątna równoległoboku jest drogą wypadkową pocisku (rys. 57).

Odlóżmy w pewnej skali odległość OB_1 , przebywaną przez pocisk w ciągu 1 sekundy i poprowadźmy prostą BB_1 , równoległą do kierunku lotu; w końcu pierwszej sekundy pocisk znajduje się w punkcie B_1 . Gdyby opór powietrza nie było, to pocisk znalazłby się w punkcie F_1 , czyli odcinek B_1F_1 jest stratą drogi, spowodowaną zmniejszeniem się jego szybkości.



Rys. 57 a, b. Zwłoka pocisku,

Rozpatrzmy jakie położenie zajmie pocisk względem samolotu. Samolot szybkości nie traci, gdyż opór powietrza jest pokonywany przez ciąg śmigła, wobec czego pocisk, którego szybkość maleje, będzie się opóźniał względem samolotu.

Weźmy kilka kolejnych odstępów czasu 1, 2, 3 i określmy punkty, w których znajdzie się kolejno pocisk oraz punkty, w których znajdzie się samolot (rys. 57). Wraz z samolotem przesuwać się będzie płaszczyzna strzału oznaczona na rysunku linią kreskowaną. Gdyby pocisk nie opóźniał się względem

samolotu, to musiałby pozostawać stale w przesuwającej się płaszczyźnie strzału; po wystrzeleniu z lufy pocisk znalazłby się pod koniec każdego z wymienionych okresów czasu w punktach F_1, F_2, F_3 . W rzeczywistości jednak znajduje się on w punktach B_1, B_2, B_3 . Odcinki $B_1 E_1, B_2 E_2, B_3 E_3$ są to kolejne wielkości zwłoki liniowej pocisku względem samolotu.

Odlóżmy odcinki te (rys. 57b) od płaszczyzny strzału ON , przesuwającej się wraz z samolotem. Końce tych odcinków dają nam tor pocisku względem samolotu. Widzimy więc, że tor pocisku względem powietrza OM jest linią prostą, tor zaś względem samolotu OM_1 jest linią krzywą.

Jakiegokolwiek nadamy położenie karabinowi maszynowemu względem samolotu, zawsze zwłoka wzrastać będzie w kierunku przeciwnym do ruchu samolotu. Zjawisko to określimy w sposób następujący: *zwłoką liniową pocisku nazywamy stratą¹⁾ drogi przy ruchu nadanym mu przez szybkość własną samolotu (czyli przez przenoszenie).*

Obliczenie zwłoki pocisku. Zwłoka, która jest stratą drogi przy ruchu za samolotem, może być wyznaczona jako różnica pomiędzy drogą, przebytą przez samolot, a drogą przebytą w tym samym czasie przez pocisk. Jak wiadomo, droga samolotu przez czas przelotu pocisku wyniesie

$$L = V \cdot t.$$

Przeniesienie liniowe określamy ze wzoru

$$A = \frac{V \cdot D}{v_0};$$

wówczas zwłoka wyniesie

$$\Delta A = L - A = V \cdot t - \frac{V \cdot D}{v_0}.$$

Określmy D w zależności od średniej szybkości i czasu przelotu pocisku

$$D = v_{sr} \cdot t,$$

wówczas

$$\Delta A = V \cdot t - \frac{V \cdot D}{v_0} = V \cdot t - \frac{V \cdot v_{sr} \cdot t}{v_0} = \frac{V \cdot v_0 \cdot t - V \cdot v_{sr} \cdot t}{v_0};$$

ostatecznie

$$\Delta A = Vt \frac{v_0 - v_{sr}}{v_0} \quad (31)$$

Wyraz $\frac{v_0 - v_{sr}}{v_0}$ określa straconą przy ruchu pocisku część szybkości.

¹ Czyli różnicę w drogach przebytych przez samolot i przez rzut pocisku na kierunek lotu samolotu (przyp. tłum.)

Wzór (31) możemy również przedstawić w takiej postaci

$$\Delta A = \frac{V \cdot D}{v_{\text{śr}}} \cdot \frac{v_0 - v_{\text{śr}}}{v_0}$$

Jeśli znamy zwłokę pocisku, to przeniesienie możemy otrzymać jako różnicę pomiędzy drogą samolotu, przebytą przez czas przelotu pocisku, a zwłoką

$$A = V \cdot t = \Delta A.$$

Przykład 19. Określić zwłokę pocisku dla odległości 400 m przy strzelaniu z samolotu o szybkości 50 m/sek.

Szybkość początkowa k. m. $v_0 = 840$ m/sek., średnia szybkość przelotu pocisku na odległość 400 m $v_{\text{śr}} = 727$ m/sek.

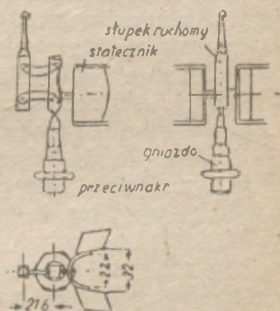
Rozwiązanie.

$$\Delta A = \frac{V \cdot D}{v_{\text{śr}}} \cdot \frac{v_0 - v_{\text{śr}}}{v_0} = \frac{50 \cdot 400}{727} \cdot \frac{840 - 727}{840} \cong 3,6 \text{ m.}$$

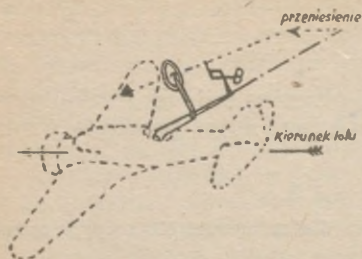
§ 23. Muszka wiatrowa. Zasada konstrukcji. W § 21 wspomniano iż dla każdego punktu toru pocisku zbudować można sferę przeniesienia (powierzchnię kulistą). Broń musi również posiadać przyrząd, pozwalający na uwzględnienie różnych kierunków przeniesień liniowych, których końce tworzą sferę.

Jedną z właściwości przeniesienia liniowego jest ta, że jest ono zawsze równoległe do osi samolotu. Kierunek strug powietrza w miejscach wolnych od zaburzeń jest też równoległy do osi samolotu. Stąd powstała myśl wykorzystania znanej konstrukcji wiatrowskazu, który, jak wiadomo, ustawia się zawsze w płaszczyźnie wiatru. Ponieważ urządzenie takie należało umieścić możliwie daleko od osi samolotu, więc umieszczono je na lufie w pobliżu wylotu, w miejscu dotychczasowej muszki. W ten sposób powstała konstrukcja muszki wiatrowej.

Z założenia konstrukcyjnego wynika, że muszka wiatrowa funkcjonować będzie tylko wtedy, gdy strugi powietrza są równoległe do osi samolotu. Ponadto, ze względu na konstrukcję przegubu, kulka muszki nie jest w stanie opisać pełnej powierzchni kuli. Muszki wiatrowe dają możliwość uwzględnienia przeniesienia przy kątach podniesienia nie przekraczających 70° .



Rys. 58. Angielska muszka wiatrowa wz. 1915.



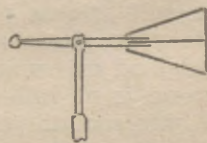
Rys. 59.
Działanie muszki wiatrowej w locie.

Najprostszą konstrukcję ma muszka angielska Normana, wzór 1915 r. (rys. 58). Składa się ona z równoległoboku przegubowego, obracającego się na czopie. Równoległobok przegubowy jest utworzony przez słupkę zakończony kulką, dźwigienkę górną oraz dźwigienkę dolną ze statecznikami. Połączenie przegubowe posiada śrubki o zakończeniach stożkowych. Oś muszki osadzona jest za pośrednictwem czopa w łożysku i zabezpieczona przed przesuwem podłużnym. Łożysko umieszczone jest w gnieździe i zabezpieczone za pomocą zawlecжки. Gniazdo wstawia się w podstawę muszki na k. m.

Rys. 59 przedstawia położenie, które przybiera muszka wiatrowa odpowiednio do ruchu samolotu. Dźwigienki równoległoboku są równoległe do osi samolotu, statecznik pod działaniem prądu powietrza ustawił się w tyle, kulka zaś zwrócona jest w kierunku lotu. Umieszczając kulkę w środku pierścienia otrzymujemy kierunek, zbliżony do toru przeniesionego.

Położenie linii celowania przy przenoszeniu zwiemy *przeniesioną linią celowania*. Linia ta leży w przeniesionej płaszczyźnie strzału i wskazuje kierunek, w którym leci pocisk. Na tej podstawie uarto się określenie praktyczne: „muszka wskazuje tam, gdzie leci pocisk”. Zwróćmy uwagę na położenie osi lufy; widzimy iż jest ona przekreślona w kierunku przeciwnym do lotu¹). Kierunek przeniesionej linii celowania wyznaczony jest przez kierunek i długość dźwigienek równoległoboku. Długość ta powinna być dobrana w zależności od długości przeniesienia oraz odległości muszki od pierścienia celowniczego. Odległość od muszki celownika nazywa się jak już wiadomo (§ 13) *długością linii celownika*.

Dźwigienki muszki wiatrowej, mające właściwy wymiar, wyznaczają automatycznie przeniesienie katowe, ustawiając się w kierunku ruchu.



Rys. 60. Francuska muszka wiatrowa.

¹ Poprawkę w kierunku broni nadawaną dla uwzględnienia wpływu przeniesienia zwiemy poprawką strzelca (przyp. tłum.).

Konstrukcja statecznika powinna zapewniać należyte ustalenie się położenia równoległoboku w prądzie powietrza o dowolnej szybkości. Jeśli położenie równoległoboku jest chwiejne, to powstaną wahania, które utrudnią dokładne celowanie. Statecznik powinien przy wszystkich położeniach k. m. zachowywać równoległość dźwigienek w kierunku ruchu, bez wahań i opóźnień. Statecznik systemu Normana stosowany w Sowietach, Anglii i Niemczech daje pod tym względem wyniki zadowalające. Zapewnia on ustalenie się położenia przy dowolnej szybkości lotu wówczas, gdy nie ma zaburzeń.

Ponieważ w samolotach współczesnych przy stanowiskach k. m. zachodzą stosunkowo znaczne zaburzenia, naruszające prawidłową pracę muszek wiatrowych, istnieje tendencja zastąpienia ich przez celowniki samoczynne (§ 25).

Francuska muszka wiatrowa Le-Prieura (rys. 60) ma statecznik czteroskrzydłowy, lecz nie posiada równoległoboku; kulka znajduje się na ramieniu dźwigni, a po przeciwległej stronie przymocowany jest statecznik. Statecznik czteroskrzydłowy pracuje zadawalająco, lecz nie wykazuje żadnych zalet w porównaniu z systemem Normana.



Rys. 62.
Prawidłowa
konstrukcja
muszki
wiatrowej
o słupku
przesuwającym.

Muszka wiatrowa ze skalą szybkości. Długość dźwigienek powinna zmieniać się ze zmianą szybkości samolotu. Pierwsze próby w tym kierunku polegały na wprowadzeniu dodatkowego regulowanego ramienia (rys. 61). Takie urządzenie jednak nie zapewniało poruszania się kulki muszki po powierzchni kulistej, a więc zasada ta okazała się niekorzystna.

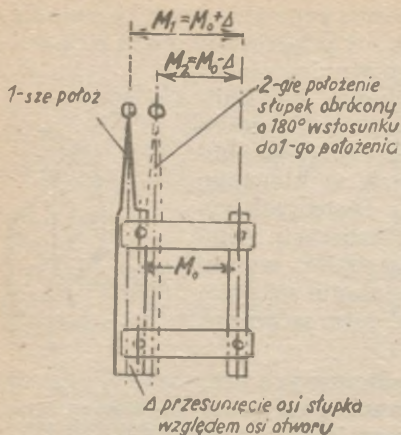
W muszkach typów późniejszych zastosowano przesuwany słupek (rys. 62). Słupek jest przesuwany wzdłuż wykroju lub też przestawiany do różnych otworów.

Otworów powinno być tyle, ile się bierze szybkości samolotu, lecz jeśli wprowadzić jeszcze zmianę ramienia, to ilość otworów można zmniejszyć dwukrotnie.

W tym celu oś słupka jest przesunięta względem linii otworów o połowę podziałki. Zakładając słupek jedną lub drugą



Rys. 61.
Nieprawidłowa
konstrukcja muszki
wiatrowej o regulowanym
ramieniu.



Rys. 63. Przesuwane i obracane ramie muszki wiatrowej.

stroną, czyli obracając go o 180° dookoła osi, otrzymujemy przesunięcie o żadaną wielkość (rys. 63).

Słupek stały muszki wiatrowej. Jak wynika z zasady konstrukcji, muszka wiatrowa pracować może tylko tam, gdzie strugi powietrza płyną w sposób prawidłowy. Jeśli natomiast przód lufy znajduje się w pobliżu części samolotu i trafia w miejsce zerwania się strug lub zaburzeń, muszka wiatrowa ustawia się nieprawidłowo, a czasem nawet wykonuje nieregularne wahania; w takich

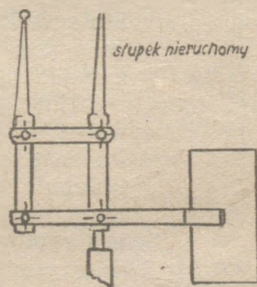
wypadkach muszka wiatrowa staje się zupełnie bezużyteczna.

Poważnym brakiem muszki wiatrowej jest również ograniczenie zakresu jej stosowania do kątów podniesienia mniejszych od 70° . Powyżej 70° dźwigienny opierają się o słupek muszki i nie mogą dać żądanej poprawki.

Kulka nie opisuje całkowitej kuli, jak tego wymagają warunki strzelania, lecz jedynie pas powierzchni kulistej. Wysokość tego pasa zależy od konstrukcji muszki.

Aby strzelec w walce nie pozostał bez celownika, zastosowano tzw. **słupek stały** (rys. 64). Zasadniczym zadaniem słupka stałego muszki wiatrowej jest wytyczenie linii bezpośredniego celowania, niezależnie od działania muszki wiatrowej. Słupek stały ponadto używany jest przy przystrzeliwaniu celownika. Użycie słupka stałego opisane będzie niżej (§ 34).

Obliczenie muszki wiatrowej. Muszka wiatrowa wprowadza poprawkę na przeniesienie kątowe, przekręcając linię celowania bezpośredniego o żądany kąt przeniesienia. Na rys. 65 kąt ten oznaczony jest przez α . Jak już wyjaśniliśmy muszka wiatrowa odtwarza na k.m. sferę przeniesień w skali zmniejsz-



Rys. 64.
Muszka wiatrowa z dodatkowym słupkiem nieruchomym.

szonej, a dźwigienka bb_1 jest jakby zmniejszonym przeniesieniem liniowym.

Najprostsze wyprobowanie wzoru dla obliczenia wymiarów muszki wiatrowej oparte jest na przeniesieniu liniowym.

Z rys. 65 wynika, że trójkąty OBB_1 i obb_1 są podobne, gdyż, dzięki konstrukcji dźwigienki muszki wiatrowej, są zawsze równoległe do przeniesienia liniowego.

Z podobieństwa trójkątów mamy

$$\frac{bb_1}{ob} = \frac{BB_1}{OB}$$

Wprowadźmy oznaczenia: długość dźwigienki bb_1 — M , długość linii celownika ob — l , przeniesienie liniowe BB_1 — A , odległość od punktu B do punktu O — D .

Podstawiając te oznaczenia otrzymamy

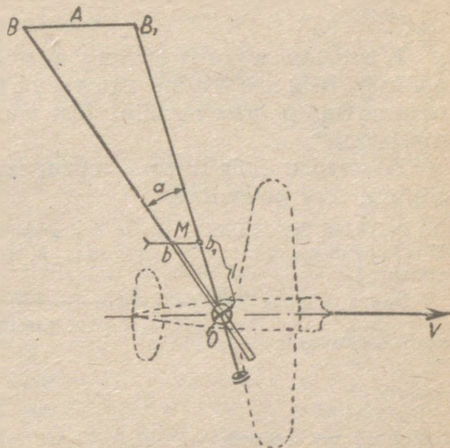
$$\frac{M}{l} = \frac{A}{D} \quad (32)$$

Posługiwanie się tym wzorem nie jest dogodne, gdyż daje on zależność długości dźwigienki od wielkości zmiennych A i D .

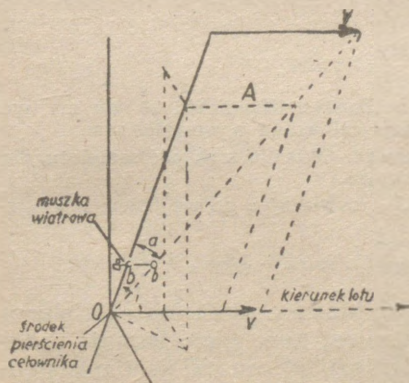
Wyżej, przy wyznaczaniu długości przeniesienia liniowego, mieliśmy wzór (16)

$$\frac{A}{D} = \frac{V}{v_0}$$

We wzorze (32) zastępujemy iloraz $\frac{A}{D}$ przez równy mu $\frac{V}{v_0}$ i otrzyma-



Rys. 65. Wykres przeniesienia dla obliczenia długości ramienia muszki.



Rys. 66. Wykres przestrzenny przeniesienia wyjaśniający działanie muszki wiatrowej.

my wzór użytkowy dla określenia długości dźwigienek muszki wiatrowej

$$\frac{M}{l} = \frac{V}{v_0} \dots \dots \dots (33)$$

Wzór ten wyprowadzony został dla poziomego położenia osi lufy, lecz nie trudno zauważyć (rys. 66), że ten sam sposób rozumowania oraz rezultat jest ważny dla dowolnego położenia broni.

Ze wzoru (33) można wyznaczyć jedną z wielkości, jeśli się zna trzy pozostałe.

Przykład 20. Obliczyć długość dźwigni muszki wiatrowej dla szybkości $V = 140 \text{ km/godz.}$ oraz 160 km/godz. , k. m. wzór D. A. o szybkości $v_0 = 840 \text{ m/sek.}$

Dane: długość linii celownika $l = 430 \text{ mm}$,

szybkość własna samolotu a) $V = \frac{140}{3,6} = 38,9 \text{ m/sek.}$

b) $V = \frac{160}{3,6} = 44,4 \text{ m/sek}$

Szybkość początkowa pocisku $v_0 = 840 \text{ m/sek.}$

Należy obliczyć M .

Rozwiązanie. Stosujemy wzór (33) rozwiązując go względem M

$$\text{a) } M = \frac{l \cdot V}{v_0} = \frac{430 \cdot 38,9}{840} = 20,03 \cong 20 \text{ mm},$$

$$\text{b) } M = \frac{l \cdot V}{v_0} = \frac{430 \cdot 44,4}{840} = 22,84 \cong 22,8 \text{ mm}.$$

Jeśli chcemy mieć jeden otwór w ramieniu muszki dla obydwóch szybkości, to musi on być przesunięty względem osi słupka muszki o połowę różnicy obliczonych długości, przy czym słupek będzie ustawiony jedną lub drugą stroną.

Przesunięcie osi wynosi

$$\frac{22,8 - 20}{2} = 1,4 \text{ mm}.$$

Przykład 21. Muszka wiatrowa o długości dźwigienki 20 mm ma być ustawiona na k. m., gdzie długość linii celownika wynosi 430 mm .

Szybkość początkowa $v_0 = 840 \text{ m/sek.}$ Określić szybkość samolotu, dla jakiej obliczona została muszka wiatrowa.

Rozwiązanie. Stosujemy wzór (33); rozwiązując go względem V otrzymamy

$$V = \frac{M \cdot v_0}{l} = \frac{20 \cdot 840}{430} = 39 \text{ m/sek. lub } 39 \cdot 3,6 = 140 \text{ km/godz.}$$

§ 24. Muszka pierścieniowa. Muszka pierścieniowa stosowana jest zamiast muszki wiatrowej tam, gdzie istnieją zaburzenia opływu powietrza. Zadaniem tej muszki jest uwzględnienie szybkości własnej samolotu, czyli wprowadzenie poprawki na przeniesienie.

Głównymi częściami składowymi są (rys. 67) słupek z pierścieniem i śrubą dociskową oraz obsada z przeciwną krętką. W środku pierścienia słupek zakończony jest kulką. Na wewnętrznym obwodzie pierścienia znajdują się słupki dodatkowe do wyznaczania punktów celowniczych dla pewnych kątów, określających położenie k.m. względem samolotu.

Przy celowaniu należy wybrać w pierścieniu punkt, którego położenie zależne jest od kąta, o jaki obrócony został k.m. oraz od szybkości własnej samolotu.

Muszką pierścieniową jest urządzeniem prymitywnym, wymaga bowiem od strzelca wyznaczenia na oko punktu celowniczego w chwili strzelania.

Obliczenie muszki pierścieniowej. Zasadniczymi częściami muszki pierścieniowej są: słupek z kulką oraz pierścień. Kulka środkowa służy do celowania tylko w tym wypadku, gdy kierunki lotu i osi lufy są zgodne lub też przeciwne; ma to miejsce wówczas gdy kąt wychylenia broni wynosi 0° lub 180° , kąt podniesienia jest równy 0, a przeniesienia nie ma. Kulka muszki umieszczona jest wówczas w środku pierścienia.

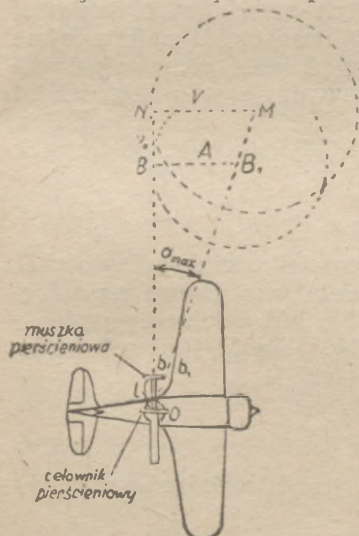
W tych wypadkach, gdy kierunek szybkości początkowej tworzy z osią samolotu kąt większy od 0° lecz mniejszy od 180° , trzeba wyznaczać punkty celownicze. Sam pierścień jest zewnętrzną granicą położenia punktów celowniczych.

Promień pierścienia muszki musi być obliczony tak, by odpowiadał największej wartości przeniesienia kąowego. Maksymalne przeniesienie kąowe zachodzi wówczas, gdy przeniesiona płaszczyzna strzału jest styczna do powierzchni kulistej przeniesień (rys. 68 i 69). Z podobieństwa trójkątów mamy

$$\frac{bb_1}{MN} = \frac{Ob}{OM}$$



Rys. 67. Muszka pierścieniowa.



Rys. 68. Wykres przeniesienia dla obliczenia muszki kołowej.

otrzymamy

$$r_m = \frac{l}{D} A_b = \frac{l}{D} \cdot \frac{D \cdot V}{v_0} \sin i.$$

Skracamy przez D

$$r_m = \frac{l \cdot V}{v_0} \sin i \quad (36)$$

W praktyce wygodne bywa przedstawienie r_m jako części promienia pierścienia R_m .

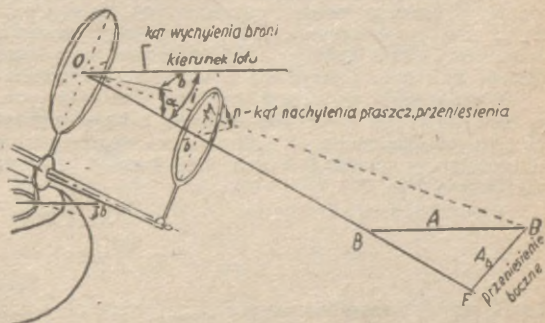
W tym celu znajdziemy stosunek $\frac{r_m}{R_m}$.

Ze wzorów (35) i (36) mamy

$$\frac{r_m}{R_m} = \frac{\frac{l \cdot V}{v_0} \sin i}{\frac{l \cdot V}{v_0}}$$

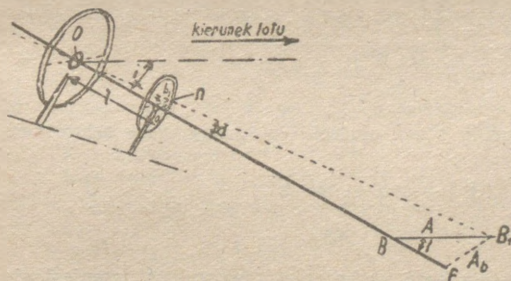
skąd

$$\frac{r_m}{R_m} = \sin i \quad (37)$$



Rys. 70. Wykres wyznaczający położenie punktów celowniczych muszki kołowej w zależności od kąta osłowego.

Część promienia pierścienia muszki wyznaczająca punkt celowniczy równa się liczbowo sinusowi kąta osłowego broni.



Rys. 71. Wykres dla obliczenia położenia punktów celowniczych w zależności od kątów podniesienia i wychylenia broni.

Gdy znamy już część promienia pierścienia muszki, musimy określić jeszcze, na którym z promieni należy brać punkt celowniczy. Dla określenia go należy zmierzyć kąt nachylenia płaszczyzny przeniesienia. Należy uzmysłowić sobie płaszczyznę, przechodzącą przez oś lufy broni i oś samolotu, w płaszczyźnie tej odłożyć na oko wybraną część promienia, nadając mu zwrot zgodny z ruchem samolotu czyli tak, by koniec odcinka promienia znalazł się bliżej przodu samolotu.

Przykład 22. Strzelanie odbywa się z k. m. będącego w położeniu podanym na rys. 70. Kąt osiowy wynosi 30° , a kąt nachylenia płaszczyzny przeniesienia 45° .

Określić punkt celowniczy w pierścieniu muszki.

Rozwiązanie. Część promienia pierścienia muszki znajdujemy ze wzoru (37).

$$\frac{r_m}{R_m} = \sin i = \sin 30^\circ = \frac{1}{2}.$$

Wytyczony promień tworzy ze średnicą poziomą kąt 45° . Dla skontrolowania wybranego punktu celowniczego należy sobie wyobrazić położenie kulki muszki wiatrowej, którą mogliśmy umieścić zamiast muszki pierścieniowej. Rzut kulki muszki wiatrowej na płaszczyznę muszki pierścieniowej powinien pokryć się z wybranym punktem celowniczym.

Wyznaczenie położenia punktów celowniczych w pierścieniu muszki w zależności od kąta podniesienia i kąta wychylenia broni. Położenie punktu celowniczego M określamy współrzędnymi biegunowymi, czyli długością promienia i kątem jaki tworzy promień ze średnicą poziomą pierścienia (rys. 71).

Z podobieństwa trójkątów ObM i OBF , mamy

$$\frac{bM}{Fb_1} = \frac{Ob}{OB + BF}.$$

Zastąpmy poszczególne wyrazy oznaczeniami, wprowadzonymi poprzednio

$$\frac{r_m}{A_b} = \frac{1}{D + A \cdot \cos i}.$$

Rozwiązując równanie względem r_m oraz dokonując zmiany według wzorów (16), (21), (23) mamy

$$r_m = \frac{1 \cdot \frac{D \cdot V}{v_0} \sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b}}{D + \frac{D \cdot V}{v_0} \cos \alpha \cdot \cos b}$$

Dzieląc licznik i mianownik przez ułamek $\frac{D \cdot V}{v_0}$ otrzymamy ostatecznie

$$r_m = \frac{1 \sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b}}{\frac{v_0}{V} + \cos \alpha \cdot \cos b} \quad \dots \quad (38)$$

Kąt n (rys. 70) jest rzutem kąta nachylenia płaszczyzny przeniesienia na płaszczyznę prostopadłą do linii celowania; wyznacza się go w zależności od kątów podniesienia i wychylenia broni.

Podajemy wzór

$$\cos n = \frac{\sin b}{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b}} \quad \dots \quad (24a)$$

Przykład 23. Obliczyć promień muszki pierścieniowej oraz wyznaczyć położenie punktów celowniczych dla kątów podniesienia $\alpha = 45^\circ$ i wychylenia broni $b = 45^\circ$.

Szybkość własna samolotu $V = 50$ m/sek., szybkość początkowa pocisku $v_0 = 840$ m/sek., długość linii celownika $l = 400$ mm.

Rozwiązanie. Stosując wzory (24) i (38) obliczamy

$$\begin{aligned} \frac{v_0}{V} &= \frac{840}{50} = 16,8; \\ \sin 45^\circ &= \cos 45^\circ = 0,7071; \sin^2 45^\circ = \cos^2 45^\circ = 0,707^2 = 0,5; \\ \cos n &= \frac{\sin b}{\sqrt{1 - \cos^2 a \cdot \sin^2 b}} = \frac{0,7071}{\sqrt{1 - 0,25}} = \frac{0,7071}{\sqrt{0,75}} = \frac{0,7071}{0,866} = 0,805; \quad n \cong 36^\circ 23'; \\ r_m &= \frac{l \sqrt{1 - \cos^2 a \cdot \cos^2 b}}{\frac{v_0}{V} + \cos a \cdot \cos b} = \frac{400 \cdot 0,866}{16,8 + 0,5} = \frac{346}{17,3} = 20 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Promień muszki pierścieniowej

$$\begin{aligned} R_m &= \frac{l \cdot V}{\sqrt{v_0^2 - V^2}} = \frac{400 \cdot 50}{\sqrt{835^2 - 50^2}} = \frac{20000}{\sqrt{697225 - 2500}} = \frac{20000}{\sqrt{694725}} \\ &= \frac{20000}{833} = 24 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Zważywszy, że we wzorze (38)

$$r_m = \frac{l \cdot V \sqrt{1 - \cos^2 a \cdot \cos^2 b}}{\frac{v_0}{V} + \cos a \cdot \cos b}$$

drugi wyraz mianownika $\cos a \cdot \cos b$ jest co do wielkości mały w porównaniu z wyrazem pierwszym $\frac{v_0}{V}$, możemy wzór uprościć podając go w takiej formie (odrzucając wyraz $\cos a \cos b$):

$$r_m = \frac{l \cdot V}{v_0} \sqrt{1 - \cos^2 a \cdot \cos^2 b} \quad (39)$$

Sprawdźmy wzór (39) dla skrajnych wypadków

1. Strzelanie naprzód.

Kąt podniesienia $\alpha = 0$,

Kąt wychylenia broni $b = 0$.

cos $\alpha = \cos 0^\circ = 1$ oraz $\cos b = \cos 0^\circ = 1$.

$$r_m = \frac{l \sqrt{1 - \cos^2 a \cdot \cos^2 b}}{\frac{v_0}{V} + \cos a \cdot \cos b} = \frac{l \sqrt{1 - 1}}{\frac{v_0}{V} + 1} = 0.$$

Równość $r_m = 0$ wskazuje, iż punktem celowania jest środek pierścienia muszki. Ze wzoru (24) $\cos n = \frac{1 \cdot 0}{\sqrt{1 - 1}} = \frac{0}{0}$, czyli wielkość nieoznaczona,

wskazująca na brak jakiegokolwiek określonego kąta. Kąt taki bowiem jest zbędny dla wyznaczenia punktu środkowego.

2. Strzelanie pionowe w górę.

Kąt podniesienia $\alpha = 90^\circ$.

Kąt wychylenia broni jest wielkością nieoznaczoną, gdyż k. m. można obracać dookoła osi lufy nie zmieniając założonego warunku, czyli strzelania pionowego

$$\cos \alpha = \cos 90^\circ = 0,$$

$$r_m = \frac{l \sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b}}{\frac{v_0}{V} + \cos \alpha \cdot \cos b} = 1 \cdot \frac{\sqrt{1 - 0}}{\frac{v_0}{V} + 0} = \frac{1}{\frac{v_0}{V}} = 1 \cdot \frac{V}{v_0},$$

$$\cos n = \frac{\sin b}{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b} = \frac{0}{1 - 0 \cdot \cos b} = 0,$$

skąd $n = 90^\circ$, czyli punkt celowniczy leży na średnicy pionowej, jeśli przyjmiemy, że strzelec jest ustawiony tak, że patrzy w kierunku lotu.

3. Strzelanie w poziomie prostopadle do kierunku lotu.

Kąt podniesienia $\alpha = 0^\circ$,

Kąt wychylenia broni $b = 90^\circ$.

$$r_m = \frac{l \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b}}{\frac{v_0}{V} + \cos \alpha \cdot \cos b} = \frac{l \cdot \sqrt{1 - 1 \cdot 0}}{\frac{v_0}{V} + 1 \cdot 0} = \frac{1}{\frac{v_0}{V}} = 1 \cdot \frac{V}{v_0},$$

$$\cos n = \frac{\sin b}{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b}} = \frac{1}{\sqrt{1 - 1 \cdot 0}} = 1,$$

skąd

$$n = 0^\circ,$$

czyli promień, na którym znajduje się punkt celowniczy, pokrywa się ze średnicą poziomą muszki pierścieniowej.

Punkty celownicze mieszczą się:

1. przy kącie podniesienia dodatnim, gdy strzelanie odbywa się naprzód, w dolnej połowie; przy strzelaniu w tył, w górnej połowie pierścienia;
2. przy kącie podniesienia ujemnym (czyli przy strzelaniu ku dołowi), dla strzelania naprzód — w górnej połowie, dla strzelania w tył — w dolnej połowie.

W wypadkach strzelania z prawej burty — w lewej połowie; w wypadkach strzelania z lewej burty — w prawej połowie.

§ 25. Celownik samoczynny. Pod nazwą *celownik samoczynny* rozumieć należy taki przyrząd celowniczy, który jest związany z samolotem i wprowadza samoczynnie poprawkę na przeniesienie. Schemat celownika podany jest na rys. 72. W celowniku samocznym muszka jest nieruchoma, a dla uwzględnienia przeniesienia pierścienia przesuwają się w kierunku przeciwnym do przeniesienia. Wskutek przesunięcia pierścienia, przedłużenie linii, łączącej środek pierścienia z kulą muszki, odtwarza nam przeniesioną linię celowania. Linia ta wskazuje kierunek, w którym pójdzie pocisk.

Przesunięcie pierścienia zależy od kąta wychylenia broni i kąta podniesienia. Gdyby położenie k. m. względem samolotu można było wyznaczyć w praktyce dwoma kątami, za-

gadnienie konstrukcji celownika samoczynnego byłoby proste; w rzeczywistości jednak mamy do czynienia z szeregiem pośrednich elementów ruchomych, jak: obrotnik, pałak, sworzeń, których umieszczenie wpływa na położenie k.m. i bardzo komplikuje konstrukcję takiego celownika.

K.m. na stanowisku ruchomym może przesuwac się wraz z obrotnikiem oraz, niezależnie od tego, względem obrotnika na przegubie. Aby wyznaczyć położenie k.m. w płaszczyźnie poziomej musimy znać dwa kąty: jeden określający położenie obrotnika względem samolotu, drugi określający położenie k.m. względem obrotnika. Mechanizm więc ma dwa stopnie swobody.

Położenie k.m. w płaszczyźnie pionowej wyznaczone jest również dwoma kątami: jeden z nich, to kąt nachylenia pałaka obrotnika do poziomu, drugi zaś, to kąt określający położenie k.m. względem pałaka. Tu również mamy dwa stopnie swobody.

Celownik samoczynny powinien ustawiać się automatycznie w zależności od tych czterech kątów. Ponadto należy uwzględnić jeszcze kąt położenia celu.

W ten sposób ustawienie celownika uzależnione jest od pięciu wielkości.

Prócz tego, już nieautomatycznie lecz ręcznie, strzelec uwzględnia:

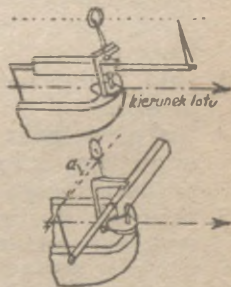
1. ustawienie celownika na daną odległość,
2. poprawkę kąta celownika zależnie od wysokości lotu.

Konstrukcja celownika samoczynnego nie jest jeszcze ostatecznie skryształizowana, aczkolwiek zaczyna już wchodzić do uzbrojenia w niektórych lotnictwach.

Rozpatrzmy jego układ.

Uwzględnienie kąta wychylenia broni.
Gdyby k.m. ustawiony był na zwykłym czopie, umieszczonym na samolocie, to związek konstrukcyjny pomiędzy kątem wychylenia broni a położeniem celownika byłby łatwy do zrealizowania. Wystarczyłaby np. tarcza mimośrodowa (rys. 72), która przy obrocie k.m. odsuwałaby pierścień od jego położenia środkowego na taką odległość jaka byłaby potrzebna dla uwzględnienia przeniesienia.

Gdy czop znajduje się na obrotniku, to wspomniana tarcza



Rys. 72.
Najprostsza konstrukcja celownika samoczynnego.

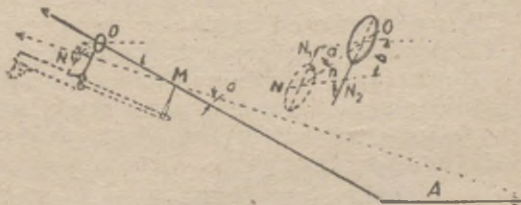
przy obrocie obrotnika przesuwalaby się wzdłuż obwodu koła. Dla należytego zrealizowania tego zagadnienia konstrukcja powinna być taka, by położenie osi mimośrodowo było niezależne od położenia obrotnika a zależało jedynie od położenia osi k. m. względem osi samolotu. W tym celu pomiędzy obrotnikiem i mimośrodem istnieje połączenie za pomocą specjalnych przekładni kół zębatach i przewodu giętkiego, które orientują mimośród w zależności od położenia k. m., eliminując wpływ obrotnika i dając w ten sposób bezpośrednią zależność od kąta wychylenia broni.

Uwzględnienie kąta podniesienia. Analogiczne urządzenie musi istnieć i do obracania k. m. w płaszczyźnie pionowej, lecz ze względu na ograniczony kąt podniesienia pałaka (do 50°) mimośród, lub inne urządzenie tego rodzaju, nie wymaga już obrotu o 360° lecz otrzymuje ruch postępowo-zwrotny, przekazywany w prostszy znacznie sposób, za pośrednictwem układu cięgien lub dźwignię.

Pozostaje jeszcze do zrealizowania, jak już o tym wyżej wspomniano, poprawka kąta celownika w zależności od kąta położenia celu.

Przy rozpatrywaniu jakiegokolwiek konstrukcji mechanicznej niezbędne jest przeanalizowanie związku kinematycznego, powodującego ustawienie celownika w zależności od pięciu danych wyjściowych, a mianowicie:

1. położenia katowego obrotnika,
2. położenia k. m. względem czopa w płaszczyźnie poziomej,
3. kąta podniesienia pałaka,
4. położenia k. m. względem czopa w płaszczyźnie pionowej.
5. poprawki na kąt położenia celu.



Rys. 73.

Schemat działania celownika mechanicznego.

Obliczenie celownika samoczynnego. Położenie środka pierścienia określamy w zależności od kątów podniesienia i wychylenia broni; najwygodniej posługiwać się tu współrzędnymi prostokątnymi, czyli znajdować przesunięcie celownika na wysokość i w kierunku poziomym. Na rys. 73 przedstawione jest położenie celownika przy kącie podniesienia α (ujemnym) oraz kącie wychylenia broni β . Celownik przesunięty jest w prawo oraz w dół i znajduje się w punkcie N po to, by przez jego środek oraz kulkę muszki widzieć koniec przeniesienia liniowego.

Należy określić długość odcinków

$$ON_1 = a, \text{ oraz } ON_2 = b.$$

Odległość ON określimy z trójkąta ONM

$$ON = l \operatorname{tg} a,$$

gdzie a — przeniesienie kątowe.

Z § 21 wiemy, że

$$\operatorname{tg} a = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b}}{\frac{v_0}{V} + \cos \alpha \cdot \cos b},$$

wobec czego

$$ON = \frac{l \sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b}}{\frac{v_0}{V} + \cos \alpha \cdot \cos b}$$

Kąt jaki tworzy odcinek ON z linią poziomą w celowniku jest rzutem kąta nachylenia płaszczyzny przeniesienia na płaszczyznę prostopadłą do linii celowania, wyznaczonym ze wzoru 24 a (str. 89).

$$\cos n = \frac{\sin b}{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b}}.$$

Dalej, rzutując odcinek ON na średnicę poziomą, otrzymamy przesunięcie boczne pierścienia.

$$a = ON \cos n = \frac{l \sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b}}{\frac{v_0}{V} + \cos \alpha \cdot \cos b} \cdot \frac{\sin b}{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b}} = \frac{l \cdot \sin b}{\frac{v_0}{V} + \cos \alpha \cdot \cos b}$$

Przesunięcie pionowe znajdziemy jako przyprostokątną ze wzoru

$$b = \sqrt{ON^2 - a^2}$$

Podstawiając znane już wielkości otrzymamy

$$b = \sqrt{\frac{l^2 (1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b)}{\left(\frac{v_0}{V} + \cos \alpha \cdot \cos b\right)^2} - \frac{l^2 \cdot \sin^2 b}{\left(\frac{v_0}{V} + \cos \alpha \cdot \cos b\right)^2}}$$

$$l \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b - \sin^2 b}}{\frac{v_0}{V} + \cos \alpha \cdot \cos b} = l \frac{\sqrt{\cos^2 b - \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 b}}{\frac{v_0}{V} + \cos \alpha \cdot \cos b}$$

$$\frac{l \cdot \cos b \sqrt{1 - \cos^2 \alpha}}{\frac{v_0}{V} + \cos \alpha \cdot \cos b} = \frac{l \cdot \sin \alpha \cdot \cos b}{\frac{v_0}{V} + \cos \alpha \cdot \cos b}$$

Ostatecznie mamy

$$a = \frac{l \cdot \sin b}{\frac{v_0}{V} + \cos \alpha \cdot \cos b} \quad (40)$$

$$b = \frac{l \cdot \sin \alpha \cdot \cos b}{\frac{v_0}{V} + \cos \alpha \cdot \cos b} \quad (41)$$

Przykład 24. Obliczyć przesunięcie pionowe i boczne w celowniku samoczynnym dla kątów podniesienia $\gamma = 45^\circ$ i wychylenia broni $b = 45^\circ$. Szybkość własna samolotu $V = 50$ m/sek.

Szybkość początkowa pocisku $v_0 = 835$ m/sek.

Długość linii celownika $l = 400$ mm.

Rozwiązanie.

$$a = \frac{l \cdot \cos \alpha \cdot \sin b}{\frac{v_0}{V} + \cos \alpha \cdot \cos b} = \frac{400 \cdot \sin 45^\circ}{\frac{835}{50} + \cos 45^\circ \cdot \cos 45^\circ} = \frac{400 \cdot 0,707}{16,7 + 0,707 \cdot 0,707}$$

$$= \frac{282,8}{17,2} = 16,4 \text{ mm};$$

$$b = \frac{l \cdot \sin \alpha \cdot \cos b}{\frac{v_0}{V} + \cos \alpha \cdot \cos b} = \frac{400 \cdot \sin 45^\circ \cdot \cos 45^\circ}{\frac{835}{50} + \cos 45^\circ \cdot \cos 45^\circ} = \frac{400 \cdot 0,707 \cdot 0,707}{16,7 + 0,707 \cdot 0,707}$$

$$= \frac{200}{17,2} = 11,6 \text{ mm}.$$

Przeziernik przesunie się w bok o 16,4 mm, a wwyż o 11,6 mm.

Pytania z rozdziału drugiego:

1. Jak zmienia się gęstość powietrza ze wzrostem wysokości lotu oraz jaki wpływ wywiera ta zmiana na lot pocisku (rządne, kąty celownika)?
2. Jakim zmianom ulega przy zmianie wysokości tor k.m. przystrzelnego na ziemi na 400 m?
3. Jak wpływa zmiana warunków atmosferycznych na lot pocisku?
4. Jak wyznacza się szybkość średnią pocisku oraz jego szybkość końcową (w chwili trafienia do celu) z uwzględnieniem szybkości własnej samolotu?
5. Jak przesunie się punkt trafienia przy przekręceniu broni w prawo lub w lewo i dlaczego?
6. Jakim zmianom ulega tor przy zwiększeniu kąta położenia celu? W jakich położeniach tor ma największą oraz najmniejszą krzywiznę?
7. Napisać wzór (14) podający zależność kąta celownika od kąta położenia celu i wyjaśnić największą i najmniejszą wartość kąta celownika.
8. Jak wprowadza się poprawki przy dużych kątach położenia celu?
9. Jakie wypadki wchodzi w grę przy omawianiu wpływu wiatru na strzelanie?
10. Podać przykład poprawki na wiatr przy strzelaniu na ziemi.
11. Na czym polega różnica wpływu wiatru przy strzelaniu ziemnym i strzelaniu w locie? Co to jest znoszenie pocisku?
12. Porównać wielkość odchylenia przy strzelaniu ziemnym oraz znoszenia przy strzelaniu w locie. Wyjaśnić obliczenie znoszenia według wzoru (15).
13. Wyjaśnić dlaczego strzelanie w locie do celu latającego, czyli z samolotu do samolotu, jest niezależne od wiatru.

14. Wyjaśnić przyczyny przeniesienia pocisku przy strzelaniu w locie.
15. W jakiej chwili zostaje nadany kierunek ruchowi pocisku i jakie są wielkości składowych?
16. Czy pocisk zachowuje tę szybkość, która przedstawiona jest przekątną równoległoboku?
17. Dać określenie przeniesień: liniowego, bocznego, kąтового oraz poprawki celu.
18. Jak się oblicza wielkość przeniesienia liniowego?
19. Co to jest płaszczyzna przeniesienia i kąt osiowy? Jak obliczyć wielkość przeniesienia bocznego w zależności od kąta osiowego?
20. Jak obliczyć przeniesienie kątowe w zależności od kąta osiowego?
21. Co to jest zwłoka pocisku i czym jest ona spowodowana? Jaki jest tor pocisku względem własnego samolotu?
22. Zasada działania muszki wiatrowej, jej konstrukcja. Co to jest przeniesiona linia celowania?
23. Kiedy się przestawia słupek muszki wiatrowej? Do czego służy słupek nieruchomy? Czy może on być wykorzystany do strzelania bojowego i w jakich warunkach?
24. Obliczyć ramię muszki wiatrowej.
25. Zasada działania celownika samoczynnego.

ROZDZIAŁ III

STRZELANIE DO CELÓW RUCHOMYCH

§ 26. Wyprzedzenie. *Wyprzedzenie liniowe.* Jeśli cel porusza się ze znaczną szybkością, to strzał z broni, skierowanej w cel, będzie trafny tylko w wypadkach szczególnych, a mianowicie: przy małych odległościach i dużych wymiarach celu, albo też przy ruchu celu, skierowanym bezpośrednio na strzelca lub od strzelca. W wypadku ogólnym, przez czas ruchu pocisku do punktu, w którym znajdował się cel w chwili strzału, cel zdąży oddalić się na pewną odległość tym większą, im szybszy jest ruch celu. Dzieje się to dlatego, że pocisk dochodzi do celu nie natychmiast, lecz w ciągu pewnego niewielkiego okresu czasu, który wystarcza jednak na to, by cel zdążył się oddalić. Szybki cel, jak na przykład cel latający, zdąży odejść na 20 — 40 m przy odległości strzelania 400 m lub na 80 — 150 m przy odległości 1000 m.

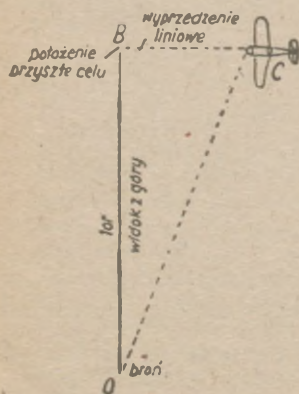
Z tych względów tor pocisku musi być skierowany przed cel i to w takim założeniu, by cel i pocisk doszły jednocześnie do pewnego wspólnego punktu w przestrzeni.

Punkt, w którym według założenia nastąpić powinno spotkanie pocisku i celu, nazywamy *położeniem przyszłym celu*.

Czasy ruchu celu i ruchu pocisku od chwili strzału do chwili spotkania powinny być równe. Rys. 74 wskazuje kierunek toru do położenia przyszłego celu (linia OB).

Odcinek drogi, przebywany przez cel w czasie ruchu pocisku od chwili wystrzelenia do chwili dojścia do położenia przyszłego celu nazywamy *wyprzedzeniem liniowym*.

Kierunek wyprzedzenia liniowego pokrywa się zawsze z kierunkiem drogi celu i, jak wskazuje sama nazwa, odmierza go się przed celem.



Rys. 74. Strzelanie do celu ruchomego.

Zakładając, że cel przez czas przelotu pocisku nie zmienia szybkości, możemy wyprzedzenie liniowe obliczyć ze wzoru dla ruchu jednostajnego.

Otrzymamy

$$S = V_c \cdot t, \quad (42)$$

gdzie V_c szybkość celu, t czas przelotu pocisku, S wyprzedzenie. Czas przelotu pocisku możemy wyrazić za pomocą odległości walki i szybkości średniej pocisku na tej odległości.

$$t = \frac{D}{V_{\text{śr}}}$$

Wówczas wzór (42) przybierze postać

$$S = \frac{D \cdot V_c}{V_{\text{śr}}} \quad (43)$$

Ostatni wzór, w praktyce rzadko stosowany, jest jednak bardzo charakterystyczny, gdyż wskazuje, że wielkość wyprzedzenia zależy od odległości walki.

Ponieważ czas przelotu pocisku nie wzrasta proporcjonalnie do odległości, lecz w stopniu jeszcze większym, wyprzedzenie wzrasta również w większym stopniu niż odległość.

Dla uzmysłowienia tego zjawiska przeliczmy wyprzedzenie dla kilku odległości.

Przykład 25. Obliczyć wielkość wyprzedzenia przy strzelaniu do samolotu o szybkości $V_c = 360 \text{ km/h}$.

Odległości: 100, 200, 400, 600, 800 i 1000 m; k. m. wzór P. W. 1.

Czasy przelotów pocisku:

D : 100; 200; 400; 600; 800; 1000 m.

t : 0,12; 0,25; 0,55; 0,95; 1,45, 2,1 sek.

Wyrażmy szybkość celu w metrach na sekundę, dzieląc przez współczynnik 3,6

$$360 : 3,6 = 100 \text{ m/sek.}$$

Rozwiązanie. Stosując wzór (42)

$S = V_c \cdot t$, mamy:

Odległość w m	Wyprzedzenie
100	$S = 100 \cdot 0,12 = 12 \text{ m}$
200	$S = 100 \cdot 0,25 = 25 \text{ m}$
400	$S = 100 \cdot 0,55 = 55 \text{ m}$
600	$S = 100 \cdot 0,95 = 95 \text{ m}$
800	$S = 100 \cdot 1,45 = 145 \text{ m}$
1000	$S = 100 \cdot 2,1 = 210 \text{ m}$

Na podstawie tych danych zrobmy wykres wyprzedzenia, który uzmysłowi nam wzrost jego wielkości (rys.75).

W praktyce pożądanym jest korzystanie ze wzoru opartego na zależności proporcjonalnej; w tym celu przyjmuje się dokładną wielkość wyprzedzenia dla pewnej odległości wyjściowej i wychodząc z tej wielkości, oblicza się inne wyprzedzenia proporcjonalnie do odpowiadających im odległości. Przy takim sposobie ob-

liczenia powstają oczywiście błędy; pojęcie o ich wielkości daje tabela 11.

Tabela 11

Wielkości wyprzedzeń oraz błędy powstałe ze stosowania zasady proporcjonalności

ODLEGŁOŚĆ	Odległość wyjściowa $D = 200\text{ m}$			Odległość wyjściowa $D = 400\text{ m}$			Odległość wyjściowa $D = 600\text{ m}$		
	Wyprzedzenia obliczone dokła- dnie ze wzoru $S = v_c \cdot t$ $v_c = 100\text{ m/sek.}$			Wyprzedzenia obliczo- ne na zasadzie pro- porcjonalności			Wyprzedzenia obliczo- ne na zasadzie pro- porcjonalności		
	B ł ę d y w m			B ł ę d y w m			B ł ę d y w m		
100	12	13	13 — 12 = + 1	14	14 — 12 = + 2	16	16 — 12 = + 4		
200	25	25	0	28	28 — 25 = + 3	32	32 — 25 = + 7		
400	55	50	50 — 55 = - 5	55	0	64	64 — 55 = + 9		
600	95	75	75 — 95 = - 20	82	82 — 95 = - 13	95	0		
800	145	100	100 — 145 = - 45	110	110 — 145 = - 35	128	128 — 145 = - 17		
1000	210	125	125 — 210 = - 85	138	138 — 210 = - 72	160	160 — 210 = - 50		

Porównując błędy, otrzymane przy poszczególnych odległościach wyjściowych, zauważymy, że w granicach odległości od 0 do 600 m będą one najmniejsze przy odległości wyjściowej 400 m. Przypomnijmy sobie jaką rolę odgrywa ta odległość, jeśli chodzi o wielkość pola rażenia (§ 14). W praktyce, w większości wypadków, operujemy tą właśnie odległością.

Odległość przyjęta jako wyjściowa do obliczeń zwie się *odległością podstawową*.

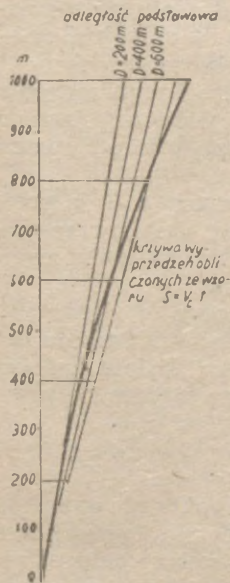
Przytoczone w tabeli wielkości błędów podane są na rys. 76 w formie wykresu. Linia krzywa przedstawia rzeczywisty wzrost, linie proste zaś proporcjonalny wzrost wyprzedzeń, obliczonych sposobem przybliżonym.

Przyjmując, że wyprzedzenia rosną proporcjonalnie do odległości, tym samym przyjmujemy, że czasy przelotów są również proporcjonalne do odległości, czyli, że pocisk leci z szybkością stałą. Tą stałą szybkością jest szybkość średnia — v_{sr} dla przyjętej do obliczeń odległości. Wyprzedzenie zależy od czasu przelotu pocisku. Dlatego też w większa jest szybkość początkowa oraz in większa jest zdolność pocisku do zachowania tej szybkości (wpływ obciążenia przekroju — § 8) tym

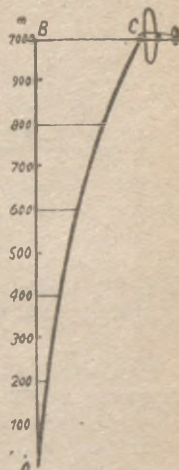
mniej jest wyprzedzenie. Jest rzeczą bardzo ważną, by wyprzedzenia były możliwie małe, gdyż dokładne określenie szybkości celu jest trudne, a większe wyprzedzenia pociągają za sobą większe błędy przy określeniu położenia przyszłego; z tych względów k. m. lotnicze oraz działka lotnicze powinny mieć większą szybkość początkową.

Wielkość wyprzedzenia liniowego jest niezależna od kierunku ruchu celu.

Założmy, że cel zbliża się do pewnego punktu toru pocisku B z różnych kierunków, zarówno w poziomie jak i z góry lub z dołu. Broń znajduje się w punkcie nieruchomym (rys. 77).



Rys. 76. Porównanie wielkości wyprzedzeń obliczonych ściśle oraz wielkości wyprzedzeń obliczonych na zasadzie proporcjonalności dla różnych odległości walki.



Rys. 75. Wzrost wyprzedzenia ze wzrostem odległości.

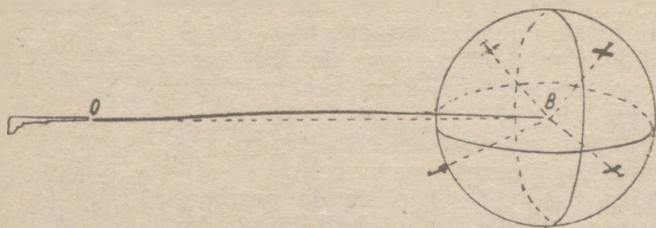
Czas przelotu pocisku do punktu B jest stały, niezależny od tego, z jakiej strony zbliża się cel.

Założmy dalej, że cel ma zawsze jednakową szybkość, niezależną od kierunku podejścia, tj. poziomego, z góry czy z dołu. Założenie to jest całkiem uzasadnione dlatego, że w warunkach strzelania w locie sam tor może przybierać położenia poziome i pionowe: pojęcie góry i dołu względem toru pocisku w tych wypadkach będzie zupełnie odmienne.

Z określenia wyprzedzenia, jako drogi przebywanej przez cel w czasie przelotu pocisku oraz ze wzoru $S = V_c \cdot t$ wynika, że przy stałych szybkościach celu oraz przy stałych czasach przelotu, wielkości wyprzedzeń będą jednakowe. Wyprzedzenia będą promieniami powierzchni kulistych, na których mieszczą się cele, ulegające trafieniu w punkcie B .

Geometrycznym miejscem położenia celu zbliżającego się ze stałą szybkością do pewnego punktu toru, w którym nastąpić ma trafienie, jest powierzchnia kulista.

Pojęcie o powierzchni kulistej położenia celu ułatwi nam zrozumienie konstrukcji celowników do strzelania w locie.



Rys. 77. Powierzchnia kulista możliwych położenia celu zmierzającego ze stałą szybkością do punktu *B* znajdującego się na torze pocisku.

Wyprzedzenie kątowe. Przy strzelaniu do celu poruszającego się ze znaczną szybkością, linia celowania musi być skierowana bezpośrednio w punkt przyszłego położenia celu.

Cel w chwili strzału znajduje się w odległości wyprzedzenia liniowego od przyszłego położenia celu, a widoczny jest na linii przezierania. Wspomniane linie tworzą trójkąt, zwany trójkątem wyprzedzenia (rys. 78).

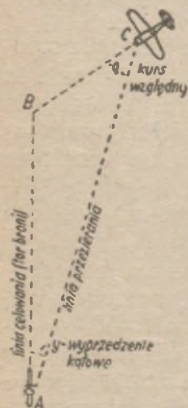
Kąt pomiędzy linią celowania a linią przezierania, o który przesunięty jest tor w stosunku do położenia celu w chwili strzału, zwieemy wyprzedzeniem kątowym.

Jeśli z punktu nieruchomego *A* będziemy stale obserwować cel, to linia przezierania będzie się obracać z pewną szybkością kątową dookoła punktu *A*, czyli że cel będzie się przesuwają kątowo względem strzelca.

Przesuwając tor pocisku o pewien kąt przed cel wprowadzamy **poprawkę celu**.

Poprawkę w kierunku broni, nadawaną dla uwzględnienia przesunięcia celu przez czas przelotu pocisku, zwieemy **poprawką celu**. Często spotyka się określenia — „poprawka celu liniowa” oraz „poprawka celu kątowa”. Określenia te należy rozumieć następująco:

- a) poprawka celu liniowa — odcinek na linii ruchu celu, o który należy wysunąć punkt celowania przed cel dla uwzględnienia ruchu celu w czasie przelotu pocisku; poprawka celu liniowa jest równa co do wielkości wyprzedzeniu liniowemu;



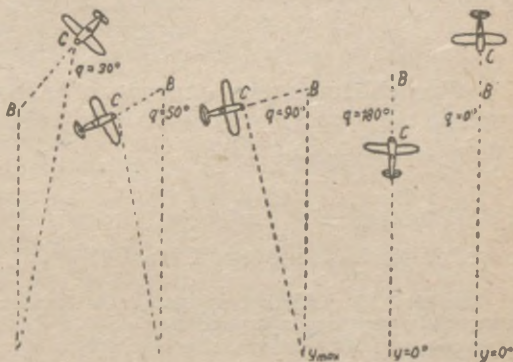
Rys. 78. Trójkąt wyprzedzenia.

b) poprawka celu kątowna — kąt pod jakim widoczna jest poprawka celu liniowa ze stanowiska strzelca; poprawka celu kątowna jest równa co do wielkości wyprzedzeniu kątowemu (przyp. tłum.).

Poprawka ta ma bardzo duże znaczenie w praktyce, gdyż zależnie od jej wielkości strzelec musi prędzej lub wolniej obracać broń; stanowi ona o czasie jaki ma do dyspozycji strzelec do wykonania celowania.

Poprawka celu zależy od szybkości celu; wielkość jej bywa mała przy: a) niewielkim kącie pomiędzy kierunkiem ruchu celu a linią celowania, b) dużych odległościach.

Linia, wzdłuż której odbywa się ruch celu, jest *linią ruchu celu*. Kąt pomiędzy kierunkiem ruchu celu a linią łączącą strzelca i cel zwiemy *kursem względny celu*. Przy strzelaniu do samolotu kurs ten mierzy się pomiędzy przedłużeniem osi samolotu (w kierunku jego ruchu) a linią przezierania w granicach od 0° do 180° w prawo lub w lewo.



Rys. 79. Położenie celu przy różnych kursach względnych.

Rys. 79 pokazuje zależność wyprzedzenia kąowego od kursu względnego celu. Jeśli cel idzie na strzelca, to kurs względny celu $q = 0$, a wyprzedzenie kąowe $Y = 0$. Przy $q = 90^\circ$, Y przybiera najwyższą wartość. Przy $q = 180^\circ$ znów $Y = 0$.

Kąt zawarty pomiędzy linią ruchu celu a linią celowania zwiemy *przyszłym kursem względnym celu*. Przeprowadźmy przez osł broni i linię ruchu celu płaszczyznę, którą nazwiemy *płaszczyzną wyprzedzenia* (rys. 80). W płaszczyźnie tej leży rozpatrzony wyżej trójkąt wyprzedzenia. Płaszczyzna wyprzedzenia może być pochyła, pionowa lub pozioma, zależnie od położenia celu względem broni oraz kierunku ruchu celu.

Odległość od broni do położenia przyszłego jest to *odległość przyszła*. Oznaczamy ją przez D_y , podczas gdy odległość od broni do celu w chwili strzału oznacza się przez D .

Zależność między kątami a bokami trójkąta wyprzedzenia wyznaczmy z elementarnych wzorów trygonometrycznych.

Z twierdzenia sinusów mamy

$$\frac{\sin Y}{S} = \frac{\sin q}{D_y}$$

skąd wyprzedzenie katowe

$$\sin Y = \frac{S}{D_y} \sin q \text{ lub } \sin Y = \frac{V_c \cdot t}{D_y} \sin q \quad \dots (44)$$

ponieważ

$$\frac{S}{D_y} = \frac{V_c \cdot t}{v_{\text{str}} \cdot t} = \frac{V_c}{v_{\text{str}}}$$

więc

$$\sin Y = \frac{V_c}{v_{\text{str}}} \sin q \quad \dots (45)$$

W przybliżeniu przyjąć możemy¹⁾, że wyprzedzenie katowe zmienia się proporcjonalnie do odległości D_y oraz, że stosunek $\frac{S}{D_y}$ jest wielkością stałą.

W ten sposób, mając V_c i stosunek stały $\frac{S}{D_y}$ możemy określić $\sin Y$, a następnie Y .

Przykład 26. Obliczyć wyprzedzenie katowe przy strzelaniu do nieprzyjaciela, lecącego z szybkością $V_c = 180 \text{ km/godz.}$ przy kursie względnym celu $q = 30^\circ$. Odległości przyszłe $D_y = 400$ i 600 m.

Rozwiązanie. Stosujemy wzór (44).

$$\sin Y = \frac{V_c \cdot t}{D_y} \sin q.$$

Z tabel strzelniczych (patrz dodatek 1.) znajdujemy czasy przelotu pocisku

$$t_{400} = 0,55 \text{ sek. i } t_{600} = 0,95 \text{ sek.}$$

Obliczamy szybkość w m/sek.

$$180 : 3,6 = 50 \text{ m/sek.}$$

Z tabel trygonometrycznych znajdujemy

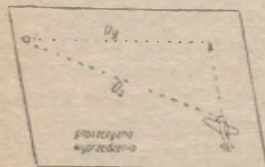
$$\sin 30^\circ = 0,5.$$

Podstawiamy te dane do wzoru (44)

$$\text{a) } \sin Y = \frac{V_c \cdot t}{D_y} \sin q = \frac{50 \cdot 0,55}{400} \cdot 0,5 = 0,034.$$

Kąt odpowiadający sinusowi 0,034

$$Y \cong 2^\circ.$$



Rys. 80. Trójkąt wyprzedzenia i płaszczyzna wyprzedzenia.

¹ Założenie to było już omówione wyżej (przyp. tłum.).

$$b) \sin Y = \frac{V_c \cdot t}{D_y} \sin q = \frac{50 \cdot 0,95}{660} \cdot 0,5 = 0,04,$$

$$Y \cong 2'' 20'.$$

Aby kąty te otrzymać w tysięcznych wystarczy wartość sinusa pomnożyć przez 1000, gdyż Y jest mały (§ 11)

$$Y = 0,034 \cdot 1000 = 34 \text{ tysięczne},$$

$$Y = 0,04 \cdot 1000 = 40 \text{ tysięcznych}.$$

W praktyce, różnica pomiędzy kątami $2''$ i $2'' 20'$, wynosząca 20 minut czyli 6 tysięcznych jest niewyczuwalna; istniejące celowniki nie są w stanie jej uwzględnić.

Jeśli przyjmiemy, że czas przelotu pocisku i wyprzedzenie wzrastają proporcjonalnie do odległości, to przy tym samym kursie względnym położenia przyszłe dla różnych odległości leżeć będą na wspólnej prostej (rys. 81).

Wyprzedzenie kątowe zatem, przy stałym kursie względnym, jest stałe dla wszystkich odległości, oczywiście jeśli założymy¹⁾, że czas przelotu pocisku zmienia się wprost proporcjonalnie do odległości.

Określmy granice, w których zmienia się wielkość wyprzedzenia kąowego.

Ze wzoru (44) znajdujemy, że najmniejsza wartość Y będzie przy $q = 0$ lub $q = 180^\circ$, gdyż

$$\sin Y_{\min} = \frac{S}{D_y} \sin 0^\circ = 0.$$

Największa wartość Y będzie przy $q = 90^\circ$, gdyż w tym wypadku $\sin q = 1$;

$$\sin Y_{\max} = \frac{S}{D_y} \sin 90^\circ = \frac{S}{D_y} \quad \dots \quad (46)$$

lub też ze wzoru (45)

$$\sin Y_{\max} = \frac{V_c}{v_{\text{sr}}} \cdot \sin 90^\circ = \frac{V_c}{v_{\text{sr}}} \quad \dots \quad (47)$$

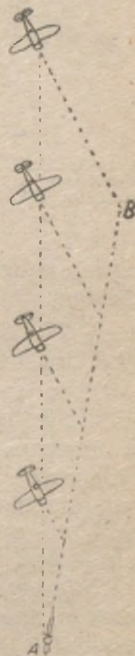
Przykład 27. Obliczyć maksymalne wyprzedzenie kątowe dla celu o szybkości 100 m/sec.

Srednia szybkość przelotu pocisku dla odległości 400 m

$$v_{\text{sr}} = 660 \text{ m/sec}.$$

Rozwiązanie.

$$\sin Y_{\max} = \frac{V_c}{v_{\text{sr}}} = \frac{100}{660} \cong 0,15.$$



Rys. 81.

Wyprzedzenie kątowe praktycznie biorąc nie zależy od odległości, jeśli kursy względne celu są jednakowe.

¹ Słuszność tego założenia omówiono wyżej (przyp. tłum.).

Na rys. 85 podany jest jeden z przekrojów powierzchni kulistej możliwych położeń celu, ulegającego trafieniu w pewnym punkcie toru. Przekrój ten będzie miał kształt koła; przy $q=90^\circ$ linia przezierania będzie styczna do tego koła.

Przy strzelaniu w locie obliczenia podstawowe muszą być wykonane uprzednio na ziemi. W powietrzu, po zdecydowaniu, że odległość daje możliwość trafienia, na podstawie sylwetki ustala się kurs celu. Sylwetką celu latającego nazywamy taki jego obraz, który pozwala na określenie kierunku ruchu celu oraz kursu względnego (rys. 82).



Rys. 82. Na podstawie sylwetki określamy: a) kierunek z lewej strony w dół, b) kurs względny $q = 30^\circ$ lub 150° .

Szybkość celu ustala się na podstawie typu samolotu, przyjmując na przykład: dla samolotu myśliwskiego $70\text{--}100\text{ m/sek.}$, dla liniowego lub bombardującego $50\text{--}70\text{ m/sek.}$

Korzystając z tych danych określamy wyprzedzenie katowe za pomocą celowników, których opis podany jest niżej.

W praktyce wyznaczenie wyprzedzeń w powietrzu musi się odbywać w sposób szybki, prosty i nie

wymagający jakichkolwiek obliczeń i skomplikowanych działań.

§ 27. Celownik pierścieniowy. Załóżmy, że samolot-cel przelina linię przezierania pod kątem q (rys. 83).

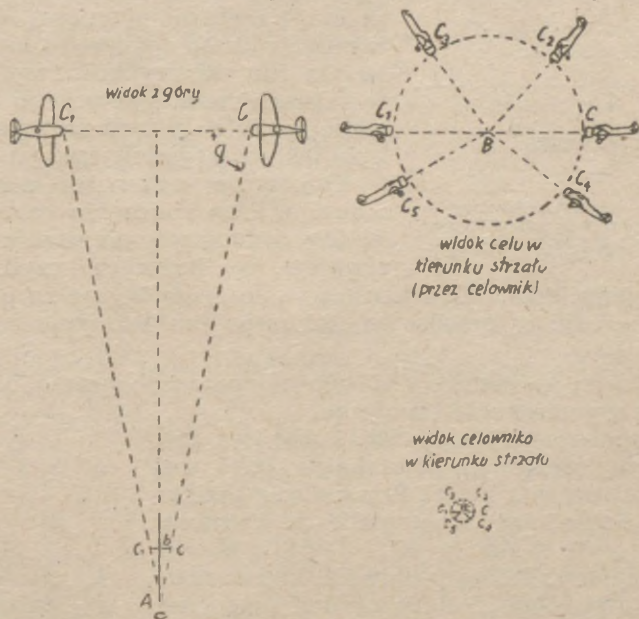
Aby trafić w punkt B , trzeba wprowadzić wyprzedzenie katowe tak, by w chwili strzału widzieć cel na linii przezierania AC .

Przypuśćmy, że w punkcie b znajduje się celownik. Aby skierować linię przezierania na punkt C , trzeba punkt celowniczy przesunąć o odcinek bc . Jeśli cel zbliża się ze strony lewej, to punkt celowniczy należy przesunąć w lewo o odcinek bc_1 .

W rozpatrzonym wypadku mieliśmy ruch w płaszczyźnie poziomej, co nie wyczerpuje zagadnienia, gdyż samolot poruszać się może wzdłuż dowolnej prostej w przestrzeni. Rozpatrzmy ruchy samolotu w innych płaszczyznach, przechodzących przez kierunek broni oraz odpowiadające im położenia punktów celowniczych. Jeśli samolot w chwili oddania strzału znajduje się w punkcie C^2 , to punkt celowniczy trzeba przesunąć do punktu c^2 , położeniu C^3 odpowiada punkt celowniczy c^3 itd. Jeśli przyjmiemy, zgodnie z § 26, że wyprzedzenia CB , C^1B , C^2B są jednakowe, a ponadto we wszystkich wypadkach mamy

ten sam kurs względny, to przesunięcia bc , bc^1 , bc^2 będą również jednakowe co do wielkości. Cel będzie trafiony w punkcie B , jeśli w chwili dania strzału znajdzie się w dowolnym punkcie obwodu koła. Odpowiednio do tego punkty celownicze muszą utworzyć obwód koła.

W ten sposób powstała zasada celownika pierścieniowego, stosowanego w tej lub innej postaci konstrukcyjnej w lotnictwach wojskowych wszystkich państw. Najprostszy przyrząd celowniczy, stosowany w lotnictwie, składa się z dwóch



Rys. 63. Szkic wyjaśniający genezę celownika pierścieniowego.

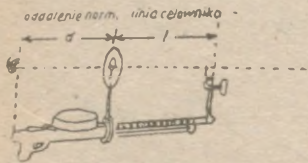
elementów: celownika pierścieniowego, uwzględniającego poprawkę celu oraz muszki; muszka wytycza kierunek linii celowania i może ponadto w pewnych konstrukcjach uwzględniać poprawkę strzelca. Muszka może być umieszczona przed celownikiem lub też za celownikiem.

Rys. 84 przedstawia jedną z odmian przyrządu celowniczego w zastosowaniu do k. m. obserwatora. Środek celownika wytyczony jest za pomocą skrzyżowania lub też w sposób wygodniejszy — za pomocą małego kółka. Wzajemne pokrycie

skrzyżowania i kulki muszki byłoby trudniejsze i mniej dokładne niż pokrycie wewnętrznego obwodu kółka i kulki.

Wyprzedzenie kątowe, wyznaczające położenie punktów celowniczych w pierścieniu zależy, jak wspomniano już w § 26, od kursu względnego celu oraz szybkości celu.

Obliczenie celownika wykonuje się dla kursu względnego $q = 90^\circ$, odpowiadającego największej wartości wyprzedzenia kąowego. Do obliczeń bierze się szybkość najbardziej typową dla wybranego rodzaju samolotów nieprzyjaciela lub też szybkość wyrażoną w liczbach zaokrąglonych po to, by wykonywanie obliczeń dodatkowych było jak najwygodniejsze.



Rys. 84. Przyrząd celowniczy do strzelania w locie: celownik pierścieniowy i muszka wiatrowa.

Obliczenie celownika pierścieniowego. Przy obliczeniu celownika należy wyznaczyć przesunięcie bc punktów celowniczych, czyli promień pierścienia. Obliczenie wykonuje się biorąc za podstawę wielkość wyprzedzenia liniowego lub też wyprzedzenia kąowego.

Bardziej uproszczony sposób polega na obliczeniu na podstawie wyprzedzenia liniowego.

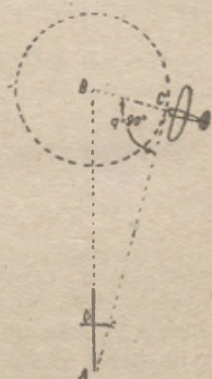
Rozpatrzmy trójkąty ABC i Abc (rys. 85). Obydwa trójkąty są prostokątne, gdyż według założenia $q = 90^\circ$. Przesunięcie punktu celowniczego jest prostopadłe do kierunku broni, czyli $\angle Abc = 90^\circ$. Ponadto $\angle bAc$ jest wspólny. Trójkąty o dwóch kątach równych są podobne. Należy zwrócić uwagę na to, że trójkąty te są jakby przekręcone względem siebie.

Weźmy $\angle bAc$; naprzeciw niego leżą boki bc i BC . Kątowi prostemu Abc odpowiada bok AB . Naprzeciw $\angle Acb$ leży bok Ab , naprzeciw $\angle ABC$ — bok AC . $\angle ABC$ i $\angle Acb$ są równe.

Warunek proporcjonalności boków napiszemy w takiej postaci

$$\frac{bc}{Ab} = \frac{BC}{AC}$$

Bok AC , popołniając bardzo nieznaczny błąd, zastąpić mo-



Rys. 85. Największe wyprzedzenie kąowe przy kursie względnym celu $q = 90^\circ$.

żemy przez AB . ($AC = AB \cos Y$. Ponieważ Y nie przekracza zwykle 6° , a $\cos 6^\circ = 0,995 \cong 1$, więc $AC \cong AB \cdot 1 = AB$).

$$\frac{bc}{Ab} = \frac{BC}{AB}$$

Wprowadźmy oznaczenia: $bc = R$, promień pierścienia celownika; $Ab = d$, odległość od oka do celownika, tzw. oddalenie normalne celownika; $BC = S$, wyprzedzenie; $AB = D_y$, odległość przyszła.

$$\frac{R}{d} = \frac{S}{D_y} \quad (48)$$

Ze wzoru tego obliczyć możemy R lub dowolną z czterech wielkości, o ile znamy trzy pozostałe.

Przykład 28. Obliczyć promień celownika pierścieniowego na podstawie danych:

oddalenie normalne pierścienia $d = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$,

wyprzedzenie liniowe $S = 40 \text{ m}$,

odległość przyszła $D_y = 400 \text{ m}$.

$R = ?$

Rozwiązanie. Stosujemy wzór (48) rozwiązując go względem R

$$R = \frac{d \cdot S}{D_y} = \frac{0,5 \cdot 40}{400} = 0,05 \text{ m},$$

$$R = 50 \text{ mm}.$$

Dla zobrazowania zależności elementów od szybkości celu przekształćmy wzór (48).

Ze wzoru (42) $S = V_c \cdot t$,

więc $\frac{R}{d} = \frac{S}{D_y} = \frac{V_c \cdot t}{D_y}$,

$$\frac{R}{d} = \frac{V_c \cdot t}{D} \quad (49)$$

Przykład 29. Obliczyć promień celownika dla dokładnego strzelania na odległość 600 m .

Szybkość celu $V_c = 50 \text{ m/sek}$.

Z tabel mamy $t = 0,95 \text{ sek}$.

Oddalenie normalne celownika $d = 50 \text{ cm}$.

Rozwiązanie.

$$R = \frac{d \cdot V_c \cdot t}{D_y} = 0,5 \frac{50 \cdot 0,95}{600} \cong 0,042 \text{ m},$$

$$R = 42 \text{ mm}.$$

Wzór (49) jest niedogodny do obliczeń praktycznych ze względu na dużą ilość mnożeń.

Wyrażając czas przelotu pocisku przez odległość i szybkość średnią mamy

$$t = \frac{D}{V_{\text{śr}}}$$

Podstawiając do wzoru (49) mamy

$$\frac{R}{d} = \frac{V_c \cdot D}{D \cdot v_{\delta r}} = \frac{V_c}{v_{\delta r}} \quad (50)$$

Wzór ten najbardziej nadaje się pod względem praktycznym; według niego obliczono kilka wzorów celowników.

Przykład 30. Obliczyć promień celownika dla szybkości celu $V_c = 220$ km/godz.; k. m. Diegtiariowa. Oddalenie normalne celownika $d = 500$ mm = = 0,5 m. Odległość podstawowa 400 m; $v_{\delta r} = 727$ m/sek.

Rozwiązanie. Stosując wzór (48) rozwiązujemy go względem R .

Przedstawiamy szybkość V_c w m/sek.

$$V_c = \frac{220}{3,6} \cong 61 \text{ m/sek.}$$

Podstawiając do wzoru otrzymujemy

$$R = \frac{d \cdot V_c}{v_{\delta r}} = \frac{0,5 \cdot 61}{727} = 0,042 \text{ m,}$$

$$R = 42 \text{ mm.}$$

Przykład 31. Pierścień o promieniu 42 mm ustawiony jest na k. m. tak, że oddalenie normalne wynosi $d = 420$ mm. Obliczyć szybkość, której odpowiada pierścień.

Rozwiązanie. Rozwiązujemy wzór (48) względem V_c .

Podstawiamy dane do wzoru

$$V_c = \frac{0,042 \cdot 727}{0,42} = 72,7 \text{ m/sek.}$$

$$\text{lub } V_c = 270 \text{ km/godz.}$$

Przykład 32. Pierścień ma promień $R = 44$ mm. Należy go ustawić odpowiednio do szybkości celu $V_c = 240$ km/godz. = 66,7 m/sek. Szybkość średnia pocisku dla odległości 400 m $v_{\delta r} = 787$ m/sek. (uwzględniając szybkość własną samolotu). Znaleźć oddalenie normalne celownika.

Rozwiązanie. Rozwiązujemy wzór (48) względem d

$$d = \frac{R \cdot v_{\delta r}}{V_c} = \frac{0,044 \cdot 787}{66,7} = 0,52 \text{ m,}$$

$$d = 52 \text{ cm.}$$

Obliczenie promienia pierścienia na podstawie wyprzedzenia kąowego. Na rys. 86 odcinkiem AO przedstawiony jest schematycznie k. m.; kreska poprzeczna c,c jest to pierścień w widoku z góry. Promień pierścienia — bc. Kąt Y — wyprzedzenie kątowe. Promień pierścienia znajdziemy z trójkąta prostokątnego Abc, przyjmując, że przesunięcie bc punktu celowniczego leży na prostopadłej do linii AO. Kąt Abc wynosi 90°

$$bc = Ab \cdot \operatorname{tg} Y.$$

Posługując się poprzednio ustalonymi oznaczeniami, otrzymujemy wzór dla określenia R na podstawie wyprzedzenia kąowego

$$R = d \cdot \operatorname{tg} Y \quad (51)$$

Przykład 33. Obliczyć promień pierścienia dla $Y = 6^\circ$ oraz $d = 500$ mm.

Rozwiązanie. Stosujemy wzór (51) $\operatorname{tg} 6^\circ = 0,1051$; $R = d \cdot \operatorname{tg} Y = 500 \cdot 0,1051 = 25,5$ mm.

Wzór (51) można podać w postaci $R = d \cdot \sin Y$, gdyż dla małych kątów $\sin Y \approx \operatorname{tg} Y$.

Na przykład, dla $Y = 6^\circ$ $\operatorname{tg} Y = 0,1051$, a $\sin Y = 0,1045$, czyli różnica wynosi 0,0006.

Pomijając tę bardzo nieznaczną różnicę i stosując wzór (47) możemy napisać

$$\operatorname{tg} Y = \sin Y = \frac{V_c}{V_{\text{śr}}}$$

Zastępując we wzorze (51) $\operatorname{tg} Y$ równym mu ilorazem $\frac{V_c}{V_{\text{śr}}}$ otrzymujemy znany już wzór (50)

$$R = d \operatorname{tg} Y = \frac{V_c}{V_{\text{śr}}} \cdot d$$

Określenie położenia punktów celowniczych w pierścieniu (zasada umieszczenia celu na pierścieniu). Promień pierścienia oblicza się dla ruchu celu przy kursie względnym równym 90° ; wyprzedzenie katowe w tym wypadku osiąga największą swą wartość. Przy kursach większych lub mniejszych od 90° wyprzedzenie katowe maleje; odpowiednio do tego należy zmniejszać promień pierścienia lub też posługiwać się tylko częścią pierścienia. Z rys. 87 widać, że dla otrzymania wyprzedzenia BC_2 (równego co do wielkości wyprzedzeniu BC) przy kursie innym niż 90° , należy wziąć nie cały promień pierścienia, lecz tylko jego odcinek bc_1 . Aby określić, jaką część promienia bc stanowi odcinek bc_1 , trzeba wziąć wartość stosunku $\frac{bc_1}{bc}$.

Oznaczmy odcinek promienia przez r (cały promień oznaczyliśmy przez R); stosunek tych wielkości wyrazi się jako

$$\frac{r}{R}$$

Określmy ten stosunek w zależności od kursu względnego celu. Przy sposobności zauważymy, że tej samej linii przeziernania, odpowiadającej wyprzedzeniu katowemu Y , odpowiadają dwa położenia celu: C_1 i C_2 przy kursach q_1 i q_2 . Ponieważ trójkąt C_1BC_2 jest równoramienny, więc kąt $BC_1C_2 = q_2$; $q_1 = 180^\circ - q_2$ lub $q_1 + q_2 = 180^\circ$.

Jednemu i temu samemu wyprzedzeniu katowemu odpowiadają dwa położenia celu, których kursy względne dopełniają się wzajemnie do 180° .

Najprościej określimy stosunek rozpatrując rys. 87 i rozumując w sposób następujący: gdyby promień pierścienia bc był ruchomy, to wystarczyłoby ustawić go równoległe do kursu w położeniu bf , przez co powstałby już zmniejszony kąt wyprzedzenia bAf (pomijając niewielką różnicę powstałą z te-

Z trójkątów bAc_1 oraz bAc (rys. 87) mamy

$$r = d \operatorname{tg} Y,$$

$$R = d \operatorname{tg} Y_{\max}, \text{ skąd } \frac{r}{R} = \frac{\operatorname{tg} Y}{\operatorname{tg} Y_{\max}}.$$

Musimy otrzymać teraz takie równanie, które uzależniałoby ten stosunek bezpośrednio od kursu względnego celu.

Z trójkąta ABC , na podstawie twierdzenia sinusów mamy

$$\frac{S}{\sin Y} = \frac{D_y}{\sin q}$$

Z trójkąta ABC mamy: $S = D_y \cdot \sin Y_{\max}$; podstawiając zamiast S jego wartość z ostatniego równania i skracając przez D_y

$$\frac{S}{\sin Y} = \frac{D_y \cdot \sin Y_{\max}}{\sin Y} = \frac{D_y}{\sin q}$$

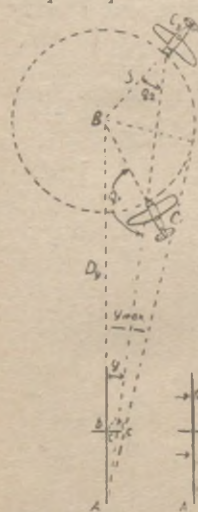
$$\frac{\sin Y_{\max}}{\sin Y} = \frac{1}{\sin q}, \text{ skąd } \sin Y = \sin Y_{\max} \cdot \sin q.$$

Weźmy stosunek $\frac{r}{R} = \frac{\operatorname{tg} Y}{\operatorname{tg} Y_{\max}}$ i zastąpmy tangens przez sinus i cosinus tegoż kąta

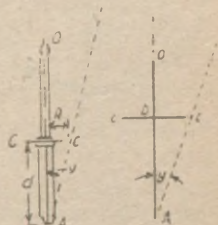
$$\frac{r}{R} = \frac{\operatorname{tg} Y}{\operatorname{tg} Y_{\max}} = \frac{\sin Y \cdot \cos Y_{\max}}{\cos Y \cdot \sin Y_{\max}}.$$

Zastępując $\sin Y$ znalezionym uprzednio wyrazem,

$$a \cos Y = \sqrt{1 - \sin^2 Y} = \sqrt{1 - \sin^2 q \sin^2 Y_{\max}}$$



Rys. 87. Dwa kursy odpowiadające temu samemu wyprowadzeniu.



Rys. 86. Wyprowadzenie kątowe, jakie daje celownik pierścieniowy.

$$\frac{r}{R} = \frac{\sin q \cdot \sin Y_{\max} \cdot \cos Y_{\max}}{\sin Y_{\max} \sqrt{1 - \sin^2 q \cdot \sin^2 Y_{\max}}}$$

Skracając przez $\sin Y_{\max}$ i podstawiając

$\cos Y_{\max} = \sqrt{1 - \sin^2 Y_{\max}}$, otrzymamy ostatecznie

$$\frac{r}{R} = \sin q \frac{\sqrt{1 - \sin^2 Y_{\max}}}{\sqrt{1 - \sin^2 q \cdot \sin^2 Y_{\max}}} \quad (53)$$

Przykład 35. Obliczyć część promienia pierścienia dla kursu względnego celu 30° i maksymalnego wyprowadzenia kątowego 6° .

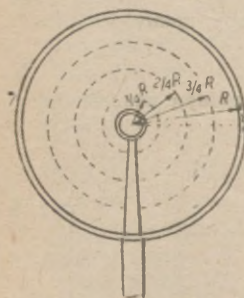
Rozwiązanie. Stosujemy wzór (53)

$$\begin{aligned} \frac{r}{R} &= \sin 30^\circ \sqrt{\frac{1 - \sin^2 6^\circ}{1 - \sin^2 30^\circ \cdot \sin^2 6^\circ}} \\ &= 0,5 \sqrt{\frac{1 - 0,1^2}{1 - 0,5^2 \cdot 0,1^2}} = 0,5 \sqrt{\frac{1 - 0,01}{1 - 0,25 \cdot 0,01}} \\ &= 0,5 \sqrt{\frac{0,99}{1 - 0,0025}} = 0,5 \sqrt{\frac{0,99}{0,9975}} \cong 0,5. \end{aligned}$$

Jak widzimy, stosowanie dość skomplikowanego wzoru nie daje wyraźnych korzyści w porównaniu

ze wzorem przybliżonym. Wyprowadzone uprzednio wzory przybliżone dają wystarczającą dokładność przy rozwiązywaniu zagadnień praktycznych.

Stosowanie celownika pierścieniowego zależnie od sylwetki celu. W praktyce nie byłoby wygodnie wyznaczać położenia punktów celowniczych w zależności od kursu względnego celu, gdyż należałoby na podstawie obrazu celu, czyli według skrótu jego sylwetki, określać ten kąt, a dopiero potem wyznaczyć odpowiednią część promienia. Bardziej właściwy, a w warunkach bojowych jedyny możliwy sposób polega na wyznaczeniu części promienia bezpośrednio na podstawie sylwetki samolotu. Stosuje się tu metodę celowania według sylwetki.



Rys. 88. Podział promienia na cztery części.

Stwierdzono, że oko przeciętnego człowieka potrafi bez żadnych urządzeń pomocniczych podzielić promień pierścienia na cztery części. Wówczas na promieniu będziemy mieli pięć punktów:

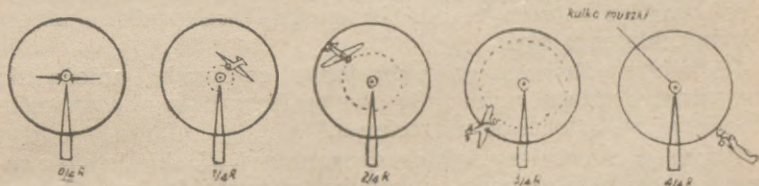
1. punkt środkowy O; 2. w odległości $\frac{1}{4}$ promienia od środka; 3. w odległości $\frac{1}{2}$ od środka; 4. w odległości $\frac{3}{4}$ od środka oraz 5. w odległości $\frac{4}{4}$, czyli całego promienia, od środka (rys. 88).

Skrót	90°	60°	30°	Skrót 0	30°	60°	90°	Kurs względny celu
0								0°
$\frac{1}{4}$								15°
$\frac{2}{4}$								30°
$\frac{3}{4}$								50°
$\frac{4}{4}$								90°

Rys. 89. Tablice sylwetek samolotu.

Wszystkie wybrane pośrednie punkty celownicze leżą na kołach współśrodkowych (rys. 88).

Należy określić teraz, jaki kurs względny celu odpowiada poszczególnym częściom promienia, a następnie jaka sylwetka odpowiada temu kursowi.



Rys. 90. Celowanie za pomocą celownika o ustalonym oddaleniu.

Mając kurs względny celu, ustawiamy model samolotu w odpowiednim położeniu i staramy się zapamiętać jego obraz, czyli sylwetkę. Zwykle układane są albumy sylwetek, odpowiadających poszczególnym punktom celowniczym, co jedną czwartą promienia. Sylwetki otrzymujemy przez fotografowanie modelu w różnych położeniach, po czym uzyskane zdjęcia systematyzujemy i układamy tablice (rys. 89).

Kolejność i wyniki obliczeń zestawione są w tabeli 12.

Tabela 12

Część promienia pierścienia i odpowiadające im sylwetki

Części promienia	Wielkość $\sin q$	Wielkość kąta kursu celu	Sylwetka
$\frac{r}{R} = \frac{0}{4} = 0$	0	$q = 0^\circ$ lub $q = 180^\circ$	Widok z przodu.
$\frac{r}{R} = \frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$q \approx 15^\circ$ lub $q \approx 165^\circ$	Samolot widoczny pod niewielkim kątem do linii celowania; kadłub ledwie widoczny.
$\frac{r}{R} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$q = 30^\circ$ lub $q = 150^\circ$	Średnia wartość kąta; widoczny w niewielkim stopniu bok kadłuba.
$\frac{r}{R} = \frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$q \approx 50^\circ$ lub $q \approx 130^\circ$	Duży kąt; opierzenie ogonowe zbliżone jest do obwodu koła przeprowadzonego przez końce skrzydeł.
$\frac{r}{R} = \frac{4}{4} = 1$	1	$q = 90^\circ$	Cały kadłub widoczny.

W drodze ćwiczeń praktycznych musi być wyrobiony w strzelcu zmysł natychmiastowego związywania widzianej

sylwetki z odpowiednią częścią promienia, wyznaczającą punkt celowniczy (rys. 90).

§ 28. Konstrukcja celowników pierścieniowych. Celowniki pierścieniowe podzielić należy na dwa zasadnicze rodzaje: 1) celowniki o ustalonym oddaleniu oka, 2) celowniki o niezależnym oddaleniu oka.

Posiadane obecnie na uzbrojeniu celowniki należą do pierwszego rodzaju, wymagają one umieszczenia oka w ściśle określonej odległości od pierścienia.

Przyrząd celowniczy, jak zaznaczono w § 27, składa się z celownika pierścieniowego i muszki zakończonej kulką. Celownik osadzony jest na słupku; wewnątrz celownika pierścieniowego znajduje się mniejszy pierścień wewnętrzny dla wytyczenia środka.

Wymiar średnicy celownika obliczony jest w zależności od oddalenia, średniej szybkości pocisku dla odległości podstawowej oraz szybkości celu. Ponieważ szybkość rzeczywista celu nie jest nigdy z góry znana, więc szybkość przyjętą dla obliczeń traktować należy jako orientacyjną; wielkość jej dogodnie jest wyrażać w okrągłych setkach metrów, a przynajmniej w okrągłych dziesiątkach metrów. Oddalenie normalne zależy w głównej mierze od konstrukcji broni: im większa jest broń, tym większy powinien być pierścień dla danej szybkości celu. Pożądane jest jednak możliwie duże oddalenie normalne, gdyż wówczas w mniejszym stopniu występują błędy wywołane nieprawidłowym położeniem oka.

W istniejących konstrukcjach oddalenie wynosi 42—52 cm. Pierścień wewnętrzny powinien spełniać swe podstawowe zadanie, tj. zapewnić wygodne pokrycie środka celownika i kulki muszki. Pożądane jest, by promień pierścienia wewnętrznego i promień celownika były w stosunku wielokrotnym, stosunek wynosić powinien $\frac{1}{8}$ do $\frac{1}{10}$.

W niektórych celownikach mamy jeszcze pierścień pośredni, mający znaczenie pomocnicze, który może być wykorzystany dla wyszkolenia przy strzelaniu do celów latających holowanych.

Muszka zakończona bywa kulką, zapewniającą wygodne pokrycie ze środkiem pierścienia. Wymiar kulki nie powinien być zbyt wielki, by kulka nie zakrywała pola widzenia, lecz z drugiej strony musi ona mieć zarys dość wyraźny oraz być osadzona na sztywnym słupku.

Im dalej jest muszka od oka, tym może być większa i moc-

niej wykonana bez szkody dla celowania, gdyż wówczas zabiera ona mniej pola widzenia.

K. m. ruchome zaopatrzone są w muszki wiatrowe (§ 23), nieruchome zaś k. m. mają muszki nieruchome. Jeśli muszka wiatrowa posiada poza częścią ruchomą jeszcze słupek nieruchomy, to słupek ten musi wyraźnie różnić się kształtem od słupka ruchomego, aby strzelec nie mylił się przy celowaniu. Słupek nieruchomy dla odróżnienia od ruchomego wykonuje się zwykle bez kulki.

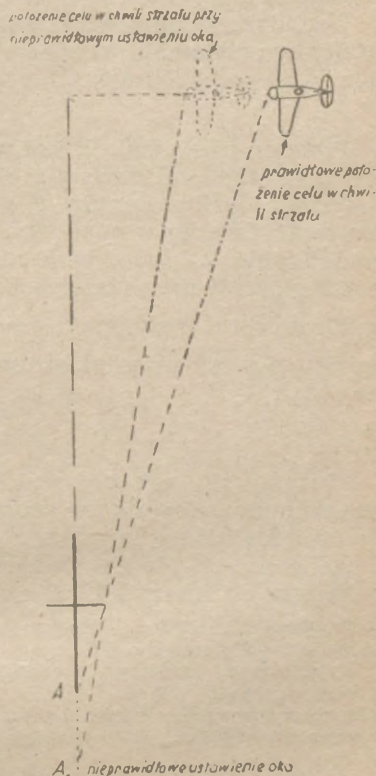
W celownikach o ustalonym oddaleniu normalnym środek pierścienia przy celowaniu zawsze musi pokrywać się z kulką. Oko musi się znajdować zawsze na linii środka pierścienia—kulka muszki. Obojętne jest przy tym czy muszka jest przed pierścieniem, czy też za pierścieniem.

Położenie oka powinno zapewniać możliwość wzięcia należytego wyprzedzenia kątownego; jak wynika z obliczeń, warunek ten będzie spełniony wówczas, gdy oko znajduje się w ściśle określonym oddaleniu od celownika.

Położenie linii przezierania wyznaczone jest przez punkt, w którym znajduje się oko oraz punkt celowniczy na pierścieniu (rys. 91).

Jest to podstawowy warunek stawiany celownikom tego typu. Oddalenie jest w nich określone z góry.

Celowniki o ustalonym oddaleniu celownika używane są zarówno w k. m. ruchomym jak i nieruchomym. W pierwszym wypadku są one osadzone bezpośrednio na k. m. W wypadku



Rys. 91. Nieprawidłowe położenie oka.

drugim osadza się je przed pilotem na kadłubie samolotu, na masce lub też na celowniku optycznym.

Celownik karabina ruchomego zwykle bywa odejmowany, aby zapobiec jego uszkodzeniu.

Strzelec przy celowaniu powinien uważać, by oko znajdowało się w określonej odległości od celownika; odległość ta jest *oddaleniem celownika*, według którego obliczono promień.

Rozpatrzmy, jaki błąd powstanie w wypadku niezachowania ustalonego oddalenia. Weźmy wzór (48) i rozwiążmy go względem V_c

$$V_c = \frac{R \cdot v_{sr}}{d}$$

Promień pierścienia R jest wielkością stałą, v_{sr} — również wielkość stała, założona dla obliczeń; iloczyn $R \cdot v_{sr}$ jest zatem stały. Jeśli zmienimy d , to V_c również ulegnie zmianie. Ponieważ d mamy w mianowniku, więc wzrost jego spowoduje zmniejszenie V_c lub odwrotnie. Na przykład umieścimy oko w odległości 2 razy mniejszej niż założono przy obliczeniach, czyli zamiast d weźmiemy $\frac{d}{2}$. Szybkość, której odpowiadać będzie celownik przy takim umieszczeniu, będzie 2 razy większa, gdyż

$$V_c = \frac{R \cdot v_{sr}}{\frac{d}{2}} = 2 \frac{R \cdot v_{sr}}{d}$$

Możemy sformułować wniosek: szybkość celu odpowiadać danemu celownikowi zmienia się odwrotnie proporcjonalnie do oddalenia celownika.

W praktyce błąd w oddaleniu zawarty jest w granicach $\pm 20 \text{ mm}$, co stanowi 4% dla oddalenia 500 mm.

Przykład 36. Obliczyć błąd w szybkości celu, spowodowany zmianą założonego oddalenia d o 4%.

Rozwiązanie. Założmy, że oddalenie zostało zwiększone o 4%, czyli zamiast d wzięto 1,04 d .

Oznaczmy przez V_c szybkość celu, dla której obliczony został celownik, a przez V'_c szybkość, której będzie odpowiadało zmienione o 4% oddalenie.

$$V_c = \frac{R \cdot v_{sr}}{d}; \quad V'_c = \frac{R \cdot v_{sr}}{1,04d} = \frac{1}{1,04d} \cdot \frac{R \cdot v_{sr}}{d}$$

lub przedstawiając

$$V'_c = \frac{1}{1,04} \cdot V_c = 0,96 V_c,$$

lub

$$V'_c = (1 - 0,04) V_c.$$

Celownik, w razie zmiany oddalenia odpowiadać już będzie szybkości innej, mniejszej od założonej o około 4%. Praktycznie możemy przyjąć, że szybkość zmieni się o taką część, o jaką popełniliśmy błąd w oddaleniu.

Strzelec przy celowaniu powinien się trzymać zasad przytoczonych niżej.

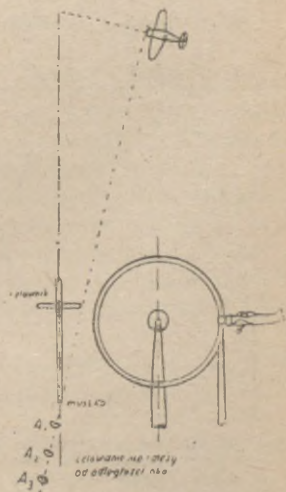
Podstawowe zasady celowania przy ustalonym oddaleniu.

1. Rozpoznać typ samolotu — celu, skrót jego sylwetki, kierunek ruchu i odległość.
2. Ustawić oko w żądanym oddaleniu od pierścienia celownika.
3. Pokryć kulkę muszki środkiem celownika.
4. Wybrać punkt celowniczy na pierścieniu odpowiednio do sylwetki celu z tym, że ruch celu musi być skierowany do środka celownika.
5. Naprowadzić wybrany punkt celowniczy na cel, dbając przy tym, by kulka muszki kryła się ze środkiem pierścienia, a cel podążał do środka.

(Przy k. m. nieruchomych naprowadzanie punktu na cel dokonywa się przez ruch całego samolotu, przy k. m. ruchomych — przez ruch samego k. m.).

Celowniki o niezależnym oddaleniu (rys. 92). Pierścień i muszka mają tu tę samą konstrukcję co w celownikach o ustalonym oddaleniu. Pierścień ustawiony jest przed muszką, czyli muszka jest bliżej oka niż pierścień¹).

Kulka muszki kryje się ze środkiem pierścienia tylko przy kursie celu 0° lub 180° , czyli wówczas gdy cel leci wprost na strzelca lub od strzelca. Na ogół, kulka muszki powinna kryć punkt celowniczy wybrany na obwodzie pierścienia. Na rys. 92 przedstawiony jest kurs celu równy 90° ; punkt celowniczy znajduje się na pierścieniu zewnętrznym. Linia celowania wyznaczona jest przez punkt celowniczy na obwodzie pierścienia oraz przez muszkę. Jak widać z rysunku, wyprzedzenie kątowe jest niezależne od położenia oka; nie ma tu różnicy, w jakim punkcie znajduje się oko (A_1 , A_2 lub A_3) — celowanie jest zawsze prawidłowe.

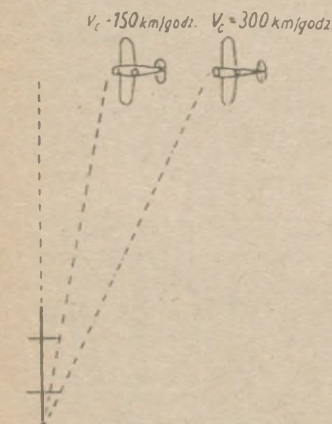


Rys. 92.
Celowanie za pomocą celownika o niezależnym oddaleniu.

¹ Istnieją również konstrukcje przyrządów celowniczych o ustalonym oddaleniu, gdzie pierścień jest z przodu (przyp. tłum.).

Wyprzedzenie kątowe zależy tu tylko od długości linii celownika. Zmieniając odległość między muszką i celownikiem zmieniamy wyprzedzenie kątowe (rys. 93).

Właściwość tę wykorzystano dla konstrukcji celowników nastawianych na różne wysokości celu. W celownikach takich pierścień ustawiony jest na tulei, która może być przesuwana wzdłuż pręta. Przesuw tulei odbywa się za pomocą kółka połączonego linkami z tuleją. Od położenia kąowego kółka zależy położenie tulei z osadzonym na niej pierścieniem, czyli długość linii celownika, a więc i wielkość wyprzedzenia kąowego. Do kółka przymocowany jest wskaźnik, znajdujący się na wprost podziałki szybkości celu w *km/godz*. Ustawiając kółko stosownie do wybranej szybkości celu przesuwamy w ten sposób pierścień i ustalamy długość linii celownika, dzięki czemu celownik daje wyprzedzenie kąowe odpowiadające wybranej szybkości.



Rys. 93. Zmiana wyprzedzenia kąowego przez przesunięcie celownika o niezależnym odchyleniu.

W sposób najprostszy, zależność między szybkością celu a długością linii celownika podaje wzór (48) z tym, że zamiast oddalenia d należy wstawić długość linii celownika l

$$\frac{R}{l} = \frac{V_c}{v_{sr}} \quad (54)$$

Rozwiązując wzór względem l otrzymamy zależność długości linii celownika od szybkości celu przy ustalonych wielkościach szybkości średniej pocisku i promienia pierścienia

$$l = \frac{R \cdot v_{sr}}{V_c}$$

Podstawiając różne wartości V_c , przy stałych v_{sr} i R , otrzymamy odpowiednie wartości dla l . Wystarczy przy tym na podstawie tego wzoru przeliczyć jedno tylko położenie, a pozostałe obliczyć można na zasadzie stosunku odwrotnej proporcjonalności do szybkości celu.

Przykład 37. Obliczyć długości zmiennej linii celownika dla szybkości celu 150, 200, 250 i 300 *km/godz*. Średnica pierścienia 75 mm; $v_{sr} = 740$ m/s (z uwzględnieniem szybkości własnej samolotu).

Rozwiązanie. Ze wzoru (54)

$$l = \frac{R \cdot v_{sr}}{V_c} = \frac{37,5 \cdot 740}{83,3} = 333 \text{ mm.}$$

Liczby 37,5 oraz 83,3 otrzymano przez przekształcenie danych wyjściowych

$$R = \frac{75}{2} = 37,5 \text{ mm},$$

$$V_c = \frac{300}{3,6} = 83,3 \text{ m/sek.}$$

Długości linii celownika 333 mm odpowiada szybkość $V_c = 300 \text{ km/godz.}$ Długości linii celownika dla innych szybkości są odwrotnie proporcjonalne do tych szybkości

V_c	l
300	333
250	x_1
200	x_2
150	x_3
300	x_1
250	$333 : x_1 = 333 \frac{6}{5} = 400 \text{ mm};$
300	x_2
200	$333 : x_2 = 333 \frac{3}{2} = \frac{999}{2} = 499,5 \text{ mm};$
300	x_3
150	$333 : x_3 = 333 \cdot 2 = 666 \text{ mm.}$

Celowniki o niezależnym oddaleniu stosowane były do k. m. nieruchomych. Praktyka wykazała znaczne usterki w ich użyciu. Dokładne ustawianie celownika odpowiednio do szybkości celu nie dawało wyraźnych korzyści, gdyż szybkość celu i tak określa się tylko w przybliżeniu. Poza tym średnia szybkość pocisku po uwzględnieniu szybkości własnej jest również wielkością zmienną. Z tych względów mimo dokładnego ustawienia otrzymywało się tylko wielkości orientacyjne, natomiast przesuw pierścienia powodował niekorzystne zjawisko zmiany kąta celownika.

Pierścień celownika przy przesuwie odchyła się, powodując w konsekwencji odchylenia kierunku broni w prawo lub w lewo, a tym samym i błędy.

Podstawowe zasady celowania przy niezależnym oddaleniu.

1. Rozpoznać typ samolotu-celu, skrót jego sylwetki, kierunek ruchu i odległości.
2. Wybrać punkt celowniczy na pierścieniu odpowiednio do sylwetki samolotu-celu z tym, że ruch celu musi być skierowany do środka pierścienia.
3. Pokryć kulkę muszki z wybranym punktem celowniczym, umieszczając w odpowiednim położeniu oko.
4. Utrzymując na jednej linii oko, kulkę i punkt celowniczy na pierścieniu, naprowadzić linię przezierania na cel manipulując całym samolotem.

trójkąta CB_1B . Przy wykonywaniu wykresów, podanych na rys. 94, 95 i 96 należy przestrzegać zasad celowania podanych wyżej.

Najpierw zaznaczamy kierunek ruchu samolotu strzelca, skierowując stosownie do tego muszkę wiatrową na szkicu: przez środek pierścienia i środek kulki muszki prowadzimy prostą BB_1 ; na przedłużeniu tej prostej, w pobliżu tyłc k. m. zaznaczamy położenie oka. W ten sposób dotrzymane zostały podstawowe zasady celowania: ustawienie oka w żądanym oddaleniu od pierścienia celownika oraz pokrycie kulki i środka pierścienia (punkty 2 i 3 podstawowych zasad celowania przy ustalonym oddaleniu).

W dalszym ciągu wybieramy na pierścieniu punkt c (punkt celowniczy) odpowiednio do kierunku ruchu i kursu celu. Z punktu A_0 , w którym znajduje się oko, prowadzimy prostą A_0C . Na prostej tej musi się znaleźć cel w chwili strzału (punkt 4 wspomnianych zasad). Założmy, że cel znalazł się w punkcie C ; prowadząc prostą CB w kierunku celu, otrzymamy wyprzedzenie. Prowadząc następnie prostą B_1B równoległą do ruchu samolotu strzelca otrzymamy poprawkę na przeniesienie (poprawkę strzelca).

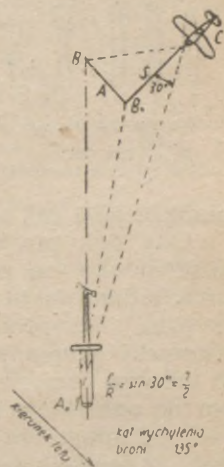
W ten sposób zrobiliśmy cały wykres równoczesnego użycia pierścienia celowniczego i muszki wiatrowej.

Rozpatrzone przykłady użycia pierścienia i muszki wiatrowej były zgodne z podstawowymi zasadami celowania.

Stosowanie celowników do strzelania w locie w wypadkach wymagających stosowania specjalnych zasad celowania omówiono w rozdziale V p. t. „Szczególne wypadki strzelania“.

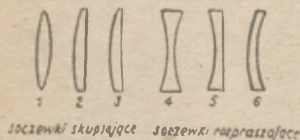
§ 29. Podstawowe wiadomości z optyki. Zasadniczą część każdego celownika optycznego stanowią szkła optyczne. Dzielą się one na soczewki i pryzmaty.

Soczewką nazywamy szkło optyczne, ograniczone dwiema powierzchniami kulistymi lub też jedną powierzchnią kulistą a drugą płaską (rys. 97). Stosownie do doboru tych powierzchni rozróżniamy następujące rodzaje soczewek: dwuwypukłe (1), płasko-wypukłe (2), wklęsło-wypukłe (3), dwuwklęsłe (4), płasko-wklęsłe (5), wypukło-wklęsłe (6). Prosta łącząca środki powierzchni kulistych lub też prosta prostopadła do powierzchni



Rys. 96.. Ruch strzelca i celu w kierunkach przecinających się.

płaskiej i przechodząca przez środek powierzchni kulistej nazywa się *główną osią optyczną soczewki*. Z każdego świecącego się lub oświetlonego punktu rozchodzi się wzdłuż prostych linii światło. Prosta, wzdłuż której idzie światło, nazywa się promieniem. Kilka takich prostych, wychodzących ze wspólnego punktu, tworzy pęk promieni. Każda soczewka ma tę właściwość, że odchyła promienie.



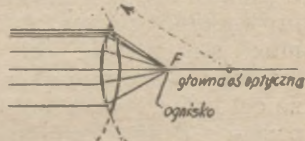
soczewki skupiające soczewki rozpraszające

Rys. 97.

Szkła optyczne (soczewki).

Jeśli promienie po przejściu przez soczewkę zbliżają się do głównej osi optycznej, to soczewka zwie się *skupiającą*, jeśli zaś oddalają się — *rozpraszającą*.

Gdy pęk promieni wychodzi z punktu znajdującego się dość daleko, na przykład o kilkaset metrów, to kąt między promieniami jest tak mały, że możemy traktować je jako równoległe. Pęk promieni, równoległy do głównej osi optycznej soczewki skupiającej po załamaniu się promieni skupia się w jednym punkcie. Punkt ten nazywa się *ogniskiem soczewki*, a odległość od niego do środka soczewki jest *odległością ogniskową* (rys. 98) lub w skrócie *ogniskową*.



Rys. 98. Bieg promieni w soczewce skupiającej.

W soczewce rozpraszającej promienie po załamaniu nie mogą zebrać się w jednym punkcie, gdyż oddalają się od głównej osi optycznej; w tym wypadku ogniskiem nazywa się punkt, w którym schodzą się przedłużenia promieni (rys. 99).

Jeśli umieścimy oko w punkcie A, to będzie się nam wydawało, że promienie idą z punktu F. Obraz przedmiotu w rzeczywistości nie istniejący a widoczny na skutek złudzeń wzrokowych, nazywamy *obrazem pozornym*.



Rys. 99. Bieg promieni w soczewce rozpraszającej.

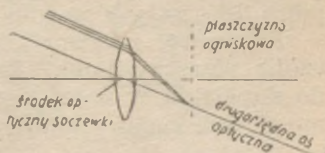
Odległość ogniskowa jest wielkością charakteryzującą soczewkę. Zdolność załamывania światła charakteryzuje się wielkością odwrotnie proporcjonalną do odległości ogniskowej, ułamkiem $\frac{1}{f}$, wyrażonym

w *dioptriach*. Dioptria jest to zdolność, skupiająca soczewki o odległości ogniskowej, równej 1 m. Na przykład, celowniki do strzelania w locie mają soczewki o odległości ogniskowej $f = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$.

Zdolność skupiająca tych soczewek wynosi:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{0,1} = 10 \text{ dioptrii} \quad (55)$$

Płaszczyzna prostopadła do osi optycznej przeprowadzona przez ognisko soczewki nazywa się *płaszczyzną ogniskową* (rys. 100). Skierowując promienie równoległe do głównej osi optycznej z obydwóch stron soczewki otrzymamy ogniska główne z obu stron (rys. 98 i 99). Każda soczewka ma dwa ogniska i dwie płaszczyzny ogniskowe, znajdujące się z jej obu stron.



Rys. 100. Bieg pęku promieni równoległych w soczewce dwuwypukłej.

W każdej soczewce jest punkt leżący na osi głównej, posiadający tę własność, że promienie przechodzące przez ten punkt nie ulegają odchyleniu; punkt ten nazywa się *środkiem optycznym soczewki*. Proste przechodzące przez środek optyczny nazywają się *drugorzędnymi osiami optycznymi*. Pęk promieni równoległych do drugorzędnej osi optycznej skupia się na płaszczyźnie ogniskowej w punkcie jej przebiecia z drugorzędną osią optyczną. Korzystając z opisanych właściwości soczewki, znając odległość ogniskową i odległość przedmiotu od soczewki, możemy zawsze wyznaczyć drogę promieni, pochodzących z pęku wytworzonego przez punkt świetlny. Przecięcie promieni daje obraz punktu. Biorąc kilka punktów pewnego oświetlonego przedmiotu, możemy wyznaczyć jego obraz.



Rys. 101.
Wyznaczenie obrazu przedmiotu dalekiego utworzonego przez soczewkę dwuwypukłą.

Oko umieszczone na drodze promieni, wychodzących ze wspólnych punktów, ujrzy przedmiot w innym miejscu; przedmiot ten będzie przybliżony lub oddalony w zależności

od wzajemnego położenia soczewki i przedmiotu.

Wyznaczamy obraz strzałki MN (rys. 101), znajdującej się w dużej odległości od soczewki. Możemy przyjąć, że promienie, wychodzące z poszczególnych jej punktów, są równoległe.

Pęk promieni wychodzący z końca strzałki MN powinien po załamaniu skupić się w punkcie przecięcia drugorzędnej osi optycznej z płaszczyzną ogniskową. Obraz końca strzałki otrzymamy w punkcie m. W ten sam sposób otrzymamy na płaszczyźnie ogniskowej w punkcie n obraz ostrza strzałki N.

Obrazy punktów pośrednich otrzymuje się analogicznie. Otrzymany obraz jest odwrócony i zmniejszony.

Obraz taki nazywamy *rzeczywistym*, gdyż pochodzi z przecięcia promieni i może być uchwycony na ekran. Na przykład, jeśli w płaszczyźnie ogniskowej ustawimy arkusz białego papieru, to ujrzymy na nim obraz przedmiotu.

Pryzmaty. Pryzmatami nazywamy szkła optyczne ograniczone płaszczyznami. Zadaniem pryzmatów w celownikach do strzelania w locie jest zmiana kierunku całego pęku promieni, bez zmiany kątów pomiędzy promieniami.

Działanie to jest oparte na zdolności promienia światła (przy pewnych kątach) do przenikania wewnątrz przezroczystego ciała lub odbijania się od jego powierzchni. Ściany pryzmatów znajdujące się na drodze promieni są płaszczyznami starannie szlifowanymi i polerowanymi.

Najbardziej rozpowszechnione są pryzmaty prostokątne (rys. 102); ściany wejściowa i wyjściowa tworzą kąt 90° . Promień światła doprowadzany jest zwykle prostopadłe do powierzchni wejściowej (rys. 103), a wewnątrz pryzmatu napotyka pod kątem 45° ścianę odbijającą MP, odbija się od niej i wychodzi na zewnątrz przez ścianę NP. Odbicie promienia odbywa się zgodnie ze znanym prawem. Kąt padania promienia równy jest kątowi odbicia. W rezultacie zajdzie tu zmiana kierunku promienia o 90° .



Rys. 102. Pryzmat prostokątny.

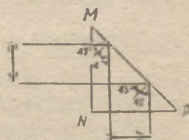
Śledząc według rys. 103 bieg promieni pochodzących z szeregu punktów przedmiotu, zauważymy, że po przejściu przez pryzmat dadzą one obraz przedmiotu wielkości naturalnej, lecz obrócony o 90° .

Oko. Właściwości oka w dużym stopniu wpływają na konstrukcję oraz sposób posługiwania się układami optycznymi.

Na rys. 104 przedstawiony jest przekrój oka płaszczyzną pionową. Zewnętrzną powłokę oka stanowi *białkówka*, zwana w potocznym języku białkiem, przezroczysta w części przedniej nieco bardziej wypukłej, a nieprzezroczysta o kolorze białym na pozostałej powierzchni.

Część przezroczysta białkówki nazywa się *rogówką*. Od tyłu jabłka ocznego do wnętrza jego przez białkówkę przenikają naczynia krwionośne, odżywiające oko oraz nerwy.

Naczynia krwionośne rozgałęziając się tworzą *naczyniówkę*.



Rys. 103. Bieg promieni w pryzmacie prostokątnym.

Naczyniówka w swej części przedniej przechodzi w tęczówkę, której zabarwienie nie jest jednakowe u poszczególnych ludzi. Pośrodku tęczówki znajduje się okrągły otwór — *żrenica*.

Żrenica otoczona jest mięśniami pierścieniowymi, które kurcząc się zmieniają jej wymiary, zmniejszając lub zwiększając ilość światła przenikającą do oka. Średnica żrenicy zmienia się w granicach od 2 do 7 mm. Na naczyniówce rozgałęzienia nerwu ocznego tworzą trzecią powłokę — *siatkówkę*, która otrzymuje wrażenie wzrokowe od oglądanego przedmiotu.



Rys. 104. Przekrój oka.

W środku siatkówki znajduje się tzw. *plamka żółta*, najbardziej czułe miejsce siatkówki; końcówki włókien nerwowych (tzw. czopki) są tu rozmieszczone gęściej niż w innych miejscach.

Jesteśmy w stanie zobaczyć przedmiot wówczas nawet, gdy znajduje się on nieco z boku, lecz po to, by go obejrzeć, kierujemy nań oczy, czyli nadajemy im położenie takie, by promienie światła z tego przedmiotu padały na plamkę żółtą.

Do wewnętrznej powierzchni tęczówki przylega ciało przezroczyste — *soczewka*. Jest ona sprzęgnięta z pierścieniem mięśni, które mogą zmienić jej krzywiznę. Przestrzeń między soczewką a rogówką napełniona jest cieczą wodnistą, przestrzeń za soczewką również zawiera ciecz zwaną *ciałkiem szklistym*.

Jak widzimy, oko stanowi układ optyczny. Ma ono środek optyczny; oglądane przedmioty dają wewnątrz oka obrazy zmniejszone i odwrócone. Do świadomości ludzkiej te odwrócone obrazy dochodzą jako proste, co jest podyktowane doświadczeniem życiowym. Przedmiot jest widoczny wyraźnie, gdy obraz jego otrzymywany jest dokładnie na siatkówce.

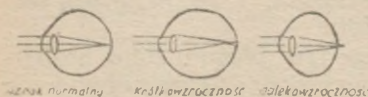
Normalne oko jest zbudowane tak, że jeśli przedmiot znajduje się w znacznej odległości od niego, to obraz jego powstaje na siatkówce bez naprężenia mięśni soczewki. Gdy przedmiot jest blisko, to przy poprzedniej krzywiznie soczewki (więc przy mięśniach nie naprężonych) obraz powstałby poza siatkówką; po to, żeby przesunąć ten obraz, soczewka powinna zwiększyć swą zdolność załamania światła. Naprężenie mięśni sprzęgniętych z soczewką zwiększa jej krzywiznę, dzięki czemu obraz pada na siatkówkę. Zdolność przystosowania się oka do zmian odległości nazywa się *akomodacją*.

W drodze doświadczeń stwierdzono, że oko widzi bez żadnego wysiłku przedmioty oddalone ponad 6 m, gdyż reaguje na nie tak, jak na przedmioty nieskończenie oddalone.

Najmniejszą odległością, do której oko jest w stanie dostosować się, jest 12 cm.

Akomodacja osiągana jest, jak wspomnieliśmy wyżej, kosztem naprężenia mięśni sprzęgniętych z soczewką. Przy długotrwałym oglądaniu przedmiotów bliskich mięśnie ulegają zmęczeniu, oko przestaje dostosowywać się i przedmiot staje się niewyraźny.

Każdy układ optyczny musi być zbudowany tak, by jak najmniej męczył wzrok. Oko męczy się najmniej wówczas, gdy patrzy na przedmioty odległe, od których idą równoległe pęki promieni; zatem układy optyczne posyłać powinny do oka równoległe pęki promieni.



Rys. 105.
Wpływ kształtu oka na ostrość wzroku.

Istnieją odchylenia od normalnej budowy oka. Wydłużony kształt jabłka ocznego sprawia, że obrazy tworzą się przed siatkówką (rys. 105). Wada ta zwie się krótkowzrocznością. Przy patrzeniu na przedmioty z małej odległości oko takie napręża się mniej niż oko normalne, ponieważ obraz odsuwając się do tyłu trafia właśnie na siatkówkę. Tym tłumaczy się znane zjawisko, że oko krótkowzroczne dobrze widzi przedmioty bliskie, źle zaś odległe. Dla poprawienia wzroku na dalszą odległość przed okiem unieszcza się soczewkę rozpraszającą (okulary), która rozwiera promienie względem głównej osi optycznej (rys. 106). Oko załamując odchyłone promienie otrzymuje obraz na siatkówce, czyli, bardziej oddalony od soczewki, niżby to było bez użycia okularów.

Okulary dobierane są odpowiednio do budowy oka. Przy skróconym jabłku ocznym obraz tworzy się poza siatkówką. Przedmioty odległe oko takie może widzieć dobrze, o ile obraz ich przybliży się do soczewki dzięki akomodacji; obrazy przedmiotów bliskich o tyle oddalają się poza siatkówkę, że nawet intensywna akomodacja nie jest w stanie powrócić im właściwego położenia i przedmiot widziany jest mgliście.

Aby obraz zbliżyć, przed okiem ustawia się soczewkę zbierającą; soczewka potęguje skupienie promieni i przybliża obraz do siatkówki.

Siatkówka oka utworzona jest przez końcowe włókna nerwu wzrokowego, zakończone tzw. czopkami i słupkami. Jeżeli



Rys. 106.
Korygowanie wad wzroku.

obrazy punktów są do siebie o tyle zbliżone, że może je ob-
jąć jedno zakończenie włókna nerwu wzrokowego, to do świa-
domości dochodzi obraz jednego tylko punktu, a nie dwóch.

Praktycznie stwierdzono, że oko może widzieć osobno dwa
punkty oświetlone odległe o 1 km od obserwatora, jeśli od-
ległość między nimi jest nie mniejsza niż 29 cm. Kąt, pod któ-
rym oko widzi te dwa punkty, równa się 1 min.

Najmniejszy kąt, pod którym oko widzi dwa osobne punkty,
charakteryzuje ostrość wzroku.

Oko jest w stanie z bardzo dużą dokładnością, przekracza-
jącą nawet 1', odróżniać dwie proste równoległe poziome lub
pionowe. Tłumaczy się to tym, że obrazy prostych obejmują
szereg włókien, co zwiększa czułość oka. Zjawisko to wyko-
rzystane jest w dalmierzach optycznych.

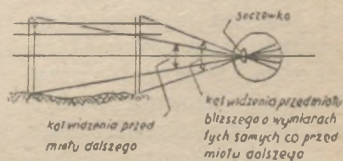
Kąt widzenia. Linie, przeprowadzone ze środka optycznego
oka do skrajnych punktów zarysu przedmiotu, tworzą kąt wi-
dzenia (rys. 107). Wielkość kąta widzenia przy stałej wiel-
kości przedmiotu zależy od jego odległości od oka: im bliżej
jest przedmiot, tym większy jest kąt widzenia. Wielkość ob-
razu przedmiotu na siatkówce otrzymamy prowadząc promie-
nie ze skrajnych punktów zarysu przedmiotu przez środek op-
tyczny oka. Promienie te nie załamają się i wyznaczą na siat-
kówce skrajne punkty obrazu.

Ustawiając przedmiot bliżej i ponownie prowadząc skrajne
promienie, zauważymy, że obraz na siatkówce zwiększa się przy
zwiększeniu kąta widzenia; im większy mamy obraz na siat-
kówce, tym więcej widzimy szczegółów.

Luneta. Rozpatrzmy schemat najprostszej lunety, której
układ stosowany jest we wszystkich celownikach optycznych.

Najprostsza luneta ma dwie soczewki: przednią, zwróconą
do oglądanego przedmiotu, zwaną obiektywem, i tylną, zwró-
coną do oka, zwaną okulem.

Przy patrzeniu na przedmiot
odległy promienie po przejściu
przez obiektyw dają w płaszc-
zyźnie ogniskowej obraz od-
wrócony i zmniejszony, lecz
zbliżony do obserwatora. Kąt
widzenia przedmiotu widziane-



Rys. 107. Obraz przedmiotu na siatkówce
zależy od kąta widzenia.

go przez obiektyw równa się kątowi widzenia gołym okiem,
obraz natomiast jest bliższy. Okular pozwala na oglądanie
tegoż obrazu pod większym kątem, niż ten, jaki daje gołe oko.
Aby oko nie zużyło się, promienie w pękach powinny być

równoległe, wobec czego soczewka okularu ustawiana jest tak, by obraz pokrywał się z płaszczyzną ogniskową okularu. Obraz jest widziany przez okular pod większym kątem, więc na siatkówce otrzymamy obraz większy, w którym obserwator będzie w stanie obejrzeć więcej szczegółów.

Wymiary obrazu pewnego przedmiotu na siatkówce, jak wspomniano wyżej, zależą od kąta, pod jakim widzimy sam przedmiot lub jego obraz w lunecie. Jeśli kąt widzenia jest 2 razy większy, to i przedmiot będzie się nam wydawał zwiększony dwukrotnie.

Stosunek kąta, pod którym widzimy obraz przedmiotu przez przyrząd optyczny, do kąta, pod którym widzimy przedmiot gołym okiem, nazywamy powiększeniem przyrządu optycznego.

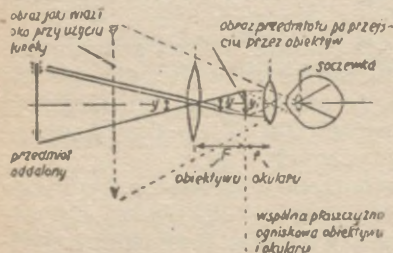
Ten sam obraz (rys. 108) widziany jest przez obiektyw pod kątem Y , a przez okular pod kątem Y_1 . Kąt Y równa się kątowi widzenia, pod którym widzielibyśmy przedmiot gołym okiem, Y_1 jest to kąt, pod którym promienie wchodzi do oka.

Kąt może być zmierzony stosunkiem linii poprzecznej do odległości od wierzchołka. Przy tej samej wielkości linii poprzecznej kąt Y_1 będzie tyle razy większy od Y , ile razy odległość ogniskowa f jest mniejsza od F .

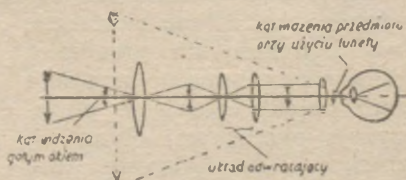
$$\frac{\text{Odległość ogniskowa obiektywu}}{\text{Odległość ogniskowa okularu}} = \frac{F}{f} \quad (56)$$

Powiększenie oznaczane jest na lunecie odpowiednią liczbą ze znakiem mnożenia u góry. Na przykład: $1,5\times$ oznacza powiększenie półtorakrotne, $2\times$ — dwukrotne, $6\times$ — sześciokrotne itd.

Powiększenie danego przyrządu optycznego uwydatnia błąd w celowaniu, jaki popełnia strzelec. Wymiary liniowe celu wydają się większe i dlatego wyraźniej występują nawet nieznaczne przesunięcia siatki celownika.



Rys. 108. Schemat najprostszej lunety.



Rys. 109. Schemat lunety ziemskiej zaopatrzonej w układ odwracający.

Obraz otrzymany za pomocą lunety jest odwrócony. Lunety dające obraz odwrócony używane są w astronomii i częściowo w miernictwie, natomiast przyrządy celownicze nie mogą stwarzać żadnych trudności przy przejściu od bezpośredniej obserwacji celu do obserwacji przez przyrząd. Dlatego też wprowadza się jeszcze jedną lub dwie soczewki zwane układem odwracającym, których rola polega na ponownym odwróceniu obrazu do stanu normalnego (rys. 109).

Pole widzenia lunety. Polem widzenia przyrządu optycznego nazywa się część przestrzeni, której obraz obserwator widzi przez przyrząd. Tylko ten punkt przestrzeni może być widoczny, z którego promienie mogą przejść przez obiektyw i okular. Wyobraźmy sobie, że pewien przedmiot zajmuje całe pole widzenia obiektywu (rys. 110). Skrajne punkty zarysu tego przedmiotu tylko wówczas mogą być objęte okiem, jeśli nie wychodzą poza linie aa i bb ; każda inna prosta przejdzie poza soczewką, a promień biegnący wzdłuż tej linii będzie pochłonięty przez ciemną powierzchnię wewnętrzną lunety.

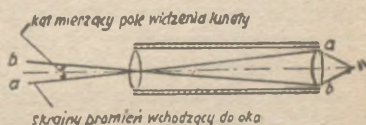
Kąt, charakteryzujący pole widzenia lunety, w danym wypadku będzie kątem widzenia obiektywu w stosunku do danego przedmiotu; polem widzenia okularu będzie jego kąt widzenia w stosunku do obrazu przedmiotu (rys. 108). Pierwszy z omówionych kątów jest tyle razy mniejszy od drugiego, ile wskazuje liczba określająca powiększenie lunety. Dlatego też przyjęto określenie: pole widzenia obiektywu równa się polu widzenia okularu, podzielonemu przez powiększenie lunety. Pole widzenia obiektywu zwie się również rzeczywistym, gdyż tylko ono w praktyce obchodzi strzelca przy wynajdywaniu celu.

Najbardziej rozpowszechnione proste okulary dają pole widzenia nie przekraczające 50° .

Widzimy z tego, że nie możemy mieć dużego pola widzenia przy dużym powiększeniu. Na przykład przy czterokrotnym powiększeniu otrzymujemy:

pole widzenia obiektywu $\frac{50^\circ}{4} = 12,5^\circ$, kąt między skrajnym promieniem a główną osią optyczną wynosi $\frac{12,5}{2} = 6,25^\circ$;

wielkość jest już nie wystarczająca dla strzelania do szybko poruszającego się celu.



Rys. 110.
Wyznaczenie pola widzenia lunety.

Bardziej skomplikowane nowoczesne okulary mogą mieć pole widzenia do 75° , jednak nie weszły one dotąd w użycie.

Ze wzrostem pola widzenia wzrastają znacznie wymiary poprzeczne i ciężar lunety, co nie zawsze jest dopuszczalne.

Żrenica wejściowa i wyjściowa lunety. Do lunety przez obiektyw wejść mogą tylko te promienie, które przejdą między brzegami oprawy; otwór w oprawie nazywa się żrenicą wejściową lunety.

Czasem wewnątrz rury znajduje się przegródka z otworem, tzw. *przesłona*, która ogranicza pęk promieni wchodzących i wówczas przesłona ta, a nie otwór w oprawie, odgrywa rolę żrenicy wejściowej.

Promienie po przejściu przez soczewki wychodzą przez okular na drugą stronę lunety.

Jeśli na drodze ich postawimy arkusz papieru i będziemy oddalać go i przybliżać do okularu, to znajdziemy takie położenie papieru, przy którym krążek świetlny będzie miał zarys najbardziej wyraźny. Krążek świetlny utworzony przez promienie przy wyjściu z okularu jest obrazem żrenicy wejściowej i nazywa się *żrenicą wyjściową* lunety.

Na podstawie praw fizyki stosunek średnicy żrenicy wejściowej do średnicy żrenicy wyjściowej jest równy powiększeniu lunety.

Wyraźny zarys krążka świetlnego w miejscu odpowiadającym żrenicy wyjściowej otrzymujemy dlatego, że tu pęk promieni świetlnych ma przekrój najmniejszy, czyli że promienie są najbardziej skupione. Dlatego też przy posługiwaniu się przyrządami optycznymi należy umieszczać oko w miejscu odpowiadającym żrenicy wyjściowej, gdyż wówczas do oka wchodzi promienie z całego pola widzenia lunety i patrząc może wykorzystać całe pole widzenia. W miarę oddalania lub zbliżania oka pole widzenia maleje. Żrenica wyjściowa celowników optycznych stosowanych w k.m. i kb. powinna być możliwie większa, gdyż wówczas łatwiejsze jest właściwe umieszczenie oka. W celownikach k.m. łolniczych typu Aldis żrenica wynosi 40 mm.

Przy dużej żrenicy wyjściowej, większej niż średnica żrenicy oka, część promieni świetlnych jest niewykorzystana, gdyż nie może wejść do oka. Jednak musimy się zgodzić z tą stratą, dla uzyskania jak największej szybkości celowania.

Oddalenie żrenicy wyjściowej od okularu uwarunkowane jest względami bezpieczeństwa dla strzelca przy odrzucie lub przypadkowym pchnięciu broni.

W celownikach kb. oddalenie wynosi zwykle 80 mm, w celownikach optycznych k.m. lotniczych około 180 mm.

Lunety ziemne i lornetki mają przy okularach muszle lub też gumowe nakładki, ustalające właściwe położenie oka w miejscu źrenicy wyjściowej. Obecnie oddalenie źrenicy wyjściowej okularu nie wykonuje się w wymiarze mniejszym niż 22 mm dla zapewnienia wygody pracy w masce przeciwgazowej.

Siła światła. Promienie światła idące z obserwowanego obiektu dają jego obraz na siatkówce oka. Przedmiot ten jest tym jaśniejszy, im więcej promieni przypada na jednostkę powierzchni obrazu, czyli im silniejsze jest jego oświetlenie. Stosunek oświetlenia obrazu przedmiotu na siatkówce oka przy patrzeniu przez układ optyczny do oświetlenia obrazu przy patrzeniu gołym okiem nazywa się *jasnością przyrządu optycznego*.

Ilość promieni wychodzących z przyrządu optycznego jest proporcjonalna do powierzchni źrenicy wyjściowej lub też kwadratu średnicy tej źrenicy (gdyż stosunek powierzchni kół równa się stosunkowi kwadratów ich średnic).

Ilość promieni świetlnych wchodzących do oka jest proporcjonalna do powierzchni źrenicy lub też do kwadratu średnicy źrenicy oka.

Jeśli do oka wchodzi wszystkie promienie z przyrządu optycznego, czyli średnica źrenicy wyjściowej jest równa średnicy źrenicy oka lub mniejsza od niej, to siła światła przyrządu może być zmierzona stosunkiem kwadratów średnic źrenicy wyjściowej i źrenicy oka, a więc

$$\frac{d^2 \text{ przyrządu}}{d^2 \text{ średnicy oka}} \dots \dots \dots (57)$$

Średnica źrenicy jest wielkością zmienną: przy jaskrawym oświetleniu wynosi ona 2 mm, przy zmroku 6 mm, w ciemnościach 7 mm; dlatego dla charakterystyki siły światła bierze się pod uwagę tylko kwadrat średnicy źrenicy wyjściowej przyrządu.

Na przykład, jeśli średnica źrenicy wyjściowej wynosi 5 mm, to jasność przyrządu optycznego wyraża się liczbą 25.

Jasność normalna przyrządów optycznych wynosi 36, gdyż wówczas średnica źrenicy wyjściowej przyrządu jest równa 6 mm, czyli odpowiada średnicy źrenicy oka o zmroku i wszystkie promienie dostają się do oka.

Zwiększenie średnicy wyjściowej powyżej 6 mm nie poprawia oświetlenia obrazu na siatkówce, gdyż część promieni

nie trafia już do oka. Jednak w tych przyrządach, gdzie względ na warunki bojowe, jak konieczność szybkiego złożenia się lub kołysanie samolotu, uniemożliwia dokładne ustawienie oka, źrenica wyjściowa bywa znacznie powiększona; w celownikach do strzelania w locie dochodzi ona do 40 mm.

Należy zauważyć, że pomiar jasności stosunkiem kwadratów średnic źrenicy wyjściowej przyrządu i źrenicy oka jest do pewnego stopnia fikcją, gdyż opiera się tylko na stosunku geometrycznym i nie uwzględnia strony fizycznej zjawiska, tj. straty światła przy przechodzeniu przez układ optyczny.

Przy przechodzeniu światła przez każdą soczewkę tracimy wskutek odbicia od powierzchni oraz pochłonięcia przez grubość szkła około 10% ilości tych promieni, które weszły. W celownikach optycznych k.m. lotniczych strata wynosi około 40% światła.

Stopień oświetlenia obrazu na siatkówce jest zawsze mniejszy przy patrzeniu przez przyrząd optyczny, niż przy patrzeniu gołym okiem.

Dla wyjaśnienia tego zjawiska rozpatrzmy przykład. Luneta o pięciokrotnym powiększeniu ma średnicę źrenicy wejściowej, czyli soczewki obiektywu, równą 30 mm; średnicę źrenicy oka przyjmujemy równą 6 mm. Ilość światła pochłanianego za pośrednictwem przyrządu optycznego przez oko będzie tyle razy większa, ile razy powierzchnia soczewki jest większa od średnicy oka. Stosunek powierzchni wyrażamy stosunkiem kwadratów średnic

$$\frac{30^2}{6^2} = \left(\frac{30}{6}\right)^2 = 5^2 = 25.$$

Oko przez ten przyrząd jest w stanie pochłoniąć 25 razy więcej światła.

Średnicę źrenicy wyjściowej znajdziemy, dzieląc średnicę źrenicy wejściowej przez powiększenie

$$\frac{30}{5} = 6 \text{ mm.}$$

Ponieważ źrenica oka ma średnicę tej samej wielkości — 6 mm, więc cała ilość światła przeniknie do oka. Obraz przedmiotu na siatkówce, dzięki pięciokrotnemu powiększeniu, zajmie powierzchnię 25 razy większą, niż przy patrzeniu gołym okiem; mimo, że światła weszło 25 razy więcej, stopień oświetlenia pozostał bez zmian, gdyż światło to przypada na powierzchnię 25 razy większą.

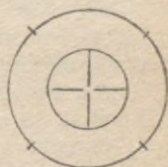
Nie uwzględniliśmy tu straty światła w przyrządzie optycznym. Jeśli na przykład 40% światła stracimy, to pozostanie

nam 60%, a ilość światła, która wejdzie do oka, będzie nie 25 razy większa, lecz tylko $25 \cdot 0,6 = 15$ razy.

W rezultacie powierzchnia obrazu wzrosła 25-krotnie, a ilość światła tylko 15-krotnie. Dlatego też stopień oświetlenia obrazu na siatkówce przy użyciu przyrządu optycznego będzie mniejszy, niż przy patrzeniu gołym okiem.

Jednak doświadczenie wskazuje, że przez lunetę przedmiot widzimy wyraźniej niż gołym okiem. Dzieje się to z powodów następujących:

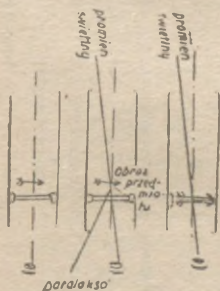
1. przez lunetę przenikają do oka promienie tylko od tych przedmiotów, które znajdują się w polu widzenia, a ściany lunety pochłaniają wszystkie promienie boczne; obraz wypada na ciemniejszym tle, a więc przedstawia się bardziej kontrastowo;
2. jeśli luneta daje powiększenie, to obraz na siatkówce obejmuje większą ilość odgałęzień włókien nerwu ocznego, czułość oka jest większa, wzrasta ilość zaobserwowanych szczegółów.



Rys. 111.
Siatka celownicza
celownika optycz-
nego Aldis.

Konstrukcja siatki celowniczej. Siatka celownicza celowników do strzelania w locie składa się zwykle z koła i skrzyżowania (rys. 111).

Siatka wykonana jest na cienkiej płytce szklanej za pomocą kresek (wąskich bruzdek); promienie światła rozpraszając się w miejscach kresek dają wrażenie cienkich ciemnych nici. Najprostsze siatki w kształcie skrzyżowania mogą być wykonane za pomocą cienkich drucików metalowych (0,2 mm), których końce wlutowane są do oprawy pierścieniowej.



Rys. 112.
Paralaks siatki wzglę-
dem obrazu przedmiotu.

Jeśli trzeba ustawiać kąt celownika, siatkę wykonuje się ruchomą, a przesuwanie jej odbywa się za pomocą śruby pociągowej; ustawienie siatki w tym wypadku musi być takie, by oś optyczna przechodząca przez środek obiektywu i skrzyżowanie tworzyła z osią lufy żądany kąt celownika. Siatkę umieszcza się w płaszczyźnie ogniskowej obiektywu; ustawienie siatki musi być wykonane fabrycznie z bardzo dużą dokładnością. W ra-

zie niedokładnego ustawienia siatki w płaszczyźnie ogniskowej możemy zaobserwować zjawisko przesuwania się

nici względem obrazu, zależnie od położenia oka. Zjawisko takie nazywa się paralaksą.

Na rys. 112 przedstawione są położenia nici nie pokrywających się z płaszczyzną ogniskową oraz pokrywających się z nią (czyli umieszczonych prawidłowo); w pierwszym wypadku przedstawiona jest również paralaksa. Maksymalna dopuszczalna wielkość paralaksy przy celownikach lotniczych nie może przekraczać 2 min.

Celownik optyczny daje duże korzyści w porównaniu ze zwykłym celownikiem przeziernikowym.

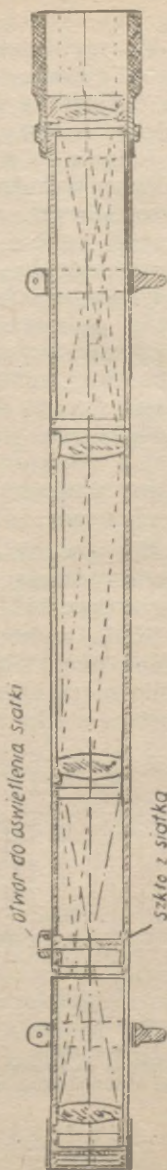
Jeśli się ma do czynienia z pierścieniem i muszką, to oko musi śledzić równocześnie trzy punkty: pierścień, muszkę i cel.

Ponieważ oko akomoduje tylko w stosunku do jednego z punktów, więc obraz pozostałych dwóch jest mętny. Jeśli oko będzie akomodoowało po kolei do każdego z tych punktów, to widoczność punktów będzie lepsza, lecz oko ulega szybkiemu zmęczeniu.

W celownikach optycznych obraz i skrzyżowanie pokrywają się wzajemnie w jednej płaszczyźnie, gdyż obrazy przedmiotów oddalonych bardziej niż o 100 m właściwie leżą w płaszczyźnie ogniskowej obiektywu, czyli tam, gdzie znajduje się siatka. Dla zmniejszenia stopnia zmęczenia oka obraz celu i siatka przenoszone są dalej (w nieskończoność). Przy celowaniu konieczne jest pokrycie dwóch tylko punktów: jednego leżącego na celu, drugiego na siatce.

Celownik optyczny może mieć powiększenie oraz dostosowywanie okularu do oka (dla krótkowidzów — przybliżenie, dla dalekowidzów — oddalenie). Najprostsze celowniki jednak, jak na przykład Aldis, nie są dostosowywane do oka.

Celownik Aldis do strzelania w locie. Celownik Aldis jest to luneta o powiększeniu równym 1 (jedność). Konstrukcja jego jest następująca (rys. 113): z przodu znajduje



Rys. 113. Przekrój celownika optycznego Aldis.

się zwykle płaskie szkło chroniące obiektyw, ponieważ soczewki wykonane są ze szkła miękkiego; dalej idzie obiektyw, w którego płaszczyźnie ogniskowej ustawione jest szkło z siatką; następnie mamy dwie soczewki układu odwracającego; promienie po wyjściu z tego układu dają obraz przedmiotu w płaszczyźnie ogniskowej obiektywu. Właściwością tego celownika jest to, że wszystkie soczewki mają jednakową ogniskową $f = 100 \text{ mm}$. Wszystkie soczewki znajdują się w równych odległościach, wynoszących podwójną ogniskową. Średnica wszystkich soczewek wynosi 40 mm . Ponieważ powiększenie równa się 1, więc źrenice wejściowa i wyjściowa są równe; oddalenie źrenicy wyjściowej od okularu — 180 mm .

Przez lunetę przejść mogą tylko te promienie, które trafiają na drugą soczewkę, ograniczającą promienie idące do obiektywu. Na rys. 113 podany jest bieg promieni.

Celownik Aldis ma pole widzenia równe $22^{\circ}30'$, pole widzenia siatki — $9^{\circ}50'$, a wyprzedzenie katowe

$$\frac{9^{\circ}50' - 4^{\circ}55'}{2}$$

Długość celownika wynosi 600 mm . Dla ochrony oka na tylnym końcu lunety umieszczono ochraniacz gumowy.

Celownik Aldis poza zaletami, właściwymi wszystkim celownikom optycznym, zwiększa jeszcze kąt widzenia pilota, dzięki znacznej długości i dużemu polu widzenia. Oko pilota jest jakby przesunięte w kierunku obiektywu, mając pole widzenia przyrządu większe, niż widoczność z miejsca pilota. Widoczność z miejsca pilota jest ograniczona maską silnika, a w dwupłatach również i płatem górnym.

Zasady celowania za pomocą celownika optycznego.

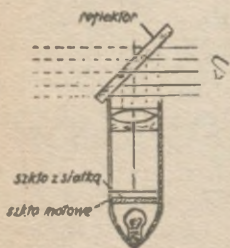
1. Rozpoznać typ samolotu - celu, określić skrót jego sylwetki, kierunek ruchu i odległość.
2. Wybrać punkt celowniczy na pierścieniu siatki odpowiednio do sylwetki, przy tym ruch celu musi być skierowany do środka pierścienia.
3. Naprowadzić wybrany punkt celowniczy na cel, manipulując całym samolotem, dbając, by cel poruszał się w kierunku środka pierścienia.

Celownik świetlny. Francuski celownik świetlny składa się z rury dającej obraz siatki i reflektora, kierującego promienie do oka strzelca (rys. 114). Rura zawiera: żarówkę, zasilaną akumulatorem, szkło matowe rozpraszające światło, szkło z obrazem siatki oraz soczewkę skupiającą promienie idące z siatki. Szkło dające obraz siatki pomalowane jest

czarną farbą, a sama siatka zaznaczona jest kreskami, wyciętymi (wydrapanymi) w farbie. Przed szkłem matowym może być umieszczone szkło kolorowe dla zabarwienia obrazu siatki. Zwykle używa się barwy czerwonej dobrze widocznej na tle nieba.

Siatkę umieszcza się w ognisku soczewki; promienie po przejściu przez siatkę trafiają na reflektor ustawiony pod kątem 45° i kierują się w tył do oka strzelca. Reflektor wykonany jest ze szkła lustrzanego, starannie polerowanego. Przez reflektor pilot może swobodnie obserwować całą przestrzeń przed sobą.

Obraz siatki strzelec widzi poza szkłem, tam, gdzie przecinają się przedłużenia odbitych promieni. Jeśli szkło z siatką umieścimy w ognisku głównym soczewki, ujrzymy obraz bardzo oddalony, rzutujący się na tle nieba.



Rys. 114.
Celownik świetlny.

Oko widzi taki obraz bez zmęczenia. Na tle nieba widzi strzelec również i cele latające.

Za pomocą przystrzeliwania wyznaczono uprzednio położenie celownika, a więc i położenie osi optycznej pęku promieni względem osi lufy k. m.

Zaletami celownika świetlnego są małe wymiary i zupełny brak części, zasłaniających pole widzenia z miejsca pilota. Wadą jest konieczność posiadania źródła prądu elektrycznego; ponadto na niektórych typach samolotów rura wpuszczona do wnętrza kadłuba przeszkadza w użyciu przyrządów pokładowych.

Odmianą celownika świetlnego jest celownik optyczny Zeissa. Celownik ten ma wymiary bardzo małe, a część optyczna jego umieszczona jest poziomo, dzięki czemu może być zamontowana ponad kadłubem.

Wszystkie celowniki świetlne dają takie same pole widzenia, jak i gołe oko. Przypomnijmy tu, że celownik Aldis jakby zbliża oko strzelca do przodu.

Określenie danych liczbowych przyrządu optycznego. Dla określenia wyprzedzenia kąowego, jakie daje celownik optyczny, oglądamy obraz siatki na tle jakiegoś ekranu, ściany lub tarczy. Oznaczamy tam 2 punkty leżące na przeciwległych krańcach jednej ze średnic, najlepiej średnicy poziomej. Mierzmy odległość między punktami i dzielimy przez 2 dla otrzymania wielkości promienia koła; promień ten oznaczamy przez S .

Mierzmy odległość D od ekranu do soczewki przedniej. Wyprzedzenie kąowe otrzymamy ze wzoru (10)

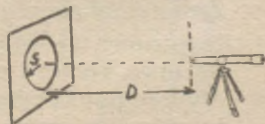
$$Y = \frac{S}{D} \cdot 1000.$$

Aby błąd pomiaru był jak najmniejszy, pożądane jest stosowanie przy pomiarze odległości D jak największej — 50 m lub dalej.

Przykład 38. Na ekranie zmierzono, że promień obrazu siatki $S = 4,3$ m, odległość od celownika 50 m. Znaleźć wyprzedzenie kąowe.

Rozwiązanie.

$$Y = \frac{S}{D} \cdot 1000 = \frac{4,3}{50} \cdot 1000 = 86 \text{ tysięcznych.}$$



Rys. 115.
Wyznaczenie wyprzedzenia kąowego celownika Aldis.

Lornetka. Do obserwacji celu oraz pomiarów kątowych przy strzelaniu artyleryjskim używana jest lornetka pryzmatyczna. Pod względem konstrukcji lornetka przedstawia sobą lunetę o dwóch szklach — okularze i obiektywie oraz układzie odwracającym złożonym z dwóch pryzmatów prostokątnych. Dzięki zastosowaniu pryzmatów skraca się długość przyrządu, a równocześnie zmniejsza się jego ciężar, co jest bardzo ważne ze względu na poręczność użycia.

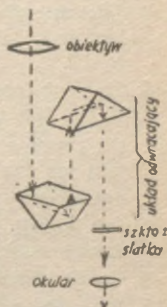
Pryzmaty ustawione są wewnątrz oprawek lornetki w ten sposób, że ich ściany są do siebie prostopadłe. Układ dwóch pryzmatów prostopadłych daje całkowite odwrócenie obrazu i wypuszcza promienie w takim samym kierunku, w jakim weszły one do obiektywu. Droga promieni podana jest na rys. 116. Płaszczyzna ogniskowa obiektywu znajduje się za drugim pryzmatem i pokrywa się z płaszczyzną ogniskową okularu. W tym miejscu ustawione jest szkło z siatką (rys. 190 str. 246). Siatkę artyleryjską stanowią kreski, idące wzdłuż średnic poziomej i pionowej. Odległość między kreskami odpowiada 5 tysięcznym, a odległość między kreskami dłuższymi lub krzyżkami odpowiada 10 tysięcznym.

Najbardziej rozpowszechnionym typem oznaczonym cechą 6×30 jest typ lornetki sześciokrotnej, ze średnicą źrenicy wejściowej 30 mm; średnica źrenicy wyjściowej równa się $d = \frac{30}{6} = 5$ mm, czyli jasność wynosi $5^2 = 25$.

Okular lornetki stanowi soczewka dwuwypukła, której pole widzenia dochodzi do 50° ; pole widzenia przyrządu $\frac{50}{6} = 8^\circ 20'$; odległość ogniskowa obiektywu 120 mm, okularu 20 mm.

Na okular nałożona jest oprawka; źrenica wyjściowa leży w płaszczyźnie ścięcia oprawki, co ułatwia właściwe ustawienie oka. Okular jest przesuwany wzdłuż osi, co zapewnia dostosowanie lornetki do oka.

Obracający się pierścień ustawczy okularu ma podziałkę w dioptriach; podziałki oznaczone minusem są dla krótkowidzów, plusem zaś dla dalekowidzów.



Rys. 116.
Schemat lornetki pryzmatycznej.

Lornetka jest przyrządem dwuokularowym; dzięki zwiększeniu i poszerzeniu bazy między oczyma, zwiększa ona granice widzenia stereoskopowego.

Lornetka sześciokrotna zwiększa te granice 12-krotnie (granica ta dla gołego oka wynosi teoretycznie 1,35 km).

Pytania z rozdziału trzeciego

1. Czy zawsze można trafić do celu szybko poruszającego się, jeśli będzie się celowało bezpośrednio do niego?
2. Jak nazywa się punkt, w którym pocisk powinien się spotkać z celem ruchomym? Co to jest wyprzedzenie liniowe celu i jak się je oblicza?
3. Jak zmienia się wyprzedzenie w zależności od szybkości celu i odległości? Jaka zasada zmiany wyprzedzenia służy do obliczeń praktycznych?
4. Czy wyprzedzenie liniowe zależy od kierunku ruchu celu?
5. Co to jest wyprzedzenie kątowe; czy zależy ono od odległości?
6. Do czego służy celownik przy strzelaniu w locie? Dlaczego celownik taki ma kształt pierścienia?
7. Jak oblicza się promień celownika pierścieniowego?
8. Jak buduje się trójkąt wyprzedzenia i jak wyraża się zależność wyprzedzenia kąowego od kursu celu?
9. Co to jest skrót sylwetki?
10. Jaka jest zależność pomiędzy kursem celu a częścią promienia celownika pierścieniowego, którą się operuje przy celowaniu?
11. Jaki jest sposób użycia celownika pierścieniowego przy różnych skrótach sylwetki celu? Jaki system podziału pierścienia przyjęty jest w niniejszym podręczniku?
12. Wskazać, w jakich celownikach celowanie zależne jest od oddalenia oka, a w jakich jest niezależne?
13. Jakie są błędy przy niezachowaniu założonego oddalenia?
14. Podać reguły celowania.
15. Narysować schemat równoczesnego użycia celownika i muszki wiatrowej.
16. Co to są soczewki i pryzmaty? Jak przechodzą przez nie promienie światła? Co to są soczewki rozpraszające i skupiające?
17. Co to jest ognisko soczewki, odległość ogniskowa, środek optyczny, płaszczyzna ogniskowa?
18. Kąt widzenia. Jakie znaczenie ma kąt widzenia przy patrzeniu na przedmioty?
19. Jaka jest konstrukcja lunety, jej powiększenie, pole widzenia, źrenice wejściowa i wyjściowa, jasność?
20. Opisać konstrukcję celownika optycznego, jego siatki oraz podać podstawowe dane do jego obliczenia.
21. Jak zmierzyć wielkość podziałek siatki celownika?
22. Opisać konstrukcję lornetki.

ROZDZIAŁ IV

ROZRZUT I PRAWDOPODOBIENSTWO TRAFIENIA

§ 30. Rozrzut. *Przyczyny przypadkowe i stałe odchyień toru.* Jeśli będziemy strzelać do jednego i tego samego miejsca starając się utrzymać warunki jak najbardziej niezmiennie dla każdego z poszczególnych strzałów, a więc: tę samą broń, stały celownik, tegoż strzelca, wyborową amunicję, stałą temperaturę, brak wiatru, to jednak mimo wszystko nie otrzymamy trafienia w jeden punkt. Trafienia przy poszczególnych strzałach ułożą się na pewnej powierzchni.

Zbadać poszczególne tory możemy za pomocą tarcz papierowych, ustawionych na drodze pocisków lub też za pomocą fotografowania lotu pocisków świetlnych w nocy. We wszystkich wypadkach zauważymy, że tory nie pokrywają się, a każdy pocisk będzie miał swój odrębny tor położony wyżej lub niżej od torów innych lub przecinający tory pozostałe (rys. 117). Niezależnie od tego czy tarcze umieścimy poziomo czy też pionowo, zawsze otrzymamy przebiecia rozrzucone na pewnej powierzchni.

Rozrzucenie punktów przebić pochodzi stąd, że nie jesteśmy w stanie przewidzieć i uwzględnić przy strzelaniu takich danych, jak nieznaczne różnice w wagach poszczególnych pocisków i ładunków, wahania lufy przy strzałach, różnice w szybkościach początkowych spowodowane niejednakowym spalaniem prochu, zmienne warunki meteorologiczne na drodze lotu pocisku itp. Każda z tych przyczyn w sposób odmienny wpływa na wynik. Ilość czynników wpływających może być bardzo znaczna; mogą one oddziaływać wszystkie równocześnie lub osobno, albo też kojarzyć się potęgując lub zmniejszając wzajemnie swój wpływ. Wiemy o tym, że czynniki powodujące uchylenia istnieją, lecz nie możemy z góry przewidzieć ich ani ilościowo, ani jakościowo, czyli wiedzieć z góry kiedy oraz w jaki sposób będą one działały; nie możemy również całkowicie wyeliminować ich wpływu.

Przyczyny, których działania nie jesteśmy w stanie ani przewidzieć, ani uwzględnić ich skutków, nazywamy przypadkowymi.

Przyczyny oddziałujące zawsze w jednym kierunku i wywołujące skutek o wielkości określonej nazywamy stałymi.

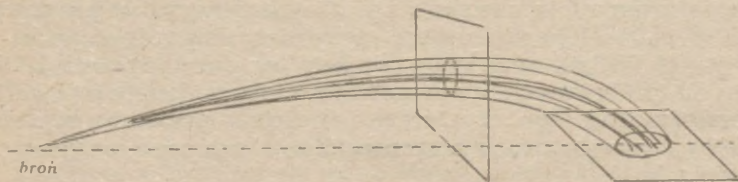
Odchylenie wywołane zboczeniem ma wielkość z góry znaną i skierowane jest w prawo (dla broni sowieckiej — przyp. tłumacza).

Przyczyna tego zjawiska, obrót pocisku, jest stała. Stałymi przyczynami uchyień są również: przekręcenie broni, zdeformowany celownik, kąt podrzutu.

Działanie przyczyn stałych może być wyeliminowane. Obserwując zjawiska można przyczynę stałą wykryć, zbadać i po określeniu jej wielkości i kierunku działania usunąć lub też wyeliminować jej wpływ przez wprowadzenie odpowiedniej poprawki.

Po wyeliminowaniu wpływu przyczyn stałych pozostaje wpływ przyczyn przypadkowych.

Rozrzucenie torów i punktów trafień pocisków, zachodzące pod wpływem przyczyn przypadkowych, czyli nie dających się z góry przewidzieć nazywamy *rozrzutem*.



Rys. 117. Wiązka torów.

Tory poszczególnych pocisków tworzą wiązkę torów (rys. 117).

Powierzchnię pokrytą śladami poszczególnych pocisków nazywamy polem rozrzutu.

Rozrzut zachodzi przy każdym strzelaniu; jest to zjawisko niezależne od naszej woli; uchylenia mogą być większe lub mniejsze lecz zachodzą wszędzie. Z tego jednak nie wynika, że nie możemy rozrzutowi przeciwdziałać.

Rozrzut, ogólnie biorąc, jest zjawiskiem szkodliwym, gdyż skierowuje pocisk nie do tego punktu, do którego miał być skierowany.

Nie będąc w stanie wyeliminować rozrzutu całkowicie, możemy jednak zmniejszyć jego wpływ przez osłabienie działania przyczyn uchyień pocisku. Dobrze wyszkolony i systematycznie trenujący strzelec celuje bardziej równomiernie; zabezpieczenie nabojów przed działaniem wysokiej temperatury, przechowywanie ich aż do chwili użycia w opakowaniu hermetycznym zmniejsza różnice w czasach palenia i szybkość

ciach początkowych pocisku; należyte pielęgnowanie broni, prawidłowe składanie się zmniejszają wpływ odrzutu itd.

Zmniejszenie rozrzutu jest jednym z głównych środków w walce o celność strzelania.

Jak ustaliliśmy rozrzut torów i śladów jest skutkiem przyczyn przypadkowych. Przy kilku strzałach mamy różne uchylenia zarówno pod względem wielkości jak i kierunku. Jednak ze zwiększeniem ilości strzałów danych w tych samych warunkach daje się zauważyć pewna regularność w rozłożeniu śladów, która staje się zupełnie wyraźna przy dużej ilości strzałów.

Rozkład śladów podlega prawu rozrzutu (rys. 118), które sformułujemy w sposób następujący: przy dostatecznie wielkiej ilości strzałów danych w warunkach możliwie jednakowych rozrzut pocisków jest symetryczny, zgęszczający się ku środkowi; pole jego jest kształtem swym zbliżone do elipsy lub koła.

Symetria polega na tym, że każdemu śladowi z jednej strony odpowiada ślad z drugiej strony; obydwate ślady leżą na wspólnej prostopadłej do osi elipsy i są od tej osi (poziomej lub pionowej) jednakowo oddalone.

Aby wyznaczyć osie elipsy prowadzimy prostą pionową przez pole elipsy, tak by otrzymać jednakowe ilości śladów z prawej i z lewej strony; następnie w taki sam sposób prowadzimy prostą poziomą.

Nierównomierność polega na tym, że ślady rozłożone są gęściej w pobliżu środka elipsy.

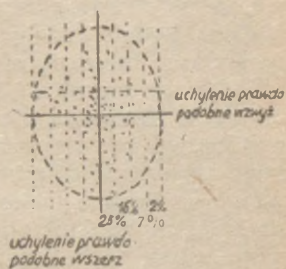
Środek elipsy zowie się *środkiem rozrzutu*.

Wobec symetrii w rozłożeniu śladów środek rozrzutu pokrywa się z punktem przecięcia się osi.

Nierównomierność w rozłożeniu śladów ma swój określony charakter.

Wytnijmy ze środkowej części elipsy pas o nieograniczonej długości zawierający lepszą połowę śladów (czyli ślady bliższe osi); połowę szerokości tego pasa przyjmijmy jako miarę rozrzutu.

Miara ta odłożona po obydwóch stronach osi wyznacza pas zawierający połowę śladów, podczas gdy druga połowa znaj-



Rys. 118. Elipsa rozrzutu.

duje się na zewnątrz tego pasa. W ten sposób połowa uchyień będzie większa, a połowa mniejsza od miary określonej wyżej.

Uchylenie, którego wielkość przy dostatecznie wielkiej ilości strzałów jest większa od każdego z uchyień jednej ich połowy i mniejsza od każdego z uchyień drugiej ich połowy, nazywa się *uchyleniem prawdopodobnym*.

Podamy tu jeszcze jedno określenie uchylenia prawdopodobnego, jako miary rozrzutu¹).

Uchylenie prawdopodobne jest to wielkość, której nie przekracza 50% otrzymanych przy rozrzucie uchyień.

Jeśli na przykład uchylenie prawdopodobne przy strzelaniu z k. m. na pewną odległość wynosi 50 cm, znaczy to, że połowa śladów będzie leżała w odległości nie większej niż 50 cm (w jednym lub drugim kierunku).

Mierząc szerokość i wysokość elipsy stwierdzimy, że wymiary te równe są ośmiokrotnej wielkości uchylenia prawdopodobnego (w pierwszym wypadku uchylenia prawdopodobnego wszcz, w drugim wypadku uchylenia prawdopodobnego wzwyż). Poza wysokością lub szerokością 8 uchyień prawdopodobnych znaleźć się mogą tylko odosobnione ślady, oderwane od całości skupienia.

W środkowych pasach przylegających do osi zawarte jest po 25% śladów w każdym.

Dalsze paśy symetrycznie położone względem tej osi zawierają, jak wskazuje praktyka, po 16%, następnie po 7%, wreszcie po 2% ogólnej ilości śladów (rys. 118).

W jakimkolwiek miejscu umieścimy tarczę chwytającą wiązkę torów, zawsze otrzymamy przy dostatecznie wielkiej ilości strzałów elipsę lub koło; w elipsie lub kole będziemy mieli również 8 pasów o szerokości jednego uchylenia prawdopodobnego, a ilości śladów zawartych w każdym pasie będą równe w przybliżeniu 25%, 16%, 7% i 2%.

Wymiary tych pasów mogą być większe lub mniejsze (zależnie od tego czy rozrzut jest większy lub mniejszy), lecz sposób rozłożenia ilościowego trafień będzie zawsze ten sam; gdyby jednak zmierzone wyniki odbiegały od prawa rozrzutu świadczyłoby to, że nie zostały uwzględnione przyczyny trwałe, które mogą być wykryte i usunięte²).

Uchylenia mierzy się wzdłuż prostopadłych do osi. Na tarczy pionowej mamy uchylenia prawdopodobne wzwyż i wszcz,

¹ Określenie i przykład podane przez tłumacza.

² Autor ujmuje to w sposób zbyt dogmatyczny, podczas gdy rzecz-wista budowa rozrzutu nieraz odbiega od prawa Gaussa (przyp. tłum.).

na tarczy poziomej zaś uchylenia prawdopodobne wszerg i w głąb.

Uchylenie prawdopodobne oznacza się symbolem U . Dla wskazania kierunku uchylenia oznacza się, U_g (w głąb), U_w (wzwyż) oraz U_s (wszerg).

Stosunek między U_w i U_g łatwo ustalić z rys. 119; przyjmując w przybliżeniu, że koniec toru jest linią prostą z trójkąta ACD mamy

$$U_w = U_g \cdot \operatorname{tg} C \quad . \quad . \quad . \quad (58)$$

Uchylenie określa się wielkością i kierunkiem. Przy oznaczeniu układu współrzędnych, oś uchylen w głąb oznacza się literą X , oś uchylen wzwyż Y , oś uchylen wszerg Z . Kierunki przed siebie, w prawo i w górę przyjmujemy dodatnie, kierunki za siebie, w lewo i w dół jako ujemne.

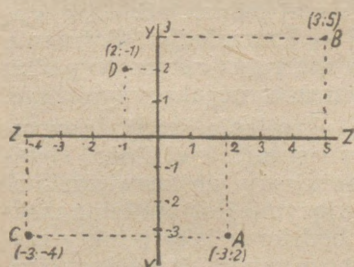
Na przykład, na rys. 120 ślady A ($-3; 2$), B ($3; 5$), C ($-3; -4$), D ($2; -1$) podane są w układzie YZ ; pierwsza liczba w nawiasie dotyczy osi Y -ów, druga osi Z -ów.

Jak wspomnieliśmy wyżej prawo rozrzutu potwierdza się przy dostatecznie wielkiej ilości strzałów. Na podstawie wyników praktycznych można wywnioskować, że dla wyznaczenia pola rozrzutu przy strzelaniu ziemnym wystarczy dla odległości poniżej 400 m: 16 — 20 śladów, dla odległości 400 — 1000 m: 40—50 śladów, a powyżej 1000 m — 100 śladów¹. Przy odległościach dużych wzrasta w znacznym stopniu ilość

różnych czynników przypadkowych, wobec czego dla otrzymania jaśniejszego obrazu trzeba zwiększyć ilość strzałów.

Przy strzelaniach w locie zjawisko rozrzutu komplikuje się ruchem celu.

Przy strzelaniu do ziemi z k. m. pilota na odległość 600 m dla otrzymania obrazu rozrzutu trzeba dać co najmniej 20 strzałów lub seryj, przy strzelaniu z



Rys. 120. Pomiar uchylen w stosunku do osi współrzędnych.

k. m. obserwatora około 40 strzałów lub seryj.

Wykreślne wyznaczenie środka rozrzutu. Trafienia rozło-

¹ Liczby te są nieco wygórowane; w większości wypadków wystarczy seria 25—50 strzałów niezależnie od odległości (przyp. tłum.).

zone są najgęściej w pobliżu środka elipsy rozrzutu, dlatego też zadaniem podstawowym przy każdym strzelaniu jest umieszczenie środka rozrzutu w wybranym punkcie celu.

Jakość broni i poziom strzelca scharakteryzowane są w głównej mierze uchyleniami trafień popełnionych przy strzelaniu; dla wyjaśnienia wielkości uchyień trzeba określić środek rozrzutu.

Każda broń musi być przystrzelana czyli doprowadzona do takiego stanu, by środek rozrzutu, w warunkach możliwie zbliżonych do podanych w tabelach, leżał na odległości celownika w punkcie celowania.

Z tego względu określenie środka rozrzutu jest jednym z najważniejszych zagadnień strzeleckich.

Przy dużej ilości danych strzałów, wystarczającej dla odтворzenia prawa rozrzutu, możemy zawsze przez pole rozrzutu przeprowadzić linię pionową (rys. 118) w taki sposób, by po prawej i po lewej stronie otrzymać równe ilości śladów (jeśli prosta przecina ślad, to $\frac{1}{2}$ śladu zaliczamy do jednej strony i $\frac{1}{2}$ do drugiej strony. Prosta ta będzie osią pionową rozrzutu. W myśl prawa rozrzutu ślady ułożą się symetrycznie po prawej i po lewej stronie.

Również można przeprowadzić prostą poziomą, względem której ślady ułożą się symetrycznie z góry i z dołu. Prosta ta będzie osią poziomą rozrzutu.

Punkt przecięcia się pionowej i poziomej osi jest środkiem rozrzutu.

Ten sposób wyznaczenia stosowany jest również przy ograniczonej ilości strzałów, nie mniejszej jednak niż 8 (w wyjątkowych tylko wypadkach przy 6 — 7 strzałach). Położenie środka rozrzutu w tym wypadku należy traktować jako przybliżone.



Rys. 121. Wyznaczenie środka rozrzutu przy ograniczonej ilości śladów.

Dla określenia środka rozrzutu przy ograniczonej ilości strzałów kierujemy się rozważaniami następującymi: jeśli trafienia traktować będziemy jako punkty materialne, to punkt stanowiący środek rozrzutu wobec dążenia pozostałych punktów do symetrycznego ułożenia się względem tego środka rozrzutu jest środkiem ciężkości grupy punktów. Znalezienie środka rozrzutu sprowadza się więc do znalezienia środka ciężkości grupy punktów (rys. 121).

Znalezienie środka rozrzutu sprowadza się więc do znalezienia środka ciężkości grupy punktów (rys. 121).

Przy 2 śladach łączymy te punkty prostą; środek odcinka jest środkiem rozrzutu.

Przy 3 śladach łączymy prostą dwa dowolne punkty, dzielimy otrzymany odcinek przez dwa, środek łączymy z trzecim punktem; ten odcinek dzielimy na trzy części; punkt podziału najbliższy do 2 pierwszych punktów będzie środkiem rozrzutu.

Przy 4 śladach a) gdy ślady rozłożone są mniej więcej według wierzchołków równoległoboku, środek rozrzutu znajdujemy jako punkt przecięcia przekątnych równoległoboku, b) przy nieregularnym rozłożeniu łączymy prostymi pary punktów; dzielimy odcinki na połowę, środki odcinków łączymy prostą; środek tej prostej będzie środkiem rozrzutu.

Przy 5 śladach wyłączamy najbardziej oddległy punkt i znajdujemy środek dla 4 śladów lub też stosując sposób kolejnego podziału prostych łączących znajdujemy środek, tak jak i dla 3 lub 4 śladów.

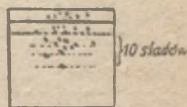
Przy 6 śladach wyodrębniamy dwie grupy po 3 ślady, środki grup łączymy prostą; środek tej prostej da nam środek rozrzutu dla 6 strzałów. Jeśli szerokość pola rozrzutu jest niewielka (nie przekraczająca $0,001 D$) a ślady rozłożone są mniej więcej symetrycznie, to środek znaleźć można jako przecięcie 2 osi symetrii (tak jak i dla 8 śladów).

Przy 7 śladach eliminujemy punkt najbardziej oddalony i określamy środek na podstawie 6 pozostałych śladów. Przy symetrycznym rozłożeniu znajdujemy go jako przecięcie 2 osi symetrii.

Przytoczone tu sposoby wyznaczenia środka rozrzutu przy dużej lub ograniczonej ilości strzałów stosować można tylko wówczas, gdy wszystkie strzały są w tarczy, a chybień nie ma. W pewnych wypadkach, gdy ilość strzałów jest dostatecznie duża, a otrzymano pewną ilość chybień z jednej strony pola rozrzutu, można sobie w drodze obliczeń uzupełnić brakującą część obrazu rozrzutu.

Jeśli tarcza uchwyciła, na przykład dolne tory, to jedną z osi rozrzutu można oznaczyć sposobem przybliżonym opierając się na prawie rozrzutu. Tarcza przedstawiona na rys. 122 zawiera 30 śladów podczas gdy dano 40 strzałów. Oddzielmy z dołu 10 śladów czyli 25%, które zawarte będą w pasach gorszej połowy śladów, więc $16 + 7 + 2 = 25\%$.

Dalej oddzielmy 20 śladów — będzie to pole zawierające lepszą połowę (dwa pasy po 25%). Przez środek tego pola prowadźmy prostą poziomą, tak by powyżej i poniżej tej pros-

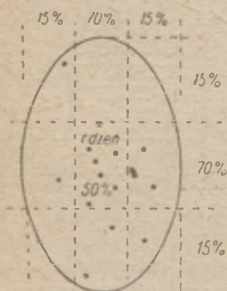


Rys. 122. Badanie pola rozrzutu w razie chybień.

tej znalazło się po 10 śladów pola ostatnio oddzielonego. Prosta pozioma daje w przybliżeniu położenie poziomej osi rozrzutu.

Oś pionową rozrzutu znajdziemy w sposób zwykły nie zważając na strzały chybione, a więc prowadząc prostą pionową tak, by z prawej i z lewej jej strony znalazło się 15 śladów.

Uproszczony obraz pola rozrzutu. Przy rozpatrywaniu rozrzutu strzałów stwierdzić można, że ślady leżące w pewnej odległości od środka są już tak rzadkie, że nie należy brać ich pod uwagę w praktyce przy strzelaniu do celów pojedynczych.



Rys. 123. Uproszczony obraz pola rozrzutu.

Występuje tu wyraźny podział pola rozrzutu na część lepszych trafień i część gorszych trafień. Jeśli będziemy kwalifikować trafienia w ten sposób, to otrzymamy uproszczony obraz pola rozrzutu (rys. 123).

Pole rozrzutu dzielimy na trzy pasy: środkowy zawierający 70% wszystkich śladów i dwa skrajne zawierające po 15% śladów.

Pasy te są o równej szerokości. Pas środkowy zwiemy pasem rozrzutu skutecznego, a skrajne — bocznymi.

Można w ten sposób wydzielać pasy poziome lub też pionowe.

Jeśli znamy wielkość uchylenia prawdopodobnego, to szerokość pasa rozrzutu skutecznego otrzymamy odkładając w każdą stronę osi rozrzutu po 1,5 uchylenia prawdopodobnego.

Przecięcie pasów rozrzutu skutecznego poziomego i pionowego tworzy prostokąt zawierający 50% śladów. Prostokąt ten nazywamy rozrzutem skutecznym.

Pas rozrzutu skutecznego oznaczamy symbolem S oznaczając kierunki przez S_s i S_w .

Dla warunków praktycznych przyjmujemy, że ślady w każdym z poszczególnych pasów rozłożone są równomiernie. To przybliżenie w dużym stopniu upraszcza przebieg obliczeń.

Wyraźny obraz rozrzutu daje również koło zawierające lepszą połowę trafień (rys. 124).

Promień tego koła znajdujemy w drodze prób lub też za pomocą obliczeń. W pierwszym wypadku, po znalezieniu środka rozrzutu, umieszczamy w nim ostrze cyrkla a następnie dobie ramy takie rozwarcia cyrkla, które zakreśliłoby koło zawierające połowę śladów.



Rys. 124. Koło zawierające lepszą połowę trafień.

Promień ten, czyli promień koła zawierającego 50 % śladów nazywamy promieniem prawdopodobnym¹).

Określenie promienia prawdopodobnego za pomocą obliczeń. W myśl prawa rozrzutu, przy dostatecznie wielkiej ilości strzałów, ślady układają się symetrycznie. Wobec symetrii każdemu śladowi z jednej strony osi rozrzutu odpowiada ślad po drugiej stronie osi; uchylenia tych śladów są jednakowe co do wielkości, lecz przeciwne co do znaku.

Jeśli więc uchylenie wszzer pewnego śladu (a więc od osi pionowej) wynosi z_1 , to istnieje również i ślad o uchyleniu $z_2 = -z_1$; jeśli mamy uchylenie z_3 , to mamy i $z_4 = -z_3$ itd., a jeśli jest z_{n-1} , to jest również i z_n .

Jeśli dodamy wszystkie uchylenia, to każda para symetrycznych uchyień znosi się wzajemnie, a suma ogólna będzie równa zero. Jeśli zaś ilość śladów jest nieparzysta, to jedno z nich leży na osi, czyli uchylenie jego wynosi 0. Oznaczmy sumę wszystkich uchyień wszzer przez Σz , a wówczas

$$\Sigma z = z_1 + z_2 + z_3 + \dots + z_n = 0.$$

Licząc od osi poziomej, czyli biorąc sumę uchyień wwyż otrzymamy

$$\Sigma y = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n = 0.$$

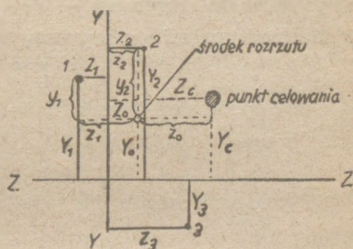
Przy strzelaniu zmuszeni jesteśmy mierzyć odchylenia²) nie od osi rozrzutu, gdyż nie są one z góry znane, lecz od osi przeprowadzonych przez punkt celowania lub też przez pewien dowolny punkt.

Są to osie współrzędnych, a punkt ich przecięcia jest środkiem układu współrzędnych.

Położenie układu współrzędnych zależy od naszego wyboru. Założmy, że w wyniku strzelania ślady ułożyły się w polu o kształcie elipsy odchylonej w bok od punktu celowania. W ten sposób wystąpiły: a) wpływ przyczyn przypadkowych, które sprawiły rozrzut śladów na pewnej powierzchni, b) wpływ pewnej przyczyny stałej, która odchyliła całą elipsę rozrzutu.

Jest rzeczą ważną poznanie zarówno jednego, jak i drugiego czynnika. Po określeniu czynnika pierwszego będziemy mogli określić wpływ drugiego i wprowadzić pewną poprawkę w celowaniu.

Przeprowadźmy osie współrzędnych — pionową i poziomą przez dowolnieabrany punkt (rys. 125) i zmierzmy odchylenia wwyż śladów: $y_1, y_2, y_3, \dots$ oraz odchylenia boczne z_1, z_2, z_3 itd.



Rys. 125. Współrzędne śladów: 1. względem dowolnego środka współrzędnych, 2. względem środka rozrzutu.

¹ Stosowanie promienia prawdopodobnego jest dopuszczalne jedynie wtedy, gdy pole rozrzutu nie odbiega zbyt od koła. W praktyce przyjęto, że zachodzi to tylko wtedy, gdy rozrzut wwyż (lub w głąb) i rozrzut wszzer mają się do siebie jak 1 : 1,6 (przyp. tłumacza).

² Określenie „uchylenie” stosuje się wówczas, gdy środkiem układu jest środek rozrzutu; w innych wypadkach stosuje się termin „odchylenie”.

Każde z tych odchyień zawiera w sobie odchylenia wynikłe z przyczyny stałej Y_0 i Z_0 , która przesunęła całą elipsę oraz uchylenia wynikłe z przyczyn przypadkowych, które rozrzuciły trafienia na powierzchni elipsy — $Y_1, Y_2, Y_3 \dots$ oraz $Z_1, Z_2, Z_3 \dots$.

Każde uchylenie przypadkowe przedstawić można jako różnicę pomiędzy odchyleniem danego trafienia wziętym od osi współrzędnych oraz odchyleniem stałym, czyli odchyleniem środka rozrzutu

$$\begin{aligned} y_1 &= Y_1 - Y_0, \\ y_2 &= Y_2 - Y_0, \\ y_3 &= Y_3 - Y_0, \\ &\dots \dots \dots \\ y_n &= Y_n - Y_0 \dots \dots \dots (59) \end{aligned}$$

Dodajmy do siebie lewe i prawe strony równań

$$y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n - Y_0 - Y_0 - Y_0 \dots - Y_0$$

Wprowadźmy oznaczenia

$$\text{suma } y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n = \Sigma y \quad \text{suma } Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n = \Sigma Y.$$

Poza tym zauważmy, że suma — $Y_1 - Y_0 - Y_0 - Y_0 \dots$ składa się z elementów jednakowych, których ilość równa jest ilości trafień n , wobec czego suma ta równa się — nY_0 .

Po podstawieniu otrzymamy

$$\Sigma y = \Sigma Y - nY_0,$$

ponieważ jednak $\Sigma y = 0$, więc $\Sigma Y - nY_0 = 0$, stąd

$$Y_0 = \frac{\Sigma Y}{n}.$$

W ten sam sposób dla uchyień bocznych otrzymamy

$$\begin{aligned} z_1 &= Z_1 - Z_0, \\ z_2 &= Z_2 - Z_0, \\ z_3 &= Z_3 - Z_0, \\ &\dots \dots \dots \\ z_n &= Z_n - Z_0. \end{aligned}$$

$\Sigma z = \Sigma Z - nZ_0$, a ponieważ $\Sigma z = 0$, więc

$$Z_0 = \frac{\Sigma Z}{n}.$$

Wniosek. Dla określenia położenia środka rozrzutu względem wybranego układu współrzędnych należy sumę algebraiczną odchyień śladów względem tych osi podzielić przez ilość śladów

$$Y_0 = \frac{\Sigma Y}{n}; \quad Z_0 = \frac{\Sigma Z}{n} \dots \dots \dots (60)$$

Odchylenie środka rozrzutu względem punktu celowania, w tym wypadku gdy osie współrzędnych nie przechodzą przez punkt celowania, znaj-

dujemy jako różnice współrzędnych tych punktów. Ustaliliśmy następujące oznaczenia (rys. 125):

Odchylenia od osi współrzędnych Y_1, Y_2 itd., Z_1, Z_2 itd.

Odchylenia środka rozrzutu od osi współrzędnych Y_0 oraz Z_0 .

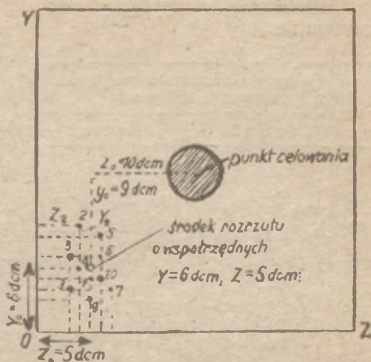
Uchylenia od osi elipsy rozrzutu y_1, y_2 itd., oraz z_1, z_2 itd.

Odchylenia środka rozrzutu od punktu celowania y_0 oraz z_0 .

Współrzędne punktu celowania względem przyjętego układu Y_{mn} oraz Z_{mn} .

Stosując te oznaczenia otrzymamy $y_0 = Y_{mn} - Y_0$ oraz $z_0 = Z_{mn} - Z_0$ (61)

Przykład 39. Przy strzelaniu do tarczy o wymiarach 3×3 m dano 10 strzałów celując w środek tarczy. Znaleźć odchylenie środka rozrzutu względem punktu celowania.



Rys. 126. Wyznaczenie środka rozrzutu przy strzelaniu do tarcz 3×3 m.

L. p.	Odchylenie wzwyż	Odchylenie wszerz
1	5	5
2	10	4
3	4	3
4	6	4
5	9	6
6	7	6
7	4	7
8	7	3
9	3	5
10	5	6

Rozwiązanie. Przyjmujemy jako początek układu współrzędnych lewy dolny róg tarczy. Oś pionową jest zatem lewa krawędź tarczy a osią poziomą dolna krawędź tarczy (rys. 126). Dogodność wybranego układu polega na tym, że odmierzenie wszystkich śladów odbywać się będzie w prawo i w górę a wszystkie pomiary będą dodatnie (ze znakiem plus). Gdyby osie współrzędnych przechodziły przez punkt celownika, to należałoby przed każdą liczbą stawiać znak plus lub minus.

Pomiary odchylen wykonano w decymetrach. Zamierzone wyniki zestawiamy w tabelę.

Sumy odchylen wzwyż oraz odchylen wszerz wyniosła

$$\Sigma Y = 5 + 10 + 4 + 6 + 9 + 7 + 4 + 7 + 3 + 5 = 60,$$

$$\Sigma Z = 5 + 4 + 3 + 4 + 6 + 6 + 7 + 3 + 5 + 6 = 49.$$

Odchylenie środka rozrzutu względem wybranego układu osi współrzędnych

$$Y_0 = \frac{\Sigma Y}{n} = \frac{60}{10} = 6 \text{ dcm},$$

$$Z_0 = \frac{\Sigma Z}{n} = \frac{49}{10} = 4,9 \approx 5 \text{ dcm}.$$

Obliczamy odchylenie środka rozrzutu względem punktu celowania znajdującego się w odległościach 1,5 m czyli 15 dcm od każdej osi.

Współrzędne punktu celowania

$$Y_{mn} = + 15 \text{ dcm},$$

$$Z_{mn} = + 15 \text{ dcm}.$$



Rys. 127. Wyznaczenie środka rozrzutu, gdy środek układu współrzędnych leży w punkcie celowania.

Ostatecznie otrzymamy odchylenia środka rozrzutu względem punktu celowania.

l. p.	Współrzędne śladów względem punktu celowania	
	wzwyż	wszerz
1	- 4	- 8
2	+ 8	- 10
3	+ 1	- 5
4	- 5	- 12
5	- 8	- 14
6	- 8	- 9
7	- 9	- 11
8	0	- 11
9	- 6	- 11
10	- 14	- 9

a) wzwyż $y_0 = 6 - 15 = - 9$ dcm,

b) wszerz $z_0 = 5 - 15 = - 10$ dcm.

Przykład 40. Dano 10 strzałów do tarczy pionowej; odchylenia zmierzono od osi przechodzących przez punkt celowania (rys. 127).

Suma algebraiczna odchyień

$$\Sigma Y = -4 + 8 + 1 - 5 - 8 - 8 - 9 + 0 - 6 - 14 = + 9 - 54 = - 45,$$

$$\Sigma Z = -8 - 10 - 5 - 12 - 14 - 9 - 11 - 11 - 11 - 9 = - 100.$$

Odchylenia względem punktów celowania

$$y_0 = Y_0 = \frac{\Sigma Y}{n} = \frac{-45}{10} = - 4,5$$

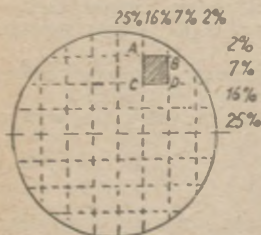
$$z_0 = Z_0 = \frac{\Sigma Z}{n} = \frac{-100}{10} = - 10.$$

Ostatecznie mamy odchylenie środka rozrzutu względem punktu celowania

$$y_0 = - 4,5 \text{ dcm},$$

$$z_0 = - 10 \text{ dcm}.$$

Procentowa ilość trafień w prostokąt. Prawo rozrzutu ustala procentowy rozkład trafień w pasach nieograniczonej długości danego pola rozrzutu. Często jednak mamy do czynienia z celami o wymiarach ograniczonych zarówno pod względem długości jak i szerokości. Nim rozpatrzemy procent możliwych trafień w pole o dowolnych zarysach, znajdziemy procent trafień w prostokąt utworzony przez przecięcie się pasów o szerokości 1 uchylenia prawdopodobnego.



Rys. 128. Określenie procentu trafień w prostokąt.

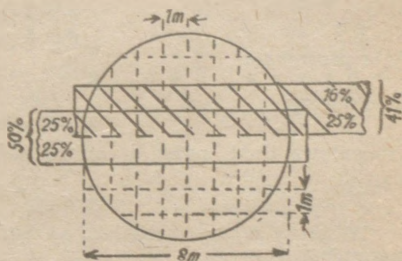
Weźmy dla przykładu prostokąt ABCD (rys. 128) utworzony przez przecięcie drugiego pasa rozrzutu przez trzeci pas rozrzutu. Drugi nieograniczony pas rozrzutu zawiera 16% śladów lecz z niego pasem trzecim wycięty został kawałek zawierający 7%. Prostokąt ABCD zawiera zatem 7% od 16%.

Procentową ilość trafień w prostokąt znajdziemy przez zwykłe mnożenie pamiętając, że procent jest to setna całości, czyli 7 procent od 16 procent jest to 0,07 od szesnastu

$$p = 16 \cdot 0,07 = \frac{112}{100} = 1,12\%.$$

W ten sam sposób określa się procentową ilość trafień w dowolny prostokąt.

Przyjmujemy, że wewnątrz prostokątów ślady rozkładają się równomiernie. Jeśli powierzchnia celu pokryta jest kilkoma prostokątami utworzonymi przez przecięcie pasów, to procent trafień przypadających na cel równa się sumie procentów przypadających na każdy z prostokątów. Jeśli cel jest mniejszy niż prostokąt, to procent trafień przypadających na cel będzie tyle razy mniejszy od procentu trafień przypadających na prostokąt, ile razy pole celu jest mniejsze od pola prostokąta.



Rys. 129. Określenie procentu trafień w pas o nieograniczonej długości.

Przykład 41. Uchylenia prawdopodobne przy strzelaniu z k. m. do ziemi z odległości 200 m wynoszą

$$U_s = U_g = 1 \text{ m.}$$

Należy obliczyć procent trafień w pas zajmowany przez kolumnę piechoty. Długość celu około 50 m a szerokość 2 m. Odstępów pomiędzy ludźmi nie bierzemy pod uwagę traktując cel jako powierzchnię jednolitą.

Należy rozpatrzyć 2 wypadki: 1. środek rozrzutu pokrywa się z osią celu, 2. środek rozrzutu pokrywa się z brzegiem celu (rys. 129).

Rozwiązanie. Wykreślamy koło rozrzutu w tej samej skali co szkic celu; widzimy, że cel na szerokość pokrywa się z lepszą połową trafień lecz jest znacznie dłuższy. Procent trafień równa się sumie procentów przypadających na dwa środkowe pasy pola rozrzutu

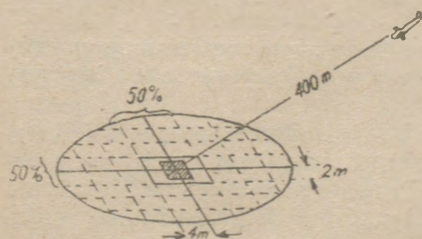
$$p = 25\% + 25\% = 50\%.$$

Kreśląc schemat wzajemnego położenia celu i koła rozrzutu znajdujemy, że cel pokrywa się z pasami pierwszym i drugim licząc od środka.

Procent trafień

$$p = 25\% + 16\% = 41\%.$$

Przykład 42. Przy strzelaniu z odległości 400 m do ziemi z samolotu nurkującego pod kątem 30° uchylenie prawdopodobne w głąb wynosi $U_g = 4 \text{ m}$, a uchylenie prawdopodobne w szerz $U_s = 2 \text{ m}$. Obliczyć procent trafień w tarczę o wymiarach $3 \times 3 \text{ m}$ pod warunkiem, że środek tarczy pokrywa się ze środkiem rozrzutu (rys. 130).



Rys. 130. Strzelanie z nurkującego samolotu myśliwskiego z odległości 400 m.

Rozwiązanie. Wykreślamy schemat umieszczenia tarczy w polu rozrzutu. Obliczamy procent trafień przypadający na prostokąt utworzony przez przecięcie pasów zawierających lepszą połowę trafień

$$50\% \cdot \frac{50}{100} = 25\%$$

Każdy z boków prostokąta równa się 2 uchyleniom prawdopodobnym

$$2 + 2 = 4 \text{ m,}$$

$$4 + 4 = 8 \text{ m.}$$

Pole prostokąta

$$S_1 = 4 \cdot 8 = 32 \text{ m}^2.$$

Pole tarczy

$$S_2 = 3 \cdot 3 = 9 \text{ m}^2.$$

Procentowa ilość trafień w tarczę $3 \times 3 \text{ m}$

$$25 \cdot \frac{9}{32} = 7,03\%.$$

W tarczy o powierzchni $3 \times 3 \text{ m}$ przy dużej ilości strzałów, 7 % będzie trafnych.

§ 31. Wiadomości z teorii prawdopodobieństwa. Rozrzut strzałów daje obraz wpływu czynników przypadkowych. Trafienie pocisku w pewien punkt jest zjawiskiem przypadkowym, powstałym pod wpływem szeregu kojarzących się czynników, których przewidzieć nie jesteśmy w stanie.

Jednak strzelając systematycznie możemy w przypadkowym rozkładzie punktów trafień dopatrzeć się zjawiska pewnej regularności.

Mając to na względzie możemy przez ilościowe ujęcie tego zjawiska opracować pewne reguły praktyczne, zapewniające najlepsze wyniki strzelań lub też w ogóle możliwie najlepszy wynik wszelkiej pracy związanej ze zdarzeniami przypadkowymi.

Nauka traktująca ze strony ilościowej regularność występującą w zjawiskach przypadkowych nazywa się teorią prawdopodobieństwa.

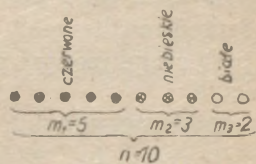
Prawdopodobieństwo zdarzenia. Opierając się na zestawieniu ilościowym pewnych danych, uważamy możliwość pewnego zdarzenia za bardziej prawdopodobną niż zdarzenia innego. Na przykład, chętniej grać będziemy na loterii mającej więcej wygranych a mniejszą ogólną ilość biletów.

Rozważamy możliwość wygranej zestawiając ją z możliwościami ogólnymi wygranej i przegranej. Zestawienie takie daje nam już pewien stopień pewności co do zaistnienia zdarzenia wyrażony ilościowo przez prawdopodobieństwo zdarzenia.

Dla lepszego zobrazowania zastosujemy metodę rozpatrzenia zjawiska przypadku na przykładzie wyjmowania gałek kolorowych z urny.

Weźmy komplet 10 gałek (rys. 131), z których 5 jest koloru czerwonego, 3 niebieskiego i 2 białego.

Sięgamy na oślep nie zaglądając do urny; fakt, że wyciągniemy gałkę tego a nie innego koloru będzie zdarzeniem przypadkowym. Fakt wyciągnięcia gałki jest zdarzeniem. Czynność wyciągania gałki jest próbą; którą z gałek spośród dziesięciu znajdujących się w urnie wyciągniemy — tego z góry nie wiemy, możliwe jest natomiast wyciągnięcie każdej z nich. Stopień pewności jednak co do wyciągnięcia gałki określonego koloru jest niejednakowy: wyciągnięcie gałki czerwonej wydaje się nam bardziej możliwe niż wyciągnięcie gałki niebieskiej, a gałki niebieskiej bardziej niż gałki białej. Pewność ta wynika z zestawienia możliwości. Jeśli możliwość wyciągnięcia gałki czerwonej wyraża się cyfrą 5, to gałki niebieskiej — 3, a gałki białej — 2. Wszystkich możliwych wypadków jest 10. Spodziewamy się najprędzej wyciągnięcia gałki czerwonej. Usunąć teraz wszystkie gałki niebieskie pozostawiając w urnie 5 czerwonych i 2 białe czyli razem 7.



Rys. 131.
Komplet 10 gałek do wyjaśniania prawdopodobieństwa.

Zdarzenie, którego się spodziewamy zwiemy zdarzeniem sprzyjającym. Możliwości zaistnienia zjawiska sprzyjającego nazywamy możliwościami sprzyjającymi.

Możliwości wyciągnięcia gałki czerwonej i w pierwszym i w drugim wypadku wyrażają się liczbą 5. Możliwości całkowite, więc możliwości wyciągnięcia gałki czerwonej i niebieskiej lub białej w pierwszym wypadku wyrażają się liczbą 10, w drugim wypadku zaś możliwości wyciągnięcia gałki czerwonej lub białej wyrażają się liczbą 7.

W rozpatrzonym przykładzie mamy stosunki $\frac{5}{10}$ i $\frac{3}{10}$; mówiliśmy, że wyjęcie gałki czerwonej jest bardziej prawdopodobne niż gałki niebieskiej. Dalej, ze stosunków $\frac{5}{10}$ oraz $\frac{5}{7}$ wywnioskowaliśmy, że w drugim wypadku (czyli po usunięciu gałek niebieskich) wyciągnięcie gałki czerwonej jest bardziej prawdopodobne niż w wypadku pierwszym.

W ten sposób powstaje pojęcie o ilościowym przedstawieniu prawdopodobieństwa.

Słosunek ilości zdarzeń sprzyjających do ilości wszystkich zdarzeń możliwych nazywamy prawdopodobieństwem

$$p = \frac{m}{n}, \dots \dots \dots (62)$$

gdzie m — ilość zdarzeń sprzyjających, n — ilość wszystkich zdarzeń możliwych¹⁾.

W rozpatrzonym przykładzie prawdopodobieństwo wyciągnięcia

1. gałki czerwonej

$$p_1 = \frac{m_1}{n} = \frac{5}{10} = \frac{1}{2}; m_1 = 5; n = 10.$$

2. gałki niebieskiej

$$p_2 = \frac{m_2}{n} = \frac{3}{10}; m_2 = 3; n = 10.$$

3. gałki białej

$$p_3 = \frac{m_3}{n} = \frac{2}{10} = \frac{1}{5}; m_3 = 2; n = 10.$$

Gdyby w urnie były same czerwone gałki, to za każdym razem wyciągalibyśmy napewno gałkę czerwoną. Ilość zdarzeń sprzyjających w tym wypadku byłaby równa ilości wszystkich zdarzeń możliwych

$$m = n.$$

Prawdopodobieństwo wyciągnięcia gałki czerwonej

$$p = \frac{m}{n} = \frac{n}{n} = 1.$$

Zdarzenie, którego prawdopodobieństwo równa się jedności nazywamy pewnym²⁾.

Jeśli przeciwnie w urnie pozostałyby tylko gałki białe, to wyciągnięcie gałki czerwonej byłoby niemożliwe; $m = 0$, czyli

$$p = \frac{m}{n} = \frac{0}{n} = 0.$$

Zdarzenie, którego prawdopodobieństwo równa się zeru jest niemożliwe³⁾.

Opierając się na dwóch ostatnich wnioskach możemy stwierdzić, że prawdopodobieństwo zawarte jest zawsze między

¹ Pod warunkiem, że wszystkie wypadki są równie możliwe (przyp. tłum.).

² Określenia te są słuszne przy skończonej ilości wypadków (np. prawdopodobieństwo geometryczne) pewność ma prawdopodobieństwo 1, niemożliwość — prawdopodobieństwo 0, ale na odwrót prawdopodobieństwo 0 nie oznacza jeszcze niemożliwości (przyp. tłum.).

zerem i jednością, czyli że prawdopodobieństwo zdarzenia jest zawsze ułamkiem właściwym.

Prawdopodobieństwo wyrażamy albo ułamkiem, albo też w procentach; jeśli chcemy przejść z ułamka na procenty, to ułamek wyrażający prawdopodobieństwo mnożymy przez 100 i dopisujemy znak %.

Jeśli zdarzenie jest niemożliwe, to prawdopodobieństwo jego wynosi 0%, jeśli zaś jest pewne, to prawdopodobieństwo wynosi 100%.

Jedność lub 100% są górną granicą prawdopodobieństwa; prawdopodobieństwo nie może być większe od jedności lub od 100%.

Zdarzenia proste i złożone. Zdarzenia występujące pojedynczo nazywamy prostymi, jak na przykład wyciągnięcie 1 gałki lub uzyskanie jednego trafienia.

Zdarzenia składające się z kilku zdarzeń prostych nazywamy złożonymi na przykład wyciągnięcie gałki czerwonej 2 razy z kolei lub uzyskanie 2 trafień z kolei.

Zdarzenia wykluczające się i nie wykluczające się nawzajem. Zdarzenia nie wykluczające się nawzajem mogą występować równocześnie. Na przykład część galek jest z kości, pozostałe zaś z drzewa; wyciągnięcie gałki może kojarzyć w sobie 2 zdarzenia:

1. wyciągnięcie gałki czerwonej oraz równocześnie
2. wyciągnięcie gałki drewnianej.

Drugi przykład: rozpatrujemy wyniki strzelania na małą odległość, przy którym nie powinno być chybień; zapisane są trafienia i odbicia. Trafienia i odbicia są to zdarzenia nie wykluczające się nawzajem, gdyż po odbiciu się pocisk może dać na tarczy ślad podobny do trafienia bezpośredniego.

Zdarzenia wykluczające się nawzajem są to takie, które nie mogą wystąpić równocześnie. Na przykład, jeśli wyjmujemy z urny tylko po jednej gałce, a gałki różnią się tylko kolorem, to wyciągnięcie gałki czerwonej wyklucza równocześnie wyciągnięcie białej.

Z dziedziny strzelania mamy: przy strzałach pojedynczych do tarczy podzielonej na koła trafienie w jedno z kół wyklucza trafienie w drugie koło.

Zdarzenia przeciwne są to takie, przy których wystąpienie jednego z nich w swym założeniu już wyklucza wystąpienie drugiego. Na przykład trafienie i chybiecie przy strzelaniu są zdarzeniami przeciwnymi, jak również wykluczającymi się nawzajem.

Zdarzenia zależne i niezależne. Jeśli przez wystąpienie jednego zdarzenia prawdopodobieństwo drugiego ulega zmianie, to zdarzenia takie nazywamy zależnymi. Jeśli zaś wystąpienie jednego zdarzenia nie zmienia prawdopodobieństwa drugiego, to zdarzenia są niezależne.

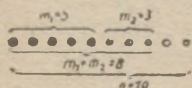
1. Wyciągnięcia czerwonej i niebieskiej gałki są zdarzeniami niezależnymi, jeśli każdą gałkę po wyciągnięciu włożymy z powrotem do urny.

Jeśli natomiast po wyjęciu gałki czerwonej nie włożymy jej z powrotem do urny, to wyciągnięcie gałki niebieskiej będzie już miało inne prawdopodobieństwo niż przed wyciągnięciem gałki czerwonej.

Przypuśćmy, że wszystkich gałek mieliśmy 10, z tego niebieskich 3; prawdopodobieństwo wyciągnięcia niebieskiej początkowo wynosiło $p_1 = \frac{3}{10}$; po wyjęciu gałki czerwonej w urnie pozostało 9 gałek, wobec czego prawdopodobieństwo wyciągnięcia niebieskiej będzie już $p_2 = \frac{3}{9}$.

2. Do strzelania z k. m. wzór D. A. przygotowano 10 ładowników; jeden z ładowników (nie wiadomo który) ma uszkodzoną sprężynę. Jakie jest prawdopodobieństwo założenia tego ładownika? Na początku $\frac{1}{10}$; potem gdy się okazało, że pierwszy ładownik był dobry, prawdopodobieństwo wzrosło do $\frac{1}{9}$ itd. Założenie ładownika uszkodzonego jest zdarzeniem zależnym.

Twierdzenie o sumie prawdopodobieństw. Twierdzenie to dotyczy zdarzeń prostych, tj. występujących pojedynczo, niezależnych od siebie i wykluczających się wzajemnie.



Rys. 132. Wyjaśnienie twierdzenia o sumie prawdopodobieństw.

Rozpatrzmy to na przykładzie z 10 gałkami, spośród których jest 5 czerwonych, 3 niebieskie i 2 białe (rys. 132). Ustalmy jakie jest prawdopodobieństwo wyjęcia jednej gałki kolorowej, czyli czerwonej lub niebieskiej.

Gałek kolorowych mamy $8 = 5 + 3$, a więc możliwości sprzyjających jest 8, a wszystkich możliwości 10. Prawdopodobieństwo wyciągnięcia gałki kolorowej określa się stosunkiem

$$P = \frac{8}{10}.$$

Liczba 8 składa się z dwóch składowych 5 i 3, wobec czego możemy napisać

$$P = \frac{8}{10} = \frac{5+3}{10} = \frac{5}{10} + \frac{3}{10}$$

Lecz stosunek $\frac{5}{10} = p_1$ jest prawdopodobieństwem wyjęcia gałki czerwonej, a $\frac{3}{10} = p_2$ prawdopodobieństwem wyjęcia gałki niebieskiej, z czego wnioskujemy, że:

Prawdopodobieństwo wystąpienia jednego z dwóch zdarzeń wykluczających się wzajemnie równa się sumie prawdopodobieństw tych zdarzeń

$$P = p_1 + p_2 \dots \dots \dots (63)$$

Twierdzenie może być rozszerzone na dowolną ilość wykluczających się nawzajem i niezależnych zdarzeń.

Przykład 43. Strzelamy do tarczy o 3 kołach: prawdopodobieństwo trafienia w koło środkowe wynosi 20%, w koło drugie — 30%, w koło zewnętrzne — 40%. Jakie jest prawdopodobieństwo trafienia do tarczy w ogóle (obojętnie w które koło)?

Rozwiązanie. Trafienia w koło są to zjawiska proste wykluczające się wzajemnie i niezależne, dlatego też możemy stosować tu ostatnie twierdzenie (nie liczymy się z wypadkiem trafienia w granice dwóch kół, gdyż w praktyce strzał taki zaliczamy do jednego z kół)

$$P = p_1 + p_2 + p_3 = 20\% + 30\% + 40\% = 90\%$$

Przykład 44. Warunki strzelania przewidują otrzymanie 80% trafień w tarczę, 30% odbić oraz 10% trafień poza tarczę. Należy obliczyć jakie będzie prawdopodobieństwo otrzymania trafień w tarczę lub odbić?

Rozwiązanie. Stosowanie twierdzenia sumy dałoby taki wynik

$$P = 80 + 30 = 110\%$$

Otrzymany wynik jest błędny, gdyż prawdopodobieństwo nie może przekroczyć 100%. Błąd polega na tym, że twierdzenie zastosowaliśmy do zdarzeń nie wykluczających się wzajemnie, trafienia i odbicia bowiem mogą występować jednocześnie przy jednym strzale.

W tym wypadku twierdzenie sumy nie ma zastosowania.

Prawdopodobieństwo wszystkich możliwych zdarzeń.
W przytoczonym wyżej przykładzie mieliśmy:

prawdopodobieństwo wyciągnięcia gałki

czerwonej $p_1 = \frac{5}{10}$, niebieskiej $p_2 = \frac{3}{10}$, białej $p_3 = \frac{2}{10}$.

Jakie jest prawdopodobieństwo wyciągnięcia jakiegokolwiek gałki, bez względu na kolor?

Na podstawie twierdzenia sumy otrzymamy

$$P = p_1 + p_2 + p_3 = \frac{5}{10} + \frac{3}{10} + \frac{2}{10} = \frac{10}{10} = 1.$$

Otrzymany wynik wskazuje, iż zdarzenie będzie pewne.

Wniosek 1. Suma prawdopodobieństw wszystkich możliwych zdarzeń w obrębie danego zjawiska równa się jedności

$$P = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + \dots + p_n = 1 \quad (64)$$

Przykład 45. Przy strzelaniu do tarczy o 3 kołach (rys. 133) otrzymaliśmy:

prawdopodobieństwo trafienia w koło pierwsze	$p_1 = 20\%$
" " " " drugie	$p_2 = 30\%$
" " " " trzecie	$p_3 = 40\%$
" " " " chybień	$q = 10\%$

Możliwe są tylko takie zdarzenia jak trafienie w pierwsze koło, w drugie koło, w trzecie koło lub też chybień

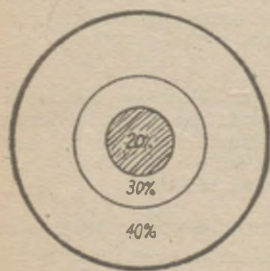
$$P = p_1 + p_2 + p_3 + q = 20 + 30 + 40 + 10 = 100\%$$

Stosując ten sam wniosek do dwóch zdarzeń przeciwnych mamy: suma prawdopodobieństw dwóch zdarzeń przeciwnych równa się jedności

$$p + q = 1 \quad (65)$$

Wróćmy do przykładu z gałkami. Mamy 8 gałek kolorowych i dwie gałki białe, razem 10 gałek. Jakie jest prawdopodobieństwo wyjęcia gałki białej lub kolorowej?

Chodzi o dwa zdarzenia przeciwnie, gdyż może być wyjęta gałka albo biała, albo kolorowa, żadnych innych zdarzeń mieć nie możemy.



Rys. 133 Tarcza o 3 kołach.

Prawdopodobieństwo wyjęcia gałki kolorowej

$$p = \frac{8}{10}$$

Zdarzenie przeciwne — wyjęcie gałki białej $q = \frac{2}{10}$

Prawdopodobieństwo wyjęcia albo białej albo kolorowej

$$p + q = \frac{8}{10} + \frac{2}{10} = \frac{10}{10} = 1$$

Wniosek 2. Znając prawdopodobieństwo jednego z dwóch przeciwnych zdarzeń możemy znaleźć prawdopodobieństwo drugiego jako dopełnienie do jedności

$$\begin{aligned} 1 - p &= q \text{ lub} \\ 1 - q &= p \end{aligned} \quad (66)$$

Przykład 46. Prawdopodobieństwo trafienia $p = 90\%$ (rys. 133). Jakie jest prawdopodobieństwo chybienia?

$$q = 1 - p = 1 - 0,9 = 0,1$$

lub też w procentach

$$q = 1 - p = 100\% - 90\% = 10\%.$$

Twierdzenie o sumie prawdopodobieństw może być zastosowane do prawa rozrzutu. Na przykład, jeśli wiadomo, że w pas środkowy o szerokości jednego uchylenia prawdopodobnego trafia 25% pocisków, a w pas następny 16%, to prawdopodobieństwo trafienia w jeden z tych dwóch pasów wynosi $p = p_1 + p_2 = 25\% + 16\% = 41\%$.

Twierdzenie o iloczynie prawdopodobieństw. Twierdzenie o iloczynie prawdopodobieństw ma zastosowanie do zdarzeń złożonych, czyli takich, które są połączeniem dwóch lub kilku zdarzeń prostych.

Weźmy przykład z wyciąganiem galek.

Mamy komplet 3 galek, z czego 2 białe i 1 czarna. Gałkę wyciągamy dwukrotnie, po pierwszym wyciągnięciu po określeniu koloru kładziemy ją z powrotem do urny a następnie wyciągamy jedną z galek ponownie. Pary galek dają różne kombinacje a ponieważ gałka zawsze wraca do urny, każda z nich może być wyciągnięta dwa razy z kolei.

Dla zobrazowania ponumerujemy gałki a następnie omówimy wszystkie możliwe kombinacje.

Przytoczonym tu wyliczeniem

Nr 1	Nr 2	Nr 3
○	○	●
biała	biała	czarna
Możliwe kombinacje		
L. p. ciągnięcia pary galek	po raz pierwszy wyciągamy	po raz drugi wyciągamy
1	1. ○ białą	1. ○ białą
2	1. ○ białą	2. ○ białą
3	1. ○ białą	3. ● czarną
4	2. ○ białą	1. ○ białą
5	2. ○ białą	2. ○ białą
6	2. ○ białą	3. ● czarną
7	3. ● czarną	1. ○ białą
8	3. ● czarną	2. ○ białą
9	3. ● czarną	3. ● czarną

wyczerpaliśmy wszystkie kombinacje. Tabela podaje wszystkie możliwe pary galek, innych par być nie może. Wszystkich kombinacji jest dziewięć, czyli ilość możliwych zdarzeń wynosi w naszym przykładzie dziewięć.

Przypuśćmy, że trzeba określić prawdopodobieństwo wyciągnięcia jednej białej oraz jednej czarnej gałki. Prawdopodobieństwo prostego zdarzenia — wyciągnięcia tylko jednej

białej gałki $p_1 = \frac{2}{3}$ gdyż galek białych mamy 2

a wszystkich galek jest 3. Prawdopodobieństwo prostego zda-

rzenia wyciągnięcia tylko jednej czarnej gałki $p_2 = \frac{1}{3}$, gdyż mamy jedną tylko czarną gałkę, a wszystkich gałek jest 3.

Prawdopodobieństwo zdarzenia złożonego — wyciągnięcia gałki białej i czarnej, jednej po drugiej określimy jako stosunek ilości zdarzeń sprzyjających do ilości zdarzeń możliwych, czyli do całkowitej ilości kombinacji podanych w tabeli.

Jako zdarzenia sprzyjające traktować możemy tylko pary trzecią i szóstą, pary siódma i ósma nie nadają się, gdyż występuje tam najpierw czarna gałka a później dopiero biała.

Możliwości sprzyjających jest dwie przy ogólnej ilości dziewięciu.

Stosunek tych dwóch liczb określa poszukiwane prawdopodobieństwo

$$P = \frac{2}{9}$$

Otrzymany ułamek może być przedstawiony jako iloczyn dwóch ułamków

$$\frac{2}{9} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3}$$

Ponieważ $\frac{2}{3} = p_1$ i $\frac{1}{3} = p_2$ możemy sformułować nasze twierdzenie w sposób następujący:

Prawdopodobieństwo zdarzenia złożonego, stanowiącego zbieg dwóch prostych zdarzeń, równa się iloczynowi prawdopodobieństw tych prostych zdarzeń¹.

$$P = p_1 \cdot p_2 \dots \dots \dots (67)$$

Twierdzenie to można uogólnić dla kilku zjawisk (można je stosować zarówno do zdarzeń zależnych jak i niezależnych).

Jeśli oczekujemy na powtórne wystąpienie tego samego zdarzenia, którego prawdopodobieństwo wynosi p , to wzór (67) przyjmuje postać: $P = p \cdot p = p^2$, a uogólniając go na dowolną ilość powtarzających się zdarzeń otrzymamy

$$P = p^n \dots \dots \dots (68)$$

Prawdopodobieństwo, że zdarzenie wystąpi n razy z kolei równa się n -ej potędze prawdopodobieństwa.

Przykład 47. Mamy dwie urny, zawierające komplety różnokolorowych gałek. W urnie pierwszej mamy 10 gałek, w tym 5 czerwonych, 3 niebieskie i 2 białe, w urnie drugiej 5 gałek, w tym 3 czarne i 2 białe.

¹ Tylko wówczas gdy te dwa zdarzenia są od siebie niezależne (przypl. tłum.).

Jakie jest prawdopodobieństwo otrzymania 2 gałek białych wyciągając po 1 gałce z każdej urny?

Rozwiązanie. Prawdopodobieństwo wyciągnięcia gałki białej z pierwszej urny wynosi $p_1 = \frac{2}{10}$.

Prawdopodobieństwo wyciągnięcia gałki białej z drugiej urny wynosi

$$p_2 = \frac{2}{5}.$$

Prawdopodobieństwo zbiegu zdarzeń

$$P = p_1 \cdot p_2 = \frac{2}{10} \cdot \frac{2}{5} = \frac{4}{50} = 0,08,$$

$$P = 8\%.$$

Prawdopodobieństwo kombinacji. Kombinacja jest zdarzeniem złożonym, składającym się ze zdarzeń prostych występujących w pewnej kolejności.

Mogą tu zajść dwa wypadki:

1. kolejność zdarzeń prostych odgrywa rolę,
2. kolejność zdarzeń prostych jest obojętna.

1. Przypuśćmy, że kolejność zdarzeń odgrywa rolę. Przytoczmy ten sam przykład, którym posługiwaliśmy się przy rozpatrywaniu twierdzenia o mnożeniu prawdopodobieństw.

Prawdopodobieństwo wyciągnięcia białej gałki $p = \frac{2}{3}$, a czarnej gałki $q = \frac{1}{3}$; jeśli chodzi o prawdopodobieństwo wyciągnięcia najpierw czarnej gałki, a później białej, to zdarzeniami sprzyjającymi są dwie kombinacje Nr 7 i 8, przytoczone w tabeli poprzedniej.

Możliwości sprzyjających jest 2, wszystkich możliwości jest 9, skąd

$$P = \frac{2}{9}, \text{ a ponieważ } \frac{2}{9} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3},$$

to

$$P = p \cdot q.$$

Przebieg rozumowania i wynik jest taki sam, jak i przy rozpatrywaniu twierdzenia o mnożeniu prawdopodobieństw.

Z tego wniosek: dla określenia prawdopodobieństwa zdarzenia złożonego, stanowiącego kombinację zdarzeń prostych, których kolejność odgrywa rolę, należy stosować twierdzenie o mnożeniu prawdopodobieństw.

W przytoczonym przykładzie, dla uproszczenia rozumowania wzięta została kombinacja dwóch zdarzeń, jednak wynik ostateczny ma zastosowanie dla dowolnej ilości zdarzeń prostych wchodzących w skład kombinacji.

Przykład 48. Przy strzelaniu z 20 mm działka lotniczego przyjmuje się, że dla zniszczenia celu potrzebne są dwa trafienia. Zamierzamy strzelać seriami po 3 pociski. Należy określić jakie jest prawdopodobieństwo zestrzelenia nieprzyjaciela dwoma pierwszymi pociskami.

Prawdopodobieństwo trafienia przy danej odległości walki do celu przyjmijmy

$$p = 0,2.$$

Kolejność zdarzeń określona warunkami zadania jest następująca: trafienie, trafienie, chybiecie.

Prawdopodobieństwo chybień

$$q = 1 - p = 1 - 0,2 = 0,8.$$

Prawdopodobieństwo wymaganego skojarzenia zdarzeń:

$$P = p \cdot p \cdot q + p \cdot p \cdot p = p^2 \cdot q + p^3 = 0,2^2 \cdot 0,8 + 0,2^3 = 0,04 \cdot 0,8 + 0,008 = 0,032 + 0,008 = 0,04.$$

Prawdopodobieństwo trafienia 2 pierwszymi pociskami z serii 3 pocisków

$$P = 4\%.$$

2. Kolejność zdarzeń jest obojętna. Przyjmijmy, że przy próbie otrzymujemy jedno z dwóch przeciwnych zdarzeń, na przykład trafienie lub chybiecie przy strzelaniu. Prawdopodobieństwo jednego ze zdarzeń p , drugiego q . Wówczas przy strzelaniu wyniknąć mogą tylko takie kombinacje: trafienie i trafienie; prawdopodobieństwo takiego zdarzenia złożonego

$$p \cdot p = p^2.$$

chybiecie i chybiecie; prawdopodobieństwo $q \cdot q = q^2$,

chybiecie i trafienie; prawdopodobieństwo $q \cdot p = p \cdot q$,

trafienie i chybiecie; prawdopodobieństwo $p \cdot q$.

Prawdopodobieństwo zajścia jednej z tych kombinacji, obojętnie której, równa się w myśl twierdzenia o sumie prawdopodobieństw, sumie prawdopodobieństw poszczególnych kombinacji

$$p^2 + pq + qp + q^2 = p^2 + 2pq + q^2 = (p + q)^2 = 1.$$

Rozpatrując sumę $p^2 + 2pq + q^2$ widzimy, że każdy z jej wyrazów podaje prawdopodobieństwo jednej z kombinacji: p^2 — 2 trafień, q^2 — 2 chybień, $2pq$ — chybiecia i trafienia zachodzących w dowolnej kolejności.

Suma $p + q$ jest to dwumian; $(p + q)^2$ — dwumian w pewnej potęgę (o wykładniku 2), gdzie wykładnik podaje ilość prób, na przykład dwa strzały z kolei, dwa wyciągnięcia gałki. Wielomian $p^2 + 2pq + q^2$ jest rozwinięciem dwumianu. Reguła określająca prawdopodobieństwo kombinacji, wówczas gdy kolejność zdarzeń nie odgrywa roli, może być sformułowana następująco: prawdopodobieństwo kombinacji dwóch przeciwnych zdarzeń zachodzących w dowolnej kolejności równa się temu wyrazowi rozwinięcia dwumianu, w którym wykładniki prawdopodobieństw odpowiadają ilości tych zdarzeń w kombinacji; wykładnik dwumianu odpowiada ilości prób.

Przy dwóch próbach

$$(p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2. \dots \dots \dots (69)$$

Przykład 49. Wyciąganie gałek z urny; jakie jest prawdopodobieństwo wyciągnięcia przy dwukrotnej próbie 1 gałki czarnej i 1 białej w dowolnej kolejności?

Rozwiązanie. Ilość prób — 2 (dwukrotne wyciąganie), wykładnik dwumianu wynosi 2

$$(p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2.$$

Kombinacja zdarzeń, jakiej się spodziewamy — wyciągnięcie 1 czarnej i 1 białej gałki. Wykładniki poszczególnych prawdopodobieństw p i q w odpowiednim wyrazie równe są wobec tego 1. Wyraz w rozwinięciu dwumianu odpowiadający temu wymaganiu — $2pq$.

Przy $p = \frac{2}{3}$ i $q = \frac{1}{3}$ (przykład 46 str. 165), mamy

$$P = 2pq = 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} = \frac{4}{9}.$$

Sprawdźmy to według tabeli. Wyciągnięcie 1 czarnej gałki i 1 białej ma miejsce w wypadkach nr 3, 6, 7, 8. Zdarzeń sprzyjających może być 4, a wszystkich możliwych 9, skąd

$$P = \frac{4}{9}, \text{ czyli to samo, co wypadło z obliczeń.}$$

Przykład 50. Z działka małokalibrowego dano serię 3 strzałów, prawdopodobieństwo trafienia przy jednym strzale dla danej odległości i do pewnego celu wynosi $p = 0,2$.

Obliczyć prawdopodobieństwo trafienia 2 pociskami na 3, bez względu na kolejność.

Rozwiązanie. Ilość strzałów (czyli ilość prób) wynosi 3, czyli wykładnik dwumianu równa się 3

$$(p + q)^3 = p^3 + 3p^2q + 3pq^2 + q^3.$$

Kombinacja zdarzeń, której szukamy zawiera 2 trafienia i 1 chybiecie, wobec czego wyraz w rozwinięciu dwumianu musi zawierać p w drugiej potęgze i q w pierwszej potęgze. Wyrazem tym jest $3p^2q$ przy $p = 0,2$ i $q = 1 - p = 1 - 0,2 = 0,8$.

$$P = 3p^2q = 3 \cdot 0,2^2 \cdot 0,8 = 3 \cdot 0,04 \cdot 0,8 = 0,096.$$

Prawdopodobieństwo trafienia 2 pociskami na trzy wynosi

$$P = 9,6 \, \%.$$

Prawdopodobieństwo, że zdarzenie zajdzie przynajmniej 2 razy, przynajmniej 3 razy itd. W poprzednim przykładzie rozpatrzyliśmy sposób określenia prawdopodobieństwa trafienia 2 pociskami na 3. Częściej jednak zadanie stawia się w sposób następujący: trafić co najmniej dwoma pociskami na trzy wystrzelone, a więc obojętne czy dwoma czy trzema, byleby nie były mniej niż dwa trafne.

Rozwijając dwumian zauważymy, że interesują nas te jego wyrazy, w których zawarte jest p z wykładnikiem równym co najmniej dwóm, czyli wyrazy pierwszy i drugi rozwinięcia

$$(p + q)^3 = p^3 + 3p^2q + 3pq^2 + q^3.$$

Prawdopodobieństwo jednej z kombinacji, obojętne której z dwóch równa się sumie prawdopodobieństw, więc

$$P = p^3 + 3p^2q.$$

Przykład 51. Obliczyć prawdopodobieństwo trafienia z działka lotniczego co najmniej dwoma pociskami na trzy wystrzelone. Prawdopodobieństwo trafienia przy 1 strzale wynosi 0,2.

Rozwiązanie. Rozwijając dwumian $(p + q)^3$ wybieramy wyrazy zawierające p co najmniej w drugiej potęgze i dodajemy je

$$P = p^3 + 3p^2q = 0,2^3 + 3 \cdot 0,2^2 \cdot 0,8 = 0,008 + 0,096 = 0,104,$$

$$P = 10,4 \, \%.$$

Prawdopodobieństwo, że zdarzenie zajdzie przynajmniej 1 raz. Jeśli damy kilka strzałów, np. trzy jak w poniższym przykładzie, przy czym trzeba trafić co najmniej 1 raz, to

wszystkie kombinacje dwumianu zawierające p odpowiadają postawionemu warunkowi, z wyjątkiem wyrazu ostatniego oznaczającego bezwzględne chybiecie

$$(p + q)^3 = p^3 + 3p^2q + 3pq^2 + q^3 = 1.$$

prawdopodobieństwo trafie-
nia przynajmniej 1 raz

prawdopodobieństwo bez-
względnego chybiecia.

Po dodaniu tych wyrazów możemy otrzymać prawdopodobieństwo trafienia przynajmniej 1 raz przy kilku strzałach.

Wygodnie jednak przy obliczeniach oprzeć się na chybieciach.

Ponieważ cały dwumian równa się jedności, więc suma wyrazów zawierających p równa się jedności; minus wyraz określający chybiecie bezwzględne.

Prawdopodobieństwo trafienia co najmniej jeden raz przy 3 strzałach, jeśli prawdopodobieństwo trafienia przy jednym strzale równe jest p , a prawdopodobieństwo chybiecia q wyrazi się w sposób następujący

$$P = p^3 + 3p^2q + 3pq^2 = 1 - q^3.$$

Lecz jak wiadomo trafienie i chybiecie są zdarzeniami przeciwnymi, a suma ich prawdopodobieństw równa się 1.

$$p + q = 1 \text{ oraz } q = 1 - p.$$

Podstawiając to do równania określającego P otrzymamy

$$P = 1 - q^3 = 1 - (1 - p)^3.$$

Zamianę q przez p zrobiliśmy tu dla wygody w rozważaniach, gdyż we wszystkich obliczeniach podawane jest prawdopodobieństwo trafienia a nie prawdopodobieństwo chybiecia.

W związku z wyprowadzeniem ostatniego wzoru należy nadmienić, iż chybiecie bezwzględne jest zawsze odejmowane od jedności a ilość prób jest wykładnikiem potęgi.

Przy 4 próbach otrzymalibyśmy

$$(p + q)^4 = p^4 + 4p^3q + 6p^2q^2 + 4pq^3 + q^4 = 1$$

prawdopodobieństwo trafienia przy-
najmniej 1 raz przy 4-ch strzałach

prawdopodobieństwo bez-
względnego chybiecia

$$P = (1 - q)^4 = 1 - (1 - p)^4$$

Zrobiliśmy 4 próby, wobec czego wykładnik wyrazu oznaczającego bezwzględne chybiecie wynosi 4; wyraz ten ma postać q^4 lub $(1 - p)^4$. Przy n próbach chybiecie bezwzględne wyrazimy przez q^n lub $(1 - p)^n$.

Prawdopodobieństwo zaistnienia zdarzenia co najmniej 1 raz przy n próbach wyraża się wzorem:

$$P = 1 - (1 - p)^n, \quad (70)$$

gdzie p — prawdopodobieństwo zaistnienia zdarzenia przy 1 próbie, n — ilość prób.

Przykład 52. Obliczyć prawdopodobieństwo trafienia co najmniej jednym pociskiem przy serii 6 pocisków. Prawdopodobieństwo trafienia przy 1 strzale — 0,8.

Rozwiązanie.

$$P = 1 - (1 - p)^n = 1 - (1 - 0,8)^6 = 1 - 0,2^6 = 1 - 0,000064 = 0,999936, \\ P = 99,9936 \%, \text{ czyli właściwie } 100 \%.$$

Przykład 53. Rozpatrmy teraz prawdopodobieństwo zaistnienia zdarzenia co najmniej jeden raz na przykładzie z gałkami.

W urnie mamy 5 gałek, w tym 3 czarne i 2 białe. Jakie jest prawdopodobieństwo wyciągnięcia przynajmniej 1 raz gałki białej przy dwukrotnym ciągnięciu?

Rozwiązanie. Prawdopodobieństwo wyciągnięcia gałki białej przy jednym ciągnięciu.

$$p = \frac{2}{5}.$$

Prawdopodobieństwo wyciągnięcia gałki białej przynajmniej 1 raz przy dwukrotnym ciągnięciu

$$P = 1 - (1 - p)^2 = 1 - \left(1 - \frac{2}{5}\right)^2 = 1 - \left(\frac{3}{5}\right)^2 = 1 - \frac{9}{25} = \frac{16}{25}.$$

Rozpatrmy teraz przykład, którym posługiwaliśmy się przy wprowadzeniu twierdzenia o mnożeniu prawdopodobieństw.

Ze wszystkich 9 możliwych kombinacji warunkom zadania odpowiada 8; wszystkie kombinacje zawierają 1 gałkę białą, z wyjątkiem nr 1, który zawiera 2 gałki czarne.

Prawdopodobieństwo jest stosunkiem ilości zdarzeń sprzyjających do ogólnej ilości możliwych: $P = \frac{8}{9}$, czyli otrzymaliśmy wynik taki sam jak przy rozważaniach rachunkowych.

Określenie prawdopodobieństwa zaistnienia zdarzenia co najmniej jeden raz ma szerokie zastosowanie praktyczne, gdyż przy strzelaniu w locie używa się zasadniczo serii strzałów, a jednocześnie dla rażenia większości celów wystarczy 1 strzał.

Prawdopodobieństwo uzyskania co najmniej 1 trafienia charakteryzuje skuteczność strzelania, wskazując jak często może być rażony cel w konkretnych warunkach strzelania.

Dla uproszczenia obliczeń związanych z rozwinięciem dwumianów poniżej podana jest tabela dwumianów dla wykładników do 10, co wyczerpuje większość wypadków praktycznych.

$$(p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2;$$

$$(p + q)^3 = p^3 + 3p^2q + 3pq^2 + q^3;$$

$$(p + q)^4 = p^4 + 4p^3q + 6p^2q^2 + 4pq^3 + q^4;$$

$$(p + q)^5 = p^5 + 5p^4q + 10p^3q^2 + 10p^2q^3 + 5pq^4 + q^5;$$

$$(p + q)^6 = p^6 + 6p^5q + 15p^4q^2 + 20p^3q^3 + 15p^2q^4 + 6pq^5 + q^6;$$

$$(p + q)^7 = p^7 + 7p^6q + 21p^5q^2 + 35p^4q^3 + 35p^3q^4 + 21p^2q^5 + 7pq^6 + q^7;$$

$$(p + q)^8 = p^8 + 8p^7q + 28p^6q^2 + 56p^5q^3 + 70p^4q^4 + 56p^3q^5 + 28p^2q^6 + 8pq^7 + q^8;$$

$$(p + q)^9 = p^9 + 9p^8q + 36p^7q^2 + 84p^6q^3 + 126p^5q^4 + 126p^4q^5 + 84p^3q^6 + 36p^2q^7 + 9pq^8 + q^9;$$

$$(p + q)^{10} = p^{10} + 10p^9q + 45p^8q^2 + 120p^7q^3 + 210p^6q^4 + 252p^5q^5 + 210p^4q^6 + 120p^3q^7 + 45p^2q^8 + 10pq^9 + q^{10}.$$

Ogólny wzór dla dwumianu jest następujący

$$(p + q)^n = p^n + np^{n-1}q + \frac{n(n-1)}{1 \cdot 2} p^{n-2}q^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3} p^{n-3}q^3 + \dots + \frac{n(n-1)(n-2) \dots [n-(m-1)]}{1 \cdot 2 \cdot 3 \dots n} p^{n-m}q^m \dots + q^n,$$

gdzie n — wykładnik dwumianu, m — ilość wyrazów poprzedzających wyraz określany.

Częstotliwość zdarzenia. Dotychczas przy obliczaniu prawdopodobieństwa znana była ilość zdarzeń sprzyjających oraz ogólna ilość możliwych. Przy strzelaniu z nowych typów broni lub też w nowych warunkach nie wiemy z góry na jaką ilość trafnych strzałów możemy liczyć; określić stosunek ilości trafień do ogólnej ilości strzałów możemy tylko drogą doświadczalną.

Stosunek ilości trafień do ogólnej ilości strzałów nazywamy *częstotliwością trafiania*.

Na przykład, jeśli przy strzelaniu do pewnego celu otrzymaliśmy 3 trafne na 10 strzałów, to częstotliwość trafiania wynosi

$$f = \frac{m}{n} = \frac{3}{10}.$$

Określenie częstotliwości pewnych zdarzeń może mieć miejsce nie tylko przy strzelaniu lecz również przy innych zjawiskach przypadkowych, jak na przykład przy pomiarach

odległości, uchyleń w położeniu samolotu przy wielokrotnym bombardowaniu pojedynczym itp. Przez powtarzanie prób określić możemy częstotliwość wszelkiego rodzaju zdarzeń przypadkowych. Określenie częstotliwości jest następujące:

stosunek rzeczywistej ilości zdarzeń sprzyjających do ogólnej ilości zdarzeń nazywamy *częstotliwością zdarzenia*

$$f = \frac{m}{n} \quad \dots \quad (71)$$

Częstotliwość zdarzenia zmienia się w zależności od ilości przeprowadzonych prób, na przykład: przy 20 strzałach otrzymano 8 trafnych, a więc

$$f = \frac{8}{20} = \frac{4}{10}$$

Przy 40 strzałach otrzymano 12 trafnych; częstotliwość

$$f = \frac{12}{40} = \frac{3}{10}$$

Jednak jak wskazuje doświadczenie, ze zwiększeniem ilości prób przeprowadzonych w warunkach możliwie jednakowych różnica między otrzymanymi częstotliwościami maleje. Przy dużej ilości prób różnica ta praktycznie nie istnieje, wobec czego częstotliwość odgrywa rolę taką samą jak i prawdopodobieństwo dla przewidywania wyników prób przyszłych.

Wniosek: przy dużej ilości prób częstotliwość zdarzeń można traktować jako prawdopodobieństwo zdarzeń przy próbach przyszłych.

Częstotliwość dotyczy zdarzeń dokonanych, a prawdopodobieństwo zdarzeń przyszłych; na tym polega zasadnicza różnica pomiędzy częstotliwością a prawdopodobieństwem.

Ilość zdarzeń sprzyjających nie może przekroczyć ilości wykonanych prób, wobec czego częstotliwość nie może być większa od 1.

Częstotliwość jest ułamkiem i może się zmieniać w granicach od zera do jedności. Częstotliwość przedstawiamy jako liczbę oderwaną ułamkiem lub też w procentach mnożąc ułamek przez 100.

Częstotliwość zdarzeń przeciwnych równa się 1, na przykład, jeśli przy 10 strzałach otrzymano 3 trafienia, to częstotliwość trafienia wynosi

$$f_1 = \frac{3}{10}, \text{ a częstotliwość chybień } f_2 = \frac{7}{10}$$

$$f_1 + f_2 = \frac{3}{10} + \frac{7}{10} = 1.$$

Przykład 54. Wykonano na oko 50 pomiarów odległości do jednego i tego samego celu. 23 pomiary mają błąd do 10 % w jednym lub drugim kierunku, 10 pomiarów — błąd wynoszący od 10 do 20 %. Jaka jest częstotliwość przy pomiarze odległości: a) błędu nie przekraczającego 10 %, b) błędu w granicach 10 do 20 %?

Rozwiązanie.

$$a) i_1 = \frac{23}{50} = 0,46 \text{ lub } i_1 = 46\%;$$

$$b) i_2 = \frac{10}{50} = 0,20 \text{ lub } i_2 = 20\%.$$

Przykład 55. Po strzelaniu stwierdzono, że częstotliwość trafiania wynosiła $\frac{3}{4}$; dano 16 strzałów. Ile było trafnych m ?

Rozwiązanie.

$$\text{Częstotliwość } i_1 = \frac{3}{4} = \frac{m}{16}.$$

$$m = \frac{3 \cdot 16}{4} = 12;$$

$$m = 12 \text{ trafnych.}$$

Przykład 56. Znalaziono 62 trafienia w tarczy; ile dano strzałów, jeśli częstotliwość wyniosła 31 %?

Rozwiązanie. Wyrażamy częstotliwość ułamkiem

$$i_1 = \frac{31}{100} = 0,31;$$

$$i_1 = \frac{m}{n} = \frac{62}{n} = 0,31;$$

$$n = \frac{62}{0,31} = 200;$$

$$n = 200 \text{ strzałów.}$$

Wartość prawdopodobna ilości trafień. W zagadnieniach praktycznych należy zdawać sobie sprawę z tego, na ile trafień może liczyć strzelec.

Dane te potrzebne są dla określenia przewidywanego rozchodu amunicji przeznaczonej dla zniszczenia pewnego celu. Rozpatrzmy to zagadnienie w zastosowaniu do takiego strzelania, w którym bierzemy pod uwagę tylko trafienia bezpośrednie.

Przeciętna przewidywana ilość trafień przy danej ilości strzałów określa się rachunkowo i wyraża się wartością prawdopodobną.

Wartością prawdopodobną ilości trafień nazywamy iloczyn ogólnej ilości strzałów oddanych i prawdopodobieństwa trafienia dla danych warunków strzelania¹).

$$W_p = n \cdot p, \quad \dots \dots \dots (72)$$

gdzie W_p — wartość prawdopodobna, n — ilość strzałów, p — prawdopodobieństwo trafienia.

Przykład 57. Dano 20 strzałów; prawdopodobieństwo trafienia przy jednym strzale wynosi 70 %.

Na jaką ilość trafnych można liczyć przeciętnie?

Rozwiązanie.

$$\text{Prawdopodobieństwo trafienia } p = \frac{70}{100} = 0,7.$$

Wartość prawdopodobna trafień przy 20 strzałach

$$W_p = n \cdot p = 20 \cdot 0,7 = 14.$$

Przeciętnie można liczyć na 14 trafień.

Przytoczonej tu ilości 14 trafień na 20 strzałów możemy w praktyce nie uzyskać, gdyż ilość strzałów jest ograniczona. Przy ograniczonej ilości przewidywania osnute na prawdopodobieństwie nie zawsze się sprawdzają. Lecz im większa jest ilość prób (a w danym wypadku im większa jest ilość strzałów), tym bardziej ilość uzyskanych trafień zbliża się do ilości przewidywanej. Z tego względu ilość przewidywaną traktować należy jako pewną wielkość średnią otrzymywaną przy dużej ilości strzałów danych w warunkach jednakowych.

Założenie takie nie stoi w sprzeczności z rzeczywistością, gdyż rozchód amunicji w warunkach bojowych jest bardzo duży.

Przy jednym strzale, czyli przy $n = 1$, wzór dla wartości prawdopodobnej ilości trafień przybierze postać

$$W_p = n \cdot p = 1 \cdot p = p \text{ trafień.}$$

Przy jednym strzale wartość prawdopodobna równa się liczbowo prawdopodobieństwu trafienia; prawdopodobieństwo trafienia jednak jest liczbą oderwaną, podczas gdy wartość prawdopodobna jest liczbą mianowaną.

Przykład 58. Obliczyć wartość prawdopodobną trafień przy 1 strzale, jeśli prawdopodobieństwo trafienia $p = 40\%$.

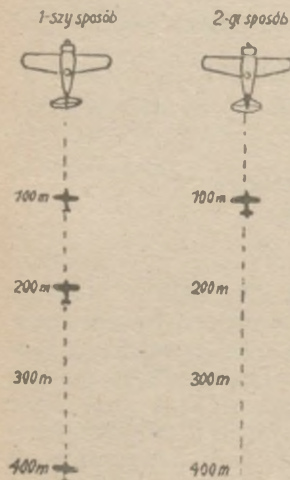
Rozwiązanie. Prawdopodobieństwo trafienia wyrażone jest ułamkiem 0,4. Wartość prawdopodobna trafień $W_p = 1 \cdot 0,4 = 0,4$ trafienia.

Jak widzimy z wyników przykładów 57 i 58 wartość prawdopodobna może być wyrażona zarówno liczbą całkowitą jak i ułamkiem.

¹ Określenie to jest uproszczone (przyp. tłum.).

Wartość prawdopodobna sumy. Wartości prawdopodobne możemy dodawać a wówczas otrzymamy wartość prawdopodobną sumy.

Przykład 59. Strzelanie do celu zbliżającego się (samolot myśliwski nieprzyjaciela). Porównać skuteczność ognia przy dwóch następujących wariantach sposobu strzelania (rys. 134).



Rys. 134. Sposoby prowadzenia ognia: 1) z trzech odległości, 2) z jednej odległości.

1. danie jednej serii 10 strzałów z odległości około 400 m, jednej serii 10 strzałów z odległości około 200 m oraz jednej serii 5 strzałów z odległości 100 m;

2. wyczekanie na zbliżenie się nieprzyjaciela na odległość 100 m, po czym danie jednej serii 10 strzałów (atak ogniowy).

Prawdopodobieństwo trafienia do samolotu myśliwskiego o powierzchni czulej około 1 m^2 wynosi

- z odległości 100 m $p_1 = 25 \%$,
- z odległości 200 m $p_2 = 6 \%$,
- z odległości 400 m $p_3 = 1,5 \%$.

Rozwiązanie. Obliczamy przewidywane ilości trafień czyli wartości prawdopodobne trafień w obydwóch wypadkach.

Wariant pierwszy.

Dane:

ilość strzałów	prawdopodobieństwo trafienia
$n_1 = 5$	$p_1 = 0,25$,
$n_2 = 10$	$p_2 = 0,06$,
$n_3 = 10$	$p_3 = 0,015$,

$$\begin{aligned} \Sigma W_p &= n_1 p_1 + n_2 p_2 + n_3 p_3 = \\ &= 5 \cdot 0,25 + 10 \cdot 0,06 + 10 \cdot 0,015 = \\ &= 1,25 + 0,6 + 0,15 = 2 \text{ trafienia.} \end{aligned}$$

Wariant drugi.

Dane: ilość strzałów $n = 10$; prawdopodobieństwo trafienia $p = 0,25$.

$$\Sigma W_p = n \cdot p = 10 \cdot 0,25 = 2,5 \text{ trafień.}$$

Porównując te dwa warianty możemy zauważyć, że w tych warunkach korzystniej jest przygotować się do zdecydowanego ataku z odległości 100 m. W rzeczywistości poza skutecznością ognia własnego należałoby uwzględnić jeszcze ogień nieprzyjaciela.

Wartość przeciętna. Wartość przeciętną znajdujemy jako wynik prób. Jeśli na przykład przy 5 strzelaniach do tego samego celu przy jednakowych ilościach amunicji otrzymano w dwóch wypadkach po 6 trafień a w trzech wypadkach po 8 trafień, to wartość przeciętną ilości trafień dla 1 strzelania otrzymamy dzieląc sumę rezultatów trafień przez ilość strzałów.

Przy dwóch pierwszych strzelaniach otrzymano

$$6 \cdot 2 = 12 \text{ trafień;}$$

przy trzech dalszych strzelaniach

$$8 \cdot 3 = 24 \text{ trafienia;}$$

razem $12 + 24 = 36$ trafień.

Dzieląc 36 przez 5 otrzymamy wartość przeciętną ilości trafień przypadających na 1 strzelanie.

$$\frac{36}{5} = 7,2.$$

Przedstawmy to w formie równania

$$\frac{6 \cdot 2 + 8 \cdot 3}{5} = \frac{36}{5} = 7,2.$$

przekształcając je otrzymamy

$$6 \cdot \frac{2}{5} + 8 \cdot \frac{3}{5} = \frac{36}{5} = 7,2.$$

Ułamki $\frac{2}{5}$ i $\frac{3}{5}$ są to częstotliwości: ułamek $\frac{2}{5}$ — częstotliwość otrzymania 6 trafnych, a $\frac{3}{5}$ — częstotliwość otrzymania 8 trafnych.

A więc dla otrzymania przeciętnej wartości ilości trafień trzeba wziąć sumę iloczynów ilości trafień w poszczególnych wypadkach przez częstotliwość tych wypadków.

Ilość prób niezbędna dla wystąpienia zdarzenia. W zagadnieniach praktycznych trzeba wiedzieć ile strzałów należy dać, aby otrzymać przynajmniej jedno trafienie.

Wartość prawdopodobna trafień daje nam odpowiedź na pytanie — ile przeciętnie trzeba dać strzałów, czyli jaki musi być przeciętny rozchód amunicji dla rażenia pewnego celu przy dużej ilości strzałów przeprowadzonych w jednakowych warunkach.

Ze wzoru na wartość prawdopodobną mamy

$$W_p = n \cdot p.$$

Ponieważ przewidujemy 1 trafienie, więc $W_p = 1$, wówczas $1 = np$, a przeciętna ilość strzałów

$$n = \frac{1}{p} \dots \dots \dots (73)$$

Przykład 60. Obliczyć przeciętną ilość pocisków potrzebnych dla rażenia danego celu, jeśli prawdopodobieństwo trafienia przy 1 strzale wyniesie $p = 0,08$.

Rozwiązanie.

$$n = \frac{1}{p} = \frac{1}{0,08} \cong 12 \text{ pocisków.}$$

Wartość prawdopodobna odgrywa doniosłą rolę przy obliczaniu rozchodu amunicji oraz ustalaniu zaopatrzenia w amunicję, czyli przy rozstrzyganiu zagadnień strzałów masowych.

Dla określenia prawdopodobieństw rażenia celu korzystamy ze wzoru

$$P = 1 - (1 - p)^n$$

podającego prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia przynajmniej 1 raz przy n próbach. Aby rozwiązać zadanie odwrotne — ile trzeba dać strzałów dla rażenia celu przynajmniej 1 pociskiem, należy określić n , mając dane P oraz p .

P tj. prawdopodobieństwo trafienia przynajmniej jednym pociskiem ustalamy sami wychodząc z warunków bojowych, czyli ilości posiadanych nabojęw oraz ważności celu. Wielkość p , prawdopodobieństwo trafienia przy jednym strzale musimy obliczyć wychodząc z wymiarów celu oraz wymiarów elipsy rozrzutu.

Wielkość n znajdujemy przez logarytmowanie

$$P = 1 - (1 - p)^n; (1 - p)^n = 1 - P.$$

Logarytmując otrzymamy

$$\begin{aligned} \lg(1 - p)^n &= \lg(1 - P), \\ n \lg(1 - p) &= \lg(1 - P), \end{aligned}$$

skąd

$$n = \frac{\lg(1 - P)}{\lg(1 - p)} \quad (74)$$

Ze wzoru tego określić można n przy dowolnych wartościach P oraz p .

Często zakłada się $P = 0,9$, $P = 0,99$ lub $P = 0,999$, traktując te wartości jako mniej lub więcej zbliżone do jedności, czyli do pewności trafienia.

Zobaczmy teraz jaką postać przybierze wzór (74) dla każdej z trzech podanych tu wartości P .

$$n = \frac{\lg(1 - 0,9)}{\lg(1 - p)} = \frac{\lg 0,1}{\lg(1 - p)} = \frac{-1}{\lg(1 - p)} n = \left[\frac{-1}{\lg(1 - p)} \right]$$

$$n = \frac{\lg(1 - 0,99)}{\lg(1 - p)} = \frac{\lg 0,01}{\lg(1 - p)} = \frac{-2}{\lg(1 - p)} n = 2 \left[\frac{-1}{\lg(1 - p)} \right]$$

$$n = \frac{\lg(1 - 0,999)}{\lg(1 - p)} = \frac{\lg 0,001}{\lg(1 - p)} = \frac{-3}{\lg(1 - p)} n = 3 \left[\frac{-1}{\lg(1 - p)} \right]$$

We wszystkich trzech wypadkach mamy ten sam mnożnik $\frac{1}{\lg(1 - p)}$ ze współczynnikiem równym tyłu jednostkom, ile dziesiętników zawiera ułamek wyrażający wartość P .

Przykład 61. Obliczyć ilości pocisków potrzebnych dla rażenia pewnego celu, a mianowicie:

1. ilość przeciętną,
2. ilość dającą prawdopodobieństwo $P = 0,99$.

Prawdopodobieństwo trafienia jednym strzałem $p = 0,05$.

Rozwiązanie.

1. Przeciętna ilość strzałów potrzebna dla rażenia celu jest wartością prawdopodobną trafień.

Musimy trafić 1 pociskiem, więc $W_p = 1$. Prawdopodobieństwo trafienia $p = 0,05$

$$n = \frac{1}{p} = \frac{1}{0,05} = 20 \text{ strzałów.}$$

Jeśli przyjmiemy, że wszystkie naboje są dobre i niewypałów nie będzie, to

$$n = 20 \text{ pocisków.}$$

2. Ilość pocisków potrzebna dla rażenia celu przy prawdopodobieństwie 0,99

$$n = 2 \left\lceil \frac{-1}{\lg(1-p)} \right\rceil, \text{ gdzie } p = 0,05.$$

Współczynnik 2 przyjęliśmy dlatego, że $P = 0,99$, czyli po przecinku mamy 2 dziewiątki

$$n = 2 \left\lceil \frac{-1}{\lg(1-p)} \right\rceil = 2 \left\lceil \frac{-1}{\lg(1-0,05)} \right\rceil = 2 \left\lceil \frac{-1}{\lg 0,95} \right\rceil = 2 \left\lceil \frac{-1}{1,978} \right\rceil = 2 \left\lceil -0,022 \right\rceil = 90 \text{ pocisków.}$$

$$n = 90 \text{ nabojów.}$$

Łatwo stwierdzić możemy, że chcąc otrzymać prawdopodobieństwo trafień nie 0,99, lecz 0,9 użyjemy $n = 45$ nabojów, jeśli natomiast chcemy mieć prawdopodobieństwo 0,999, to $n = 135$ nabojów.

Przykład 62. Obliczyć ilość pocisków, jeżeli chcemy otrzymać przynajmniej 1 trafienie przy $P = 0,5$, czyli 50 %.

Prawdopodobieństwo trafienia dla 1 strzału $p = 0,2$.

Rozwiązanie. Stosując wzór (74) otrzymamy

$$n = \frac{\lg(1-P)}{\lg(1-p)} = \frac{\lg(1-0,5)}{\lg(1-0,2)} = \frac{\lg 0,5}{\lg 0,8} = \frac{1,699}{1,903} = 0,301$$

$$n = 31 \text{ pocisków.}$$

§ 32. Teoria błędów. Jeżeli będziemy przeprowadzać pomiar pewnej wielkości, na przykład pomiar odległości dalmierzem, to zauważymy, że mimo dokładności poszczególnych pomiarów i zachowania jednakowych warunków, każdorazowe wyniki różnić się będą między sobą w mniejszym lub większym stopniu. Wyniki te będą miały charakter przypadkowy, wobec czego nigdy nie będziemy mogli przewidzieć z góry czy otrzymana wartość będzie mniejsza czy też większa. Można będzie stwierdzić jedynie, że wartości pomiarów bardzo duże i bardzo małe otrzymywane będą rzadziej niż wartości średnie. Mierzona przez nas wielkość nie zmienia się w ciągu pomiarów, z czego wnioskujemy, że każdy pomiar obciążony jest pewnym błędem przypadkowym. Tu jak i przy strzelaniu zauważymy przypadkowe uchylenia.

Uchylenia te, jak i każde inne zjawisko przypadkowe w miarę zwiększenia ilości prób wykazują podległość pewnym prawom. Zjawisko zachodzące zgodnie z pewnym prawem może być zbadane, a badanie to ma na celu stworzenie w przyszłości takich warunków pracy, przy których otrzymane wyniki byłyby jak najlepsze. Rozdział teorii prawdopodobieństwa traktujący o prawach rządzących uchyleniami przypadkowymi zwie się teorią błędów przypadkowych¹). Nazwa

¹ Rozłożenie błędów przypadkowych podlega temu samemu prawu, co i rozłożenie strzałów w rozrzucie (przyp. tłum.).

ta pochodzi stąd, że pierwotnym celem było studiowanie przypadkowych błędów pomiarów, a później dopiero tę samą teorię zastosowano do zagadnień strzelania artyleryjskiego.

Prawo błędów przypadkowych.

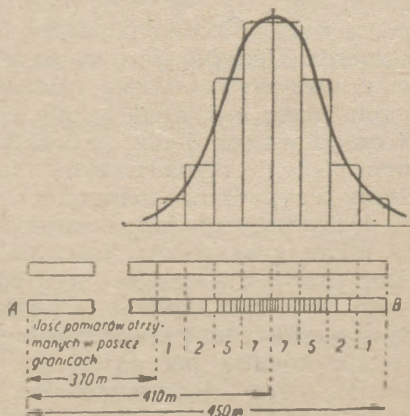
nr pomiaru	Odległość w krokach	nr pomiaru	Odległość w krokach
1	429	16	393
2	387	17	381
3	409	18	410
4	414	19	404
5	433	20	418
6	370	21	415
7	406	22	437
8	402	23	391
9	408	24	396
10	412	25	425
11	423	26	397
12	399	27	416
13	411	28	400
14	450	29	427
15	419	30	421

Studując prawa rządzące błędami przypadkowymi poznajemy tym samym prawa uchyień przypadkowych, między innymi i uchyień pocisku przy strzelaniu.

Prawo błędów przypadkowych ustala zależność pomiędzy prawdopodobieństwem błędu a granicami jego wielkości. Rozpatrzmy to zjawisko na przykładzie. Przypuśćmy, że dla określenia odległości do celu nieruchomego na ziemi wykonaliśmy 30 pomiarów krokami. Wy-

niki tych pomiarów zestawione są w tabeli obok.

Przedstawmy wykreślnie wyniki pomiarów (rys. 135). Od dowolnego punktu A odkładać będziemy w pewnej skali wyniki pomiarów. Każdemu pomiarowi odpowie na prostej pewien punkt, który zaznaczymy kreską; najmniejsza wartość $X_{\min} = 370$, największa $X_{\max} = 450$. Pozostałe punkty leżeć będą pomiędzy 2 punktami odpowiadającymi tym dwóm krajowym pomiarom. Z wykresu widać, że bliżej końców odcinka punkty są rzadsze niż na jego środku. Podzielmy odcinek zawarty w granicach w $X_{\min}$ i $X_{\max}$ na kilka części, na przykład na 8. Obliczmy ilość punktów znajdujących



Rys. 135. Wyniki 30 pomiarów odległości oraz krzywa charakteryzująca częstotliwość otrzymywania błędów w poszczególnych granicach.

cych się w obrębie każdej z działek i znajdziemy częstotliwość otrzymywania punktów w jej granicach; częstotliwość ta wyrazi się stosunkiem ilości punktów w danej działce do ogólnej ilości punktów (czyli do 30). Zobrazujmy częstotliwości te wykreślnie jako pola prostokątów o podstawach równych działkom. Pole prostokąta uzmysławia nam — ile punktów zawartych jest w obrębie tej działki, na której zbudowany jest ten prostokąt. Pamiętajmy, że każdy punkt oznacza wynik pomiaru, a więc prostokąt oznacza jak często otrzymywaliśmy pomiar o wielkości zawartej w granicach działki.

Przedstawiając częstotliwości jako prostokąty otrzymamy górny ich zarys w postaci schodów; gdybyśmy zwiększali nieograniczenie ilość działek oraz ilość pomiarów, to szerokość prostokątów stawałaby się coraz mniejsza, aż wreszcie zamiast schodów powstałby zarys krzywej. Krzywa ta uzmysławiałaby prawo, jakie rządzi przypadkowymi wynikami pomiarów.

Obliczmy teraz średnią arytmetyczną otrzymanych wyników pomiarów

$$\begin{aligned} X_0 &= \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{1}{n} (X_1 + X_2 + \dots + X_n) = \\ &= \frac{1}{30} (429 + 387 + 409 + 414 + 433 + 370 + 406 + 402 + 408 + 412 + \\ &+ 423 + 399 + 411 + 450 + 419 + 393 + 381 + 410 + 404 + 418 + \\ &+ 405 + 437 + 391 + 396 + 425 + 397 + 416 + 400 + 427 + 421) = \\ &= \frac{1}{30} \cdot 12293 = 409,8 \cong 410 \text{ m.} \end{aligned}$$

W punkcie odpowiadającym $X = 410$ mamy największą wysokość prostokątów lub też najwyższą rzędną krzywej.

Charakter krzywej wskazuje, że:

1. Krzywa jest w przybliżeniu symetryczna względem punktu odpowiadającego średniej arytmetycznej pomiarów, czyli względem

$$X_0 = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \dots \dots \dots (75)$$

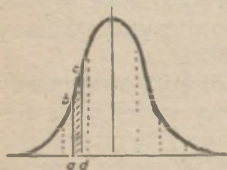
2. Największe częstotliwości zachodzą w pobliżu tej średniej arytmetycznej (gdyż odpowiada jej najwyższa rzędna).

Ponieważ przy bardzo dużej ilości pomiarów, częstotliwości stają się równoznaczne z prawdopodobieństwami, więc krzywa ta charakteryzować będzie zależność pomiędzy wynikiem przypadkowym pomiaru a prawdopodobieństwem tego wyniku. Biorąc pewien odcinek *ad* (rys. 136) znajdziemy prawdopodo-

bieństwo otrzymania pomiaru w granicach tego odcinka jako pole $abcd$ ograniczone krzywą bc i dwiema prostymi ab i cd .

Symetria krzywej wskazuje na istnienie pewnej wartości pomiaru, od której w obydwie strony są odchylone pozostałe wartości pomiarów.

Ponieważ uchylenia przedstawiamy sobie jako błędy, więc powstaje również pojęcie o pewnym wyniku, który można by było przyjąć jako wartość rzeczywistą mierzonej wielkości nie obarczoną tym błędem, która znaleźć się musi gdzieś po środku.



Rys. 136. Krzywa Eulera.

Symetria krzywej wskazuje nam na istnienie pewnej wartości, którą należy przyjąć jako rzeczywistą.

Symetria zachodzi względem średniej arytmetycznej wyników pomiarów, wobec czego w praktyce przyjmuje się, że ta średnia arytmetyczna jest wartością rzeczywistą mierzonej wielkości. Oznaczając przyjętą wartość przez X_0 , a wartość otrzymywaną w poszczególnych pomiarach przez X mamy

$\Delta = X - X_0$, gdzie Δ — wielkość błędu danego pomiaru.

W przytoczonym wyżej przykładzie

błąd pierwszego pomiaru	429 — 410 =	19,
„ drugiego „	387 — 410 =	— 23,
„ trzeciego „	409 — 410 =	— 1, itd.

Przykład ten dotyczył błędów przy pomiarach pewnej wielkości lecz, jak już wspomnieliśmy wyżej, prawu określönemu przez krzywą podlegają w przybliżeniu wszystkie zjawiska przypadkowe, a więc i uchylenia punktów trafienia pocisków przy strzelaniu. Krzywa ta zwie się krzywą Eulera, a prawo przez nią przedstawione prawem Gaussa.

Przy rozpatrywaniu krzywej zauważymy że:

1. jej symetryczne gałęzie najpierw stromo opadają a następnie w miarę zbliżania się do osi poziomej idą coraz łagodniej; wskazuje to, że praktycznie poza pewną granicą prawdopodobieństwa odpowiednie uchylenia są tak małe, że można je pominąć,
2. symetria jej świadczy, że uchylenia w prawo i w lewo lub naprzód i w tył są jednakowo prawdopodobne,
3. uchylenia małe są bardziej prawdopodobne niż uchylenia większe.

Wnioski te, powzięte w wyniku rozpatrzenia krzywej, rozważaliśmy już poprzednio przy studiowaniu prawa rozrzutu (§ 30);

tam również spotkaliśmy się z nierównomiernym rozmieszczeniem punktów trafień w obrębie pola rozrzutu, czyli z większym ich zgęszczeniem w okolicy środka rozrzutu oraz z rozrzedzeniem w miarę oddalenia od tego punktu.

Zastosowanie prawa Gaussa do rozrzutu pozwala na głębsze przestudiowanie oraz na bardziej systematyczne podejście przy rozpatrywaniu tego zagadnienia.

Na podstawie teoretycznego przestudiowania rozrzutu oraz dysponując podstawowymi danymi z praktyki możemy z góry rozwiązać szereg zagadnień praktycznych z dziedziny strzelania i opracować odpowiednie reguły zmierzające do zapewnienia jak najlepszych wyników.

Wartości uchyień charakteryzujące rozrzut. *Uchylenia przeciętne i kwadratowe.* Przy rozpatrywaniu prawa rozrzutu wskazaliśmy, że prawo to daje się zaobserwować jednakowo we wszystkich wypadkach strzelania lub pomiarów a różnice w praktyce występują jedynie w wielkościach uchyień. Pole rozrzutu przy małych odległościach strzelania jest mniejsze niż przy odległościach większych, lecz sposób rozmieszczenia punktów trafień w obrębie tych pól, a więc nierównomierność i symetria pozostają bez zmian. Z tego względu w poszczególnych wypadkach dla oceny wielkości rozrzutu wystarczy znajomość wielkości uchylenia.

Pojedyncze uchylenia jednak są wielkościami przypadkowymi, wobec czego nie mogą służyć jako miara. Jako miarę przyjmując możemy pewną wielkość przeciętną dającą pojęcie o wielkości wszystkich uchyień.

Przy strzelaniu artyleryjskim operuje się następującymi pojęciami: uchylenie przeciętne, uchylenie kwadratowe oraz uchylenie prawdopodobne.

Uchylenie prawdopodobne jako kryterium przy ocenie rozrzutu znajduje najbardziej szerokie zastosowanie.

Uchylenie przeciętne. Dla określenia uchylenia średniego należy wziąć sumę wszystkich uchyień i podzielić ją przez ilość uchyień.

Przy sumowaniu znaki należy odrzucić, gdyż w przeciwnym wypadku w myśl prawa Gaussa (symetryczność trafień) otrzymalibyśmy sumę równą 0.

Oznaczając uchylenie przeciętne przez U_{pc} , ilość uchyień przez n otrzymamy wzór dla określenia uchylenia przeciętnego U_{pc}

$$U_{pc} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n}{n} \quad (76)$$

Uchyleniem przeciętnym nazywamy sumę wartości bezwzględnych uchyień podzieloną przez ilość uchyień.

Przykład 63. Dane są odchylenia punktów trafień *wzwyż* *Y* oraz *wszerz* *Z* od środka celu. Obliczyć uchylenie przeciętne

uchylenie <i>wzwyż</i> <i>Y</i>	uchylenie <i>wszerz</i> <i>Z</i>
1 + 100	— 10
2 — 100	— 10
3 — 20	+ 30
4 — 180	+ 50
5 + 20	+ 90
6 — 100	+ 70
7 — 60	+ 110
8 — 300	+ 150

Rozwiązanie. Znajdźmy najpierw współrzędne środka rozrzutu. Znajdziemy je jako średnie wartości odchyień.

$$Y_0 = \frac{Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n}{n} = \frac{100 - 100 - 20 - 180 + 20 - 100 - 60 - 300}{8} = -\frac{640}{8} = -80;$$

$$Z_0 = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n}{n} = \frac{-10 - 10 + 30 + 50 + 90 + 70 + 110 + 150}{8} = \frac{480}{8} = +60.$$

Odchylenia środka rozrzutu względem środka celu wynoszą

$$\text{wzwyż } Y_0 = -80,$$

$$\text{wszerz } Z_0 = +60.$$

Mając te współrzędne możemy wyznaczyć położenie środka rozrzutu względem środka celu, jako środka układu współrzędnych.

Określamy dalej uchylenia poszczególnych trafień względem środka rozrzutu.

L. p.	Uchylenia poszczególnych trafień względem środka rozrzutu	
	w z w y ż	w s z e r z
1	+ 100 — (— 80) = + 100 + 80 = + 180	— 10 — 60 = — 70
2	— 100 — (— 80) = — 100 + 80 = — 20	— 10 — 60 = — 70
3	— 20 — (— 80) = — 20 + 80 = + 60	+ 30 — 60 = — 30
4	— 180 — (— 80) = — 180 + 80 = — 100	+ 50 — 60 = — 10
5	+ 20 — (— 80) = + 20 + 80 = + 100	+ 90 — 60 = + 30
6	— 100 — (— 80) = — 100 + 80 = — 20	+ 70 — 60 = + 10
7	— 60 — (— 80) = — 60 + 80 = + 20	+ 110 — 60 = + 50
8	— 300 — (— 80) = — 300 + 80 = — 220	+ 150 — 60 = + 90

Określamy uchylenie przeciętne. W liczniku będziemy mieli sumę bezwzględnych wartości uchyień (czyli bez względu na znak).

Uchylenie przeciętne wwyż

$$U_y = \frac{180 + 20 + 60 + 100 + 100 + 20 + 20 + 220}{8} = \frac{720}{8} = 90 \text{ cm.}$$

Uchylenie przeciętne wszerz

$$U_z = \frac{70 + 70 + 30 + 10 + 30 + 10 + 50 + 90}{8} = \frac{360}{8} = 45 \text{ cm.}$$

Porównajmy teraz wielkość rozrzutu wwyż i wszerz; wywnioskować możemy, że rozrzut wwyż jest dwa razy większy od rozrzutu wszerz.

Należy pamiętać, że dla wyznaczenia środka rozrzutu przez dodawanie poszczególnych odchylenia brać należy z przynależnymi im znakami, podczas gdy dla określenia uchylenia przeciętnego względem środka rozrzutu dodaje się tylko wartości bezwzględne, a więc bez znaków.

Uchylenie średnie kwadratowe. Aby otrzymać uchylenie kwadratowe należy wielkość poszczególnych uchyień względem środka rozrzutu podnieść do kwadratu, kwadraty dodać do siebie, sumę podzielić przez ilość uchyień mniej jeden, po czym wyciągnąć pierwiastek kwadratowy z ilorazu.

Znak algebraiczny roli tu nie odgrywa, gdyż i tak po podniesieniu liczb ujemnych do kwadratu otrzymuje się liczby dodatnie.

Średnie uchylenie kwadratowe oznaczamy literą U_k , uchylenie względem środka rozrzutu oznaczamy przez Δ , a ilość uchyień przez n .

Wzór dla określenia uchylenia kwadratowego ma postać następującą

$$U_k = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2}{n - 1}} \quad (77)$$

Uchyleniem kwadratowym nazywamy pierwiastek kwadratowy z sumy kwadratów uchyień podzielonej przez ilość uchyień mniej jeden.

Przykład 64. Obliczyć uchylenie kwadratowe na podstawie uchyień względem środka rozrzutu.

Weźmiemy dane liczbowe z przykładu poprzedniego, lecz wyrazimy je dla ułatwienia obliczeń w *dcm*. Oznaczmy uchylenia wwyż $\Delta = y$, uchylenia wszerz $\Delta = z$.

L. p.	Uchylenie poszczególnych trafień względem środku rozrzutu			
	w z w y ż		w s z e r z	
	y	y ²	z	z ²
1	+ 18	324	— 7	49
2	— 2	4	— 7	49
3	+ 6	36	— 3	9
4	— 10	100	— 1	1
5	+ 10	100	+ 3	9
6	— 2	4	+ 1	1
7	+ 2	4	+ 5	25
8	— 22	484	+ 9	81

Uchylenie kwadratowe wzwyż

$$Y = \sqrt{\frac{y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots + y_n^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{324 + 4 + 36 + 100 + 100 + 4 + 4 + 484}{8-1}} = \sqrt{\frac{1056}{7}}$$

$$= \sqrt{151} \cong 12,3 \text{ dcm.}$$

Uchylenie kwadratowe wszerek

$$Z = \sqrt{\frac{z_1^2 + z_2^2 + z_3^2 + \dots + z_n^2}{n-1}}$$

$$\sqrt{\frac{49 + 49 + 9 + 1 + 9 + 1 + 25 + 81}{8-1}} = \sqrt{\frac{224}{7}} = \sqrt{32} \cong 5,7 \text{ dcm.}$$

$$Y = 123 \text{ cm}; Z = 58 \text{ cm.}$$

Porównując otrzymane wielkości z odpowiednimi wielkościami uchylenia przeciętnego zauważymy, że uchylenie kwadratowe jest większe od uchylenia przeciętnego. Widać przy tym wyraźnie, że na zwiększenie znaczny wpływ mają duże wartości uchylen, które przy podniesieniu do kwadratu potęgają różnicę.

Uchylenie prawdopodobne. Podstawowe pojęcia o uchyleniu prawdopodobnym zostały już podane przy omawianiu rozrzutu; przytoczony był również sposób wykreślny wyznaczenia uchylenia prawdopodobnego. Sposób wykreślny jednak może mieć zastosowanie tylko wówczas, gdy poszczególne punkty trafień oznaczone są na schemacie i gdy ilość tych trafień wystarcza dla uwydatnienia prawa rozrzutu. Z tego względu sposób wykreślny nie może być traktowany jako podstawowy, a używany jest zwykle dla kontroli przeprowadzonych obliczeń.

Najprostszy jest sposób określenia uchylenia prawdopodobnego za pomocą wzrastającego lub malejącego szeregu uchylen.

W tym celu uszeregowuje się wszystkie otrzymane uchylenia według ich wartości bezwzględnej (a więc nie bierze się pod uwagę znaku) w kolejności wzrastającej lub malejącej. Jeśli ilość uchylen jest parzysta, to bierze się dwie liczby środkowe szeregu i znajduje się ich średnią arytmetyczną; przy nieparzystej ilości uchylen bierze się liczbę środkową szeregu. Otrzymana w ten sposób liczba jest uchyleniem prawdopodobnym. Sposób ten bardzo przejrzystie uzmysławia istotę uchylenia prawdopodobnego. Otrzymana liczba odpowiada w zupełności podanemu już wyżej określeniu: *uchylenie prawdo-*

podobne jest to takie uchylenie, którego wielkość przy dostatecznie wielkiej ilości strzałów jest większa od każdego z uchyleń jednej ich połowy i mniejsza od każdego z uchyleń drugiej ich połowy.

Przykład 65. Wyznaczyć uchylenie prawdopodobne na podstawie szeregu uchyleń: $-7, -7, -3, -1, +3, +1, +5, +9$.

Rozwiązanie. Piszemy te liczby uszeregowując je w kolejności wzrastającej lub malejącej, nie biorąc pod uwagę znaków; wybieramy dwie liczby środkowe i bierzemy ich średnią

$$1, 1, 3, [3, 5], 7, 7, 9$$

$$U_p = \frac{3 + 5}{2} = 4.$$

Najdokładniejszym sposobem jest obliczenie uchylenia prawdopodobnego na podstawie uchylenia kwadratowego.

Teoria błędów podaje taki wzór:

błąd prawdopodobny (lub uchylenie prawdopodobne)

$$U_p = \frac{2}{3} U_k \quad (78)$$

$$\text{lub dokładniej } U_p = 0,6745 U_k \quad (79)$$

Przykład 66. Uchylenie kwadratowe wynosi:

$U'_k = 123 \text{ cm}$; $U''_k = 58 \text{ cm}$. Obliczyć uchylenie prawdopodobne.

Rozwiązanie.

$$U'_p = \frac{2}{3} U'_k = \frac{2}{3} \cdot 123 = 82 \text{ cm} \text{ lub dokładniej}$$

$$U'_p = 0,6745 U'_k = 0,6745 \cdot 123 = 82,96 \text{ cm};$$

$$U''_p = \frac{2}{3} U''_k = \frac{2}{3} \cdot 58 = 38,7 \text{ cm} \text{ lub dokładniej}$$

$$U''_p = 0,6745 \cdot U''_k = 0,6745 \cdot 58 = 39,12 \text{ cm}.$$

W praktyce najczęściej oblicza się uchylenie prawdopodobne na podstawie uchylenia kwadratowego jako wartości najdokładniejszej; obliczenie takie daje dobre wyniki nawet przy stosunkowo niewielkiej ilości trafień.

Teoria błędów podaje również zależność między uchyleniem prawdopodobnym a uchyleniem przeciętnym.¹

¹ W ten sposób najczęściej oblicza się uchylenia prawdopodobne (przyp. tłum.).

Błąd prawdopodobny (lub uchylenie prawdopodobne)

$$U_p = \frac{5}{6} U_{pc} \text{ lub dokładniej } U_p = 0,8453 U_{pc}.$$

Przykład 67. Uchylenie przeciętne wynosi

$$\text{wzwyż } U'_{pc} = 90 \text{ cm,}$$

$$\text{wszerz } U''_{pc} = 45 \text{ cm.}$$

Obliczyć uchylenie prawdopodobne.

Rozwiązanie.

$$U'_p = \frac{5}{6} U'_{pc} = \frac{5}{6} 90 = 75 \text{ cm lub dokładniej}$$

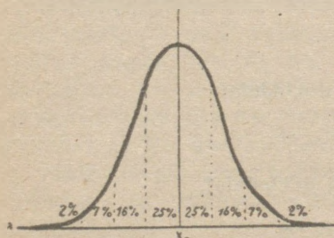
$$U'_p = 0,8453 \cdot U'_{pc} = 0,8453 \cdot 90 = 76,08 \text{ cm.}$$

$$U''_p = \frac{5}{6} U''_{pc} = \frac{5}{6} 45 = 37,5 \text{ lub dokładniej}$$

$$U''_p = 0,8453 U''_{pc} = 0,8453 \cdot 45 = 38 \text{ cm.}$$

Liczby Gaussa. Mając uchylenia względem pewnego dowolnego punktu przyjętego jako początkowy, możemy wykreślić krzywą Eulera, podobnie jak było to zrobione na rys. 129.

Obliczamy sposobem znanym uchylenie środka rozrzutu (biorąc sumę wszystkich uchylen z uwzględnieniem znaków i dzieląc przez ilość uchylen); znajdujemy uchylenia poszczególnych punktów względem środka rozrzutu; obliczamy uchylenie kwadratowe (lub uchylenie przeciętne), a według niego wreszcie uchylenie prawdopodobne.



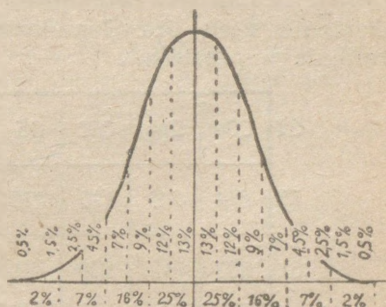
Rys. 137.

Wykreślne przedstawienie prawa Gaussa.

Następnie odkładamy na osi XX w obydwie strony od punktu środkowego X_0 po kilka wielkości uchylenia prawdopodobnego; w ten sposób uchylenie prawdopodobne służyć będzie jako miara wszystkich innych uchylen.

Krzywa Eulera podzieli się na kilka pasów; pole każdego z tych pasów obrazuje częstotliwość otrzymywania uchylen w granicach każdego z nich.

Przy dużej ilości uchyień częstotliwości stają się równoznaczne z prawdopodobieństwami. Wyrażając procentowo prawdopodobieństwo otrzymywania uchyień w granicach każdego z pasów o szerokości równej jednemu uchyleniu prawdopodobnemu, mamy następujący szereg liczb: w obrębie pierwszego pasa o szerokości uchylenia prawdopodobnego znajduje się 25% uchyień, w obrębie drugiego — 16,13%, trzeciego — 6,72%, czwartego 1,85% i piątego — 0,3%. Dla użytku praktycznego liczby te zaokrąglamy przyjmując przy pięciu pasach, że w pierwszym pasie będzie 25%, w drugim — 16%, trzecim — 7%, czwartym — 1,5%, piątym — 0,5%.



Rys. 138. Procent trafień w pasach szerokości połowy uchylenia prawdopodobnego.

Uchylenia na zewnątrz czwartego pasa są mało prawdopodobne, zachodzą one bardzo rzadko, dlatego też przyjąć możemy, że wszystkie uchylenia ułożą się w obrębie 4 pasów.

W zagadnieniach strzelania w locie przyjmuje się rozkład uchyień w obrębie 4 pasów o następujących prawdopodobieństwach:

1. pas — 25%,
2. pas — 16%,
3. pas — 7%,
4. pas — 2%.

Jeśli krzywą podzielić pasami węższymi, o szerokości na przykład połowy uchylenia prawdopodobnego, otrzymamy rozkład prawdopodobieństw wskazany na rys. 138.

Liczby te zwą się liczbami Gaussa. W odniesieniu do rozrzutu punktów trafień pocisków przedstawiają one prawo nierównomiernego rozkładu tych punktów.

W praktyce liczenie się z nierównomiernym rozkładem punktów trafienia w obrębie poszczególnych pasów komplikowałoby zbyt wiele zagadnienie, wobec czego przyjmuje się w przybliżeniu, że w obrębie danego pasa trafienia rozłożone są równomiernie.

Do obliczenia prawdopodobieństwa trafienia do prostokąta o bokach równoległych do osi elipsy rozrzutu stosuje się twierdzenie o iloczynie. Mając prawdopodobieństwo trafienia dla każdego z pasów tworzących prostokąt, otrzymamy przez mnożenie tych prawdopodobieństw — prawdopodobieństwo trafienia w prostokąt.

2%	0,04	0,14	0,32	0,5	0,5	0,32	0,14	0,04
7%	0,14	0,49	1,12	1,75	1,75	1,12	0,49	0,14
16%	0,32	1,12	2,56	4,0	4,0	2,56	1,12	0,32
25%	0,5	1,75	4,0	6,25	6,25	4,0	1,75	0,5
25%	0,5	1,75	4,0	6,25	6,25	4,0	1,75	0,5
16%	0,32	1,12	2,56	4,0	4,0	2,56	1,12	0,32
7%	0,14	0,49	1,12	1,75	1,75	1,12	0,49	0,14
2%	0,04	0,14	0,32	0,5	0,5	0,32	0,14	0,04
	2%	7%	16%	25%	25%	16%	7%	2%

Rys. 139. Rozłożenie rozrzutu na powierzchni według prawa Gaussa.

Rys. 139 podaje prawdopodobieństwa trafienia w prostokąty utworzone przez przecięcie się pasów o szerokości jednego uchylenia prawdopodobnego.

Określenie uchylenia prawdopodobnego sposobem kwadratów różnic. Przy omawianiu zjawiska rozrzutu zakładaliśmy, że można sobie wyobrazić pewien średni tor idący od broni do środka rozrzutu. Tory rzeczywiste wskutek rozrzutu odchylają się od środka rozrzutu sprawiając, że odpowiadające im punkty trafienia ułożą się dookoła środka rozrzutu. W rzeczywistości zdarza się czasem, że tor średni przesuwają się, co ma miejsce, na przykład przy strzelaniu z lecącego samolotu; w takim wypadku przesuwają się również i środek rozrzutu,

a uchylenia zachodzą w coraz to nowych warunkach. Dla uwzględnienia przesunięcia toru średniego przy obliczaniu uchylenia prawdopodobnego stosowany jest sposób opisany niżej.

Znajdujemy różnicę dwóch kolejnych uchyień, podnosimy ją do kwadratu, dodajemy te kwadraty, dzielimy przez ilość uchyień mniej dwa, wyciągamy pierwiastek kwadratowy, a wreszcie rezultat mnożymy przez współczynnik 0,477.

Wzór ten¹⁾ określający uchylenia prawdopodobne sposobem różnic kwadratów wygląda następująco

$$U_p = 0,477 \sqrt{\frac{(\Delta_2 - \Delta_1)^2 + (\Delta_3 - \Delta_2)^2 + (\Delta_4 - \Delta_3)^2 + \dots + (\Delta_n - \Delta_{n-1})^2}{n - 2}} \quad (80)^1$$

Przykład 68. Obliczyć uchylenie prawdopodobne sposobem kwadratów różnic mając kolejne uchylenia

$$+ 20, - 4, + 4, + 8, + 16, + 12, - 4, + 28.$$

Rozwiązanie.

L.p.	Uchylenie	Różnice uchyień	Kwadraty różnic
1	+ 20	- 4 - (+ 20) = - 24	576
2	- 4	+ 4 - (- 4) = + 8	64
3	+ 4	+ 8 - (+ 4) = + 4	16
4	+ 8	+ 16 - (+ 8) = + 8	64
5	+ 16	+ 12 - (+ 16) = - 4	16
6	+ 12	- 4 - (+ 12) = - 16	256
7	- 4	+ 28 - (- 4) = + 32	1024
8	+ 28	—	—

$$\begin{aligned}
 U_p &= 0,477 \sqrt{\frac{(\Delta_2 - \Delta_1)^2 + (\Delta_3 - \Delta_2)^2 + \dots + (\Delta_n - \Delta_{n-1})^2}{n - 2}} \\
 &= 0,477 \sqrt{\frac{576 + 64 + 16 + 64 + 16 + 256 + 1024}{8 - 2}} = 0,477 \sqrt{\frac{2016}{6}} \\
 &= 0,477 \sqrt{336} = 0,477 \cdot 18,3 = 8,7.
 \end{aligned}$$

Błąd prawdopodobny przeciętnej wartości pomiaru. Wynik średni wszystkich pomiarów przyjmowany jest zwykle jako wartość rzeczywista wielkości mierzonej, wobec czego odchylenie środka rozrzutu oblicza się również jako wartość prze-

¹⁾ Prostszy wzór ma postać następującą:

$$U_p = 0,598 \frac{(\Delta_1) + (\Delta_2) + \dots + (\Delta_{n-1})}{n - 1}$$

gdzie w nawiasach zawarte są bezwzględne wartości Δ (przyp. tłum.).

ciętną wszystkich odchyień. Ta wartość średnia jest jednak również pewnym przybliżeniem, gdyż obarczona jest błędem w stosunku do wartości rzeczywistej. Błąd pomiaru wskazuje z jaką dokładnością wykonany jest pomiar.

Teoria błędów daje wzór do określenia prawdopodobnego błędu przeciętnej wartości pomiaru

$$R = \frac{U}{\sqrt{n}} \quad (81)$$

gdzie R jest to błąd prawdopodobny przeciętnej wartości pomiaru, U błąd prawdopodobny danego sposobu pomiarów, (czyli w odniesieniu do strzelania — uchylenie prawdopodobne), n ilość pomiarów.

Jak zaznaczyliśmy kilkakrotnie wyżej, pod błędami rozumieć należy również i uchylenia zachodzące przy strzelaniu.

Dlatego też R jest również uchyleniem prawdopodobnym środka rozrzutu, które wskazuje na dokładność określenia tego punktu.

Przykład 69. Uchylenie prawdopodobne wyznaczone na podstawie 8 strzałów wynosi 58 cm.

Znaleźć błąd prawdopodobny w określeniu środka rozrzutu.

Rozwiązanie.

$$R = \frac{U}{\sqrt{n}} = \frac{58}{\sqrt{8}} = \frac{58}{2,82} = 20,5.$$

Widać z tego, że przy małej ilości strzałów dokładność będzie niewielka.

Ze wzoru wynika, że im większe będzie n , tym błąd będzie mniejszy, a więc wynik dokładniejszy. Na przykład przy kilkakrotnym pomiarze odległości krokami otrzymany przeciętny wynik będzie dokładniejszy niż przy jednym tylko pomiarze. Dokładność będzie tym większa, czyli błąd będzie tym mniejszy, im większa jest wartość pierwiastka kwadratowego z ilości pomiarów. W żadnym jednak wypadku wynik pomiarów nie będzie dokładniejszy niż dokonany narzędziem bardziej precyzyjnym.

Przykład 70. Porównać dokładności przy jedno, ośmio i szesnastokrotnym pomiarze; $U = 58$.

$$n = 1; R = \frac{U}{\sqrt{n}} = \frac{58}{1} = 58.$$

$$n = 8; R = \frac{58}{2,82} = 20,5.$$

$$n = 16; R = \frac{58}{4} = 14,5.$$

Promień koła zawierającego lepszą połowę trafień oraz promień koła zawierającego wszystkie trafienia. O wielkości rozrzutu sądzić możemy również z wymiarów koła obejmującego lepszą połowę trafień, a więc połowę ilości wszystkich trafień znajdującą się bliżej środka rozrzutu lub też z wymiarów koła obejmującego wszystkie trafienia. Promień jednego lub drugiego wyznaczyć można wykreślnie mając tarczę strzelecką lub też szkic tej tarczy wykonany w pewnej skali.

Dla wyznaczenia promienia koła obejmującego lepszą połowę trafień określamy najpierw środek rozrzutu. W punkcie tym umieszczamy ostrze cyrkla i tak dobieramy jego rozwarłość czyli promień, by wewnątrz koła znalazło się 50% śladów.

Przy wyznaczaniu promienia koła obejmującego wszystkie ślady umieszczamy ostrze cyrkla w środkowym punkcie, a następnie znajdujemy najmniejszy promień, który objąłby wszystkie ślady¹⁾.

Promień koła obejmującego lepszą połowę trafień może być określony również rachunkowo w zależności od szerokości rozrzutu skutecznego oraz uchylenia prawdopodobnego (rys. 140).

Pole skutecznego rozrzutu zawierającego 50% śladów równa się iloczynowi

$$S_w \cdot S_s$$

Koło zawierające 50% śladów

$$\pi r_{50}^2$$

Obydwa te pola muszą być równe

$$S_w \cdot S_s = \pi r_{50}^2$$

skąd

$$r_{50} = \sqrt{\frac{S_w \cdot S_s}{\pi}} = 0,56 \sqrt{S_w \cdot S_s}$$

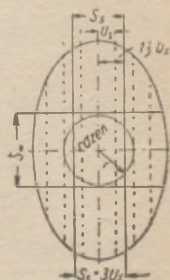
lub

$$r_{50} \cong 0,6 \sqrt{S_w \cdot S_s} \quad (82)$$

Jeśli pasy rozrzutu skutecznego poziomy i pionowy, mają jednakowe wymiary, to $S_w = S_s = S$; wzór przybierze postać

$$r_{50} = 0,6 \sqrt{S_w \cdot S_s} = 0,6 \sqrt{S \cdot S} = 0,6 \sqrt{S^2},$$

$$r_{50} = 0,6 S.$$



Rys. 140. Stosunek szerokości pasów rdzeniowych i promienia koła, zawierającego lepszą połowę trafień.

¹⁾ Nie należy tego koła mylić ze stosowanym u nas określeniem średnicy rozrzutu, czyli średnicy najmniejszego koła obejmującego wszystkie ślady, bez względu na to, gdzie leży środek tego koła (przyp. tłum.).

Dla wyrażenia promienia koła przez uchylenie prawdopodobne zastąpmy szerokość pasa przez odpowiadającą jej ilość uchyień prawdopodobnych.

Ponieważ w przybliżeniu przyjąć możemy, że

$$S = 3 U_p,$$

więc

$$\begin{aligned} r_{50} &= 0,6 \sqrt{S_w \cdot S_s} = 0,6 \sqrt{3 U_w \cdot 3 U_s} = 0,6 \sqrt{9 U_w \cdot U_s} \\ &= 0,6 \cdot 3 \sqrt{U_w \cdot U_s}, \\ r_{50} &= 1,8 \sqrt{U_w \cdot U_s} \quad \dots \quad (83) \end{aligned}$$

Przy dokładniejszych obliczeniach otrzymaliśmy

$$r_{50} = 1,75 \sqrt{U_w \cdot U_s} \quad \dots \quad (83a)$$

Jeśli uchylenia prawdopodobne wzdłuż i w szerz są równe czyli $U_w = U_s = U$, to

$$r_{50} = 1,8 \sqrt{U_w \cdot U_s} = 1,8 \sqrt{U^2},$$

a wówczas wzór przybierze postać

$$r_{50} = 1,8 U \quad \dots \quad (84)$$

Przykład 71. Obliczyć promień koła lepszej połowy trafień, jeśli uchylenia prawdopodobne $U_w = 10$ m, $U_s = 6$ m.

Rozwiązanie. Stosujemy wzór (84)

$$r_{50} = 1,8 \sqrt{U_w \cdot U_s} = 1,8 \sqrt{10 \cdot 6} = 1,8 \sqrt{60} = 1,8 \cdot 7,5 \approx 14 \text{ m.}$$

Dodawanie uchyień prawdopodobnych pochodzących z różnych przyczyn. Wśród ogólnej ilości przyczyn uchyień przypadkowych możemy czasem wyodrębnić poszczególne przyczyny lub też ich grupy. Na przykład przyczynami rozrzutu przy strzelaniu z k. m. są: a) rozrzut broni, b) drgania podstawy, c) różnice w celowaniu. Usuwając wpływ dwóch dowolnych przyczyn możemy określić wielkość rozrzutu spowodowanego trzecią przyczyną.

Ustawiając k. m. na sztywnej podstawie i strzelając ogniem pojedynczym eliminujemy wpływ przyczyn drugiej i trzeciej.

Różnice w celowaniu możemy teraz przestudiować za pomocą specjalnego urządzenia.

Wpływy poszczególnych przyczyn jako przypadkowe nie działają w każdym poszczególnym wypadku w tym samym kierunku, wskutek czego uchylenie prawdopodobne wynikłe pod wpływem działania jednoczesnego wszystkich przyczyn nie może być traktowane jako suma algebraiczna uchyień

prawdopodobnych wywołanych poszczególnymi przyczynami. Teoria błędów podaje sposób dodawania uchyień prawdopodobnych polegający na tym, że dodaje się je tak, jak prostopadłe wektory.

Oznaczając uchylenia prawdopodobne powstałe z poszczególnych przyczyn przez U_1, U_2, U_3 , otrzymamy odchylenie prawdopodobne powstałe z równoczesnego działania wszystkich przyczyn ze wzoru

$$U = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2} \quad (85)$$

Jeśli mamy do czynienia z większą ilością przyczyn, to wzrasta odpowiednio ilość wyrazów pod pierwiastkiem.

Przykład 72. Obliczyć uchylenie prawdopodobne przy strzelaniu z nurkującego samolotu, jeśli poszczególne uchylenia prawdopodobne wynoszą:

- | | |
|--------------------------------|-------------------------|
| 1. wskutek rozrzutu broni | $U_1 = 0,3 \text{ m}$, |
| 2. „ wahań samolotu | $U_2 = 0,8 \text{ m}$, |
| 3. „ celowania całym samolotem | $U_3 = 1,5 \text{ m}$. |

Rozwiązanie.

$$\begin{aligned} U &= \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2} = \sqrt{0,3^2 + 0,8^2 + 1,5^2} = \sqrt{0,09 + 0,64 + 2,25} \\ &= \sqrt{2,98} = 1,7 \text{ m}. \\ U &= 1,7 \text{ m}. \end{aligned}$$

Przykład 73. W wyniku strzelania z samolotu nurkującego otrzymano uchylenie prawdopodobne dla jednej serii $U = 0,8 \text{ m}$; uchylenie prawdopodobne broni wynosi $U_1 = 0,3$. Określić uchylenie prawdopodobne spowodowane wahaniami samolotu U_2 .

Rozwiązanie. Uchyleniem wypadkowym jest uchylenie serii $U = 0,8 \text{ m}$.

$$\begin{aligned} U &= \sqrt{U_1^2 + U_2^2} \text{ lub } U^2 = U_1^2 + U_2^2, \text{ skąd} \\ U_2^2 &= U^2 - U_1^2; U_2 = \sqrt{U^2 - U_1^2} = \sqrt{0,8^2 - 0,3^2} = \sqrt{0,64 - 0,09} \\ &= \sqrt{0,55} = 0,74. \end{aligned}$$

Uchylenie prawdopodobne wskutek wahań samolotu

$$U_2 = 0,74 \text{ m}.$$

Przykłady opracowywania wyników strzelania. Każde strzelanie scharakteryzowane jest odchyleniem środka rozrzutu względem punktu celowania oraz wielkością rozrzutu.

Teoria błędów daje nam metodę opracowywania wyników strzelania dla otrzymania następujących wielkości charakterystycznych:

1. odchylenia środka rozrzutu względem punktu celowania,
2. uchylenia prawdopodobnego rozrzutu,
3. błędu prawdopodobnego w określeniu środka rozrzutu.

Przykład 74. Strzelec po wykonaniu strzelania opracowuje wyniki. Dano 10 strzałów. Cel — tarcza 3×3 m. Punkt celowania — środek tarczy. Tarczowi podali punkty trafień odmierzając je od wybranego przez siebie punktu na tarczy w centymetrach (początek współrzędnych — środek tarczy).

$$Y: -110 + 70 + 10 + 30 - 90 + 110 + 10 + 50 - 30 + 150;$$

$$Z: -120 + 40 + 20 + 60 + 100 - 60 - 60 - 20 + 0 + 140.$$

1. Określamy średnią arytmetyczną odchyleń dla określenia odchylenia środka rozrzutu względem osi współrzędnych.

$$Y_0 = \frac{-110 + 70 + 10 + 30 - 90 + 110 + 10 + 50 - 30 + 150}{10} = + \frac{200}{10} = 20 \text{ cm};$$

$$Z_0 = \frac{-120 + 40 + 20 + 60 + 100 - 60 - 60 - 20 + 0 + 140}{10} = + \frac{100}{10} = 10 \text{ cm}.$$

2. Układamy tabelę obliczeń, przy czym dla skrócenia przechodzimy na decymetry.

$Y - Y_0 = y$	y^2	$Z - Z_0 = z$	z^2
-11 - 2 = -13	169	-12 - 1 = -13	169
+ 7 - 2 = + 5	25	+ 4 - 1 = + 3	9
+ 1 - 2 = - 1	1	+ 2 - 1 = + 1	1
+ 3 - 2 = + 1	1	+ 6 - 1 = + 5	25
- 9 - 2 = -11	121	+ 10 - 1 = + 9	81
+ 11 - 2 = + 9	81	- 6 - 1 = - 7	49
+ 1 - 2 = - 1	1	- 6 - 1 = - 7	49
+ 5 - 2 = + 3	9	- 2 - 1 = - 3	9
- 3 - 2 = - 5	25	0 - 1 = - 1	1
+ 15 - 2 = + 13	169	+ 14 - 1 = + 13	169
	602		562

Obliczamy uchylenie kwadratowe

$$U_{ky} = \sqrt{\frac{y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{602}{9}} = \sqrt{66,89} \cong 8,18;$$

$$U_{kz} = \sqrt{\frac{z_1^2 + z_2^2 + \dots + z_n^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{562}{9}} = \sqrt{62,44} \cong 7,9.$$

Znajdujemy odchylenie prawdopodobne

$$U_{py} = \frac{2}{3} U_k = \frac{2}{3} \cdot 8,18 = 5,46; U_w = 55 \text{ cm};$$

$$U_{pz} = \frac{2}{3} U_k = \frac{2}{3} \cdot 7,9 = 5,27; U_s = 53 \text{ cm}.$$

3. Obliczamy błąd prawdopodobny w określeniu środka rozrzutu

$$R = \frac{U}{\sqrt{n}} = \frac{55}{\sqrt{15}} = \frac{55}{3,16} = 17,4.$$

§ 33. Prawdopodobieństwo trafienia. Zgodnie z podanym w teorii prawdopodobieństwa określeniem ogólnym, *prawdopodobieństwem trafienia* nazywać będziemy stosunek ilości przewidywanych trafień do ilości strzałów, przy czym przewidywania osnute są na większej ilości uprzednich doświadczeń¹).

Prawdopodobieństwo trafienia, na przykład $p = \frac{2}{5}$, wskazuje, że należy przewidywać otrzymanie 2 trafnych na każde pięć danych strzałów.

W praktyce przewidywana ilość trafnych strzałów sprawdzi się bezwzględnie tylko wówczas, jeśli dana będzie duża ilość strzałów. Przy ograniczonej ilości strzałów przewidywania mogą zawieść. Jednak i w tym wypadku prawdopodobieństwo daje pojęcie o przypuszczalnej skuteczności oraz możność sądzenia o celności strzelania w ogóle.

Prawdopodobieństwo trafienia jest to ułamek właściwy; aby wyrazić je w procentach należy ułamek pomnożyć przez sto.

Prawdopodobieństwo trafienia wyrażone w procentach nazywamy również prawdopodobnym procentem trafienia.

Jeśli z obliczeń wypadą, że prawdopodobieństwo równe się jedności lub stu procentom, to trafienie jest pewne, czyli musi zajść bezwzględnie; jeśli natomiast równe się zeru, to trafienie jest niemożliwe.

Wielkość prawdopodobieństwa zależy od:

1. wzajemnego pokrycia się środka rozrzutu ze środkiem celu,
2. wielkości rozrzutu,
3. wymiarów celu.

Obliczenia wykonuje się stosując teorię błędów do rozrzutu; wypadki jakie zachodzą w praktyce rozpatrzemy na przykładach.

Obliczenie prawdopodobieństwa trafienia do celu przy uproszczonym przedstawieniu pola rozrzutu. Przyjmujemy, iż w pasie skutecznego rozrzutu o szerokości $\frac{1}{3}$ pola rozrzutu zawarte jest 70% śladów, a w dwóch bocznych po 15%. Dla dalszego uproszczenia zagadnienia zakładamy, że ślady w obrębie poszczególnych pasów rozłożone są równomiernie.

¹ Takie określenie jest słuszne wówczas gdy rozrzut zbudowany jest prawidłowo, a wielkość jego odpowiada podanej w tabelach strzelniczych; ponadto przewidywania te sprawdzają się jako średnia wielkiej ilości strzałów, a wyniki poszczególnych strzałów mogą nawet bardzo odbiegać od przewidywań (przyp. tłum.).

Obliczenie prawdopodobieństwa trafienia do celu o pewnej szerokości i nieograniczonej długości.

Przykład 75. Cel — kolumna piechoty nieprzyjaciela o szerokości 3 m, wymiar osi elipsy rozrzutu wynosi 30 m, wobec czego szerokość pasa skutecznego rozrzutu $\frac{30}{3} = 10$ m (rys. 141).

Rozwiązanie. Określamy przyjmując równomierne rozłożenie śladów procent prawdopodobieństwa trafienia przypadający na 1 m szerokości

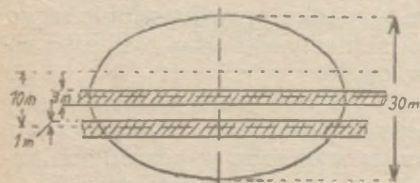
$$\frac{70}{10} = 7\%$$

Procent śladów przypadających na jednostkę wymiaru liniowego lub pola celu zwie się prawdopodobną gęstością trafienia.

Jeśli cel nie wykracza poza obręb pasa skutecznego rozrzutu, to prawdopodobny procent trafienia wynosi

$$7 \cdot 3 = 21.$$

Jeśli cel znajduje się częściowo w pasie skutecznego rozrzutu, częściowo zaś w pasie bocznym, to trzeba obliczyć prawdopodobną gęstość trafienia również w pasie bocznym,



Rys. 141. Obliczenie prawdopodobieństwa trafienia w pas o nieograniczonej długości.

następnie znaleźć sumę procentów trafienia w obu pasach.

Cel w dwóch metrach swej szerokości znajduje się w pasie bocznym, na 1 m zaś w pasie skutecznego rozrzutu.

Prawdopodobna gęstość trafienia w pasie bocznym wynosi

$$\frac{15}{10} = 1,5\%$$

Prawdopodobieństwo trafienia w obie części celu wynosi

$$7 \cdot 1 + 1,5 \cdot 2 = 7 + 3 = 10\%.$$

Obliczenie prawdopodobieństwa trafienia do celu o kształcie prostokąta. Szerokość i długość celu są ograniczone. Dla obliczeń zakładamy najpierw, że cel jest o ograniczonej szerokości lecz o nieograniczonej długości i znajdujemy prawdopodobieństwo trafienia tak jak i dla pasa o nieograniczonej długości; następnie robimy założenie odwrotne obliczając prawdopodobieństwo trafienia w pas o nieograniczonej szerokości a ograniczonej długości. Mnożąc otrzymane wielkości znajdujemy prawdopodobieństwo trafienia w pole utworzone przez przecięcie tych pasów.

Przykład 76. Cel — samolot nieprzyjaciela o powierzchni czułej 2 m². Koło rozrzutu o średnicy 9 m (rys. 142). Obliczyć prawdopodobieństwo trafienia.

Rozwiązanie. Przedstawmy powierzchnię celu w postaci prostokąta o wymiarach 2×1 m. Prawdopodobna gęstość trafienia przy szerokości pasa skutecznego rozrzułu równej $\frac{y}{3} = 3$ m, wyniesie

$$\frac{70}{3} = 23\%.$$

Prawdopodobieństwo trafienia w pas o szerokości 2 m i nieograniczonej długości

$$23 \cdot 2 = 46\%.$$

Prawdopodobieństwo trafienia w pas o długości 1 m. i nieograniczonej szerokości

$$23 \cdot 1 = 23\%.$$

Prawdopodobieństwo trafienia w prostokąt 2×1 m. $0,46 \cdot 0,23 = 0,106$ lub

$$\frac{46 \cdot 23}{100} = 10,6\% \cong 11\%$$

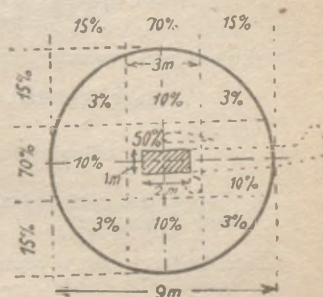
Obliczenie można przeprowadzić innym jeszcze sposobem:

Pole celu $2 \cdot 1 = 2$ m².

Pole skutecznego rozrzułu $3 \cdot 3 = 9$ m².

Prawdopodobieństwo trafienia

$$50 \cdot \frac{2}{9} = 11\%.$$



Rys. 142.

Obliczenie prawdopodobieństwa trafienia w czułą powierzchnię samolotu.

Prawdopodobieństwo trafienia do celu o dowolnym kształcie.

Przykład 77. Cel — sylwetka człowieka; wysokość 1,7 m, szerokość w ramionach 0,6 m; pole całkowite 0,6 m². Średnica koła rozrzułu 12 m.

Rozwiązanie. Szerokość pasa skutecznego rozrzułu $\frac{12}{3} = 4$ m. Pole skutecznego rozrzułu utworzone przez dwa pasy prostopadłe o szerokości 4 m wynosi $4 \cdot 4 = 16$ m². W polu tym zawarte jest w przybliżeniu 50 % trafień, gdyż $0,7 \cdot 0,7 = 0,49 \cong 50$.

Obliczamy gęstość prawdopodobną trafienia

$$\frac{50}{16} = 3,1\%$$

Prawdopodobieństwo trafienia do celu o polu 0,6 m²

$$3,1 \cdot 0,6 = 1,86\%.$$

Gdyby cel nie mieścił się w polu skutecznego rozrzułu, należałoby obliczyć gęstość trafienia w obszarze znajdującym się na zewnątrz tego pola, po czym otrzymałoby się prawdopodobieństwo trafienia jako sumę prawdopodobieństw przypadających na poszczególne części celu.

Prawdopodobieństwo trafienia do celu ruchomego. Rozpatrzmy to na przykładach dla dwóch wypadków:

1. cel porusza się w kierunku strzelca (rys. 143),
2. cel porusza się pod kątem 90° (rys. 144).

W obu wypadkach przyjmujemy, że pole rozrzutu ma postać koła o średnicy równej 0,04 odległości.

Przykład 78. Cel porusza się wprost na strzelca. Początkowa odległość strzelania wynosi 400 m, końcowa 100 m. Powierzchnia czuła celu — 1 m² (rys. 143).

Rozwiązanie. Obliczamy średnicę koła rozrzutu:

$$\text{dla długości 400 m } d = 400 \cdot 0,04 = 16 \text{ m,}$$

$$\text{" " 100 m } d = 100 \cdot 0,04 = 4 \text{ m.}$$

Pole skutecznego rozrzutu

$$\text{dla odległości 400 m } \frac{16}{3} \cdot \frac{16}{3} = \frac{256}{9} = 28,4 \text{ m}^2,$$

$$\text{dla odległości 100 m } \frac{4}{3} \cdot \frac{4}{3} = \frac{16}{9} = 1,8 \text{ m}^2.$$

Prawdopodobna gęstość trafienia i prawdopodobieństwo trafienia do celu o polu 1 m² wynoszą:

$$\text{dla odległości 400 m gęstość } \frac{50}{28,4} = 1,7 \% \text{ na metr kwadratowy,}$$

$$\text{prawdopodobieństwo } 1,7 \cdot 1 = 1,7\%;$$

$$\text{dla odległości 100 m gęstość } \frac{50}{1,8} = 27,7 \% \text{ na metr kwadratowy,}$$

$$\text{prawdopodobieństwo } 27,7 \cdot 1 = 27,7\%.$$

Gęstość trafienia obliczyć można również wychodząc z założenia, że jest ona odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości.

$$\frac{P_{100}}{P_{400}} = \frac{400^2}{100^2} = 16,$$

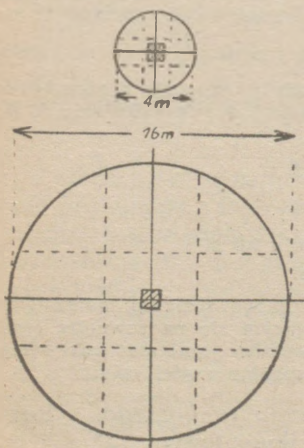
$$P_{100} = P_{400} \cdot 16 = 1,7 \cdot 16 = 27\%.$$

Przeciętne prawdopodobieństwo trafienia znajdziemy jako średnią arytmetyczną prawdopodobieństw trafienia dla poszczególnych odległości

$$\frac{1,7 + 27,7}{2} = \frac{29,4}{2} = 14,7\%.$$

Taki procent uzyskalibyśmy przy ciągłym ogniu prowadzonym od 400 aż do 100 m, czyli w czasie zbliżania się o 300 m.

Obliczenie nie ulegnie zmianie, jeśli założymy, że cel porusza się



Rys. 143. Obliczenie prawdopodobieństwa trafienia w cel zbliżający się lub oddalający.

w kierunku od strzelca, a ogień jest prowadzony z odległości od 100 m do 400 m.

Przykład 79. Cel porusza się pod kątem 90° na odległości 300 m. Rozrzut wynosi 0,03 D. Powierzchnia czuła celu $s = 1,5 \text{ m}^2$.

Rozwiązanie. Obliczamy średnicę koła rozrzutu.

$$300 \cdot 0,03 = 9 \text{ m.}$$

Przedstawmy sobie cel jako prostokąt o wymiarach $1,5 \times 1 \text{ m}$ oraz znajdziemy prawdopodobieństwo trafienia jako średnią prawdopodobieństw dla położenia celu w punktach a , b oraz c (rys. 144).

Gęstość prawdopodobna trafienia dla pasów pionowych o szerokości 3 m

$$\frac{15}{3} = 5\%; \quad \frac{70}{3} = 23\%; \quad \frac{15}{3} = 5\%.$$

Gęstość dla pasa poziomego wynosi

$$\frac{70}{3} = 23\%;$$

Prawdopodobieństwo trafienia w pasy pionowe obramowujące kolejne położenia celu

$$5 \cdot 1,5 = 7,5\%; \quad 23 \cdot 1,5 = 35\%; \quad 5 \cdot 1,5 = 7,5\%.$$

Prawdopodobieństwo trafienia w pas poziomy obramowujący położenia celu

$$23 \cdot 1 = 23\%.$$

Prawdopodobieństwo trafienia w pola utworzone przez przecięcia pasów pionowych z poziomym

$$\frac{7,5 \cdot 23}{100} = 1,7\%; \quad \frac{35 \cdot 23}{100} = 8\%; \quad \frac{7,5 \cdot 23}{100} = 1,7\%;$$

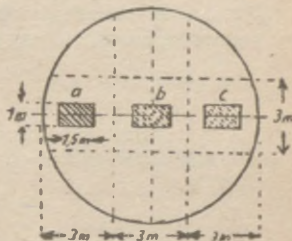
Znajdujemy prawdopodobieństwo trafienia do celu ruchomego jako średnią arytmetyczną prawdopodobieństw trafienia dla poszczególnych położen

$$p = \frac{1,7 + 8,0 + 1,7}{3} = \frac{11,4}{3} = 3,8\%.$$

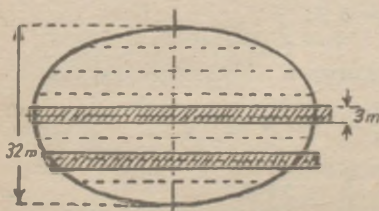
Można byłoby najpierw znaleźć przeciętną wartość prawdopodobieństw trafienia w pasy pionowe, a następnie prawdopodobieństwo trafienia w prostokąt

$$\frac{7,5 + 35 + 7,5}{3} = 16,7\%; \quad \frac{16,7 \cdot 23}{100} = 3,8\%.$$

Obliczenie prawdopodobieństwa trafienia do celu przy zastosowaniu prawa Gaussa. Rozpatrzmy wszystkie wypadki na przykładach.



Rys. 144. Obliczenie prawdopodobieństwa trafienia w cel poruszający się pod kątem 90° .



Rys. 145. Obliczenie prawdopodobieństwa trafienia w pas o nieograniczonej długości przy zastosowaniu do obliczeń prawa Gaussa.

Obliczenie prawdopodobieństwa trafienia do celu o pewnej szerokości i nieograniczonej długości.

Przykład 80. Cel — kolumna nieprzyjaciela o szerokości 3 m. Wymiar osi elipsy rozrzutu 32 m. Środek rozrzutu leży na osi celu (rys. 145). Obliczyć prawdopodobieństwo trafienia przy strzelaniu do kolumny.

Rozwiązanie. Pole rozrzutu mierzy się 8 uchyleniami prawdopodobnymi. Szerokość pasa odpowiadającego 1 uchyleniu prawdopodobnemu wynosi

$$\frac{3}{8} = 4 \text{ m.}$$

W dwóch pasach środkowych zawarte jest 50 % wszystkich trafień, na jednostkę szerokości wypada

$$\frac{50}{2 \cdot 4} = 6,25 \text{ \%}.$$

Na szerokość celu — 3 m wypada trafień

$$6,25 \cdot 3 = 18,75 \text{ \%}.$$

Prawdopodobieństwo trafienia 18,75 %.

Przykład 81. Te same warunki jak w przykładzie poprzednim z tym jednak, że oś kolumny leży na granicy drugiego i trzeciego pasa.

Rozwiązanie. Obliczamy gęstość trafienia i prawdopodobieństwo w obrębie drugiego pasa.

Dzielimy tu cel o szerokości 3 m na dwie połowy, gdyż jedna z nich leży w pasie drugim, druga zaś w pasie trzecim.

$$\text{Prawdopodobna gęstość trafienia } \frac{13}{4} = 4 \text{ \% na } 1 \text{ m}^2.$$

$$\text{Prawdopodobieństwo trafienia } 4 \cdot \frac{3}{2} = 6 \text{ \%}.$$

Obliczamy gęstości i prawdopodobieństwo w obrębie trzeciego pasa:

$$\text{Prawdopodobna gęstość trafienia } \frac{7}{4} = 1,75 \text{ \% na } 1 \text{ m}^2.$$

$$\text{Prawdopodobieństwo trafienia } 1,75 \cdot \frac{3}{2} = 2,6 \text{ \%};$$

Prawdopodobieństwo trafienia w kolumnę

$$6 + 2,6 = 8,6 \text{ \%}.$$

Obliczenie prawdopodobieństwa trafienia do celu o kształcie prostokąta.

Przykład 82. Obliczyć prawdopodobieństwo trafienia w samolot nieprzyjaciela o powierzchni czulej 3 m²; średnica koła rozrzutu — 16 m (rys. 146).

Rozpatrzmy 2 wypadki:

1. środek celu znajduje się w środku rozrzutu,
2. środek celu znajduje się w odległości dwu uchyień prawdopodobnych od środka rozrzutu.

Rozwiązanie. Prawdopodobieństwo trafienia w prostokąt znajdziemy jako iloczyn prawdopodobieństw trafienia w pasy poziomy i pionowy obramowujące prostokąt.

Cel przedstawimy jak prostokąt o wymiarach 3 × 1 m.

1. Środek celu znajduje się w środku rozrzutu.

Prawdopodobieństwo trafienia w dwa pasy środkowe — 50%; gęstość prawdopodobna przy szerokości każdego z pasów równej 2 m wynosi

$$\frac{50}{2+2} = \frac{50}{4} = 12,5\% \text{ na } 1 \text{ m bieżący.}$$

Prawdopodobieństwo trafienia w pas poziomy o szerokości 1 m obramowujący cel

$$12,5 \cdot 1 = 12,5\%.$$

Prawdopodobieństwo trafienia w pas pionowy obramowujący cel

$$12,5 \cdot 3 = 37,5\%.$$

Prawdopodobieństwo trafienia w prostokąt

$$\frac{12,5 \cdot 37,5}{100} = 4,7\%.$$

2. Środek celu znajduje się w odległości 2 uchyień prawdopodobnych od środka rozrzutu.

Prawdopodobieństwo trafienia w 2 środkowe pasy poziome 50%.

Gęstość prawdopodobna przy szerokości każdego z pasów równej 2 m

$$\frac{50}{4} = 12,5\%.$$

Prawdopodobieństwo trafienia w pas 1-metrowy poziomy obramowujący cel

$$12,5 \cdot 1 = 12,5\%.$$

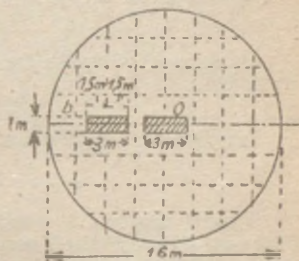
Prawdopodobieństwo trafienia w pas drugi — 16%; gęstość prawdopodobna

$$\frac{16}{2} = 8\% \text{ na metr bieżący.}$$

Podzieliliśmy tu przez 2, gdyż szerokość pasa odpowiadającego 1 uchyleniu prawdopodobnemu równa się $\frac{1}{2}$ średnicy, czyli 2 m.

Prawdopodobieństwo trafienia w pas obramowujący prawą część celu (leżącą w pasie 2).

$$8 \cdot 1,5 = 12\%.$$



Rys. 146. Obliczenie prawdopodobieństwa trafienia w prostokąt (przy zastosowaniu prawa Gaussa).

Prawdopodobieństwo trafienia w pas trzeci pola rozrzutu — 7 %; gęstość prawdopodobna

$$\frac{7}{2} 3,5\% \text{ na metr bieżący.}$$

Prawdopodobieństwo trafienia

$$3,5 \cdot 1,5 = 4,75\% \cong 5\%$$

Prawdopodobieństwo trafienia w pas pionowy obramowujący całą długość celu

$$12 + 5 = 17\%.$$

Prawdopodobieństwo trafienia w prostokąt

$$\frac{12,5 \cdot 17}{100} = 2,1\%.$$

Sposób prostszy i wygodniejszy określenia prawdopodobieństwa trafienia za pomocą tabeli przytoczony jest niżej.

Prawdopodobieństwo trafienia do celu o zarysie dowolnym.

W wypadku gdy wymiary celu są niewielkie, a gabaryt jego nie wykracza poza obręb prostokąta utworzonego przez dwa przecinające się pasy, prawdopodobieństwo trafienia może być obliczone na podstawie gęstości pokrycia prostokąta. Jeśli zaś cel jest większy, a wymagana jest większa dokładność obliczeń, to prawdopodobieństwo wyznaczone jest sposobem wykreślonym za pomocą siatki rozrzutu kołowego. Siatka rozrzutu kołowego podana jest na rys. 139.

Przykład 83. Obliczyć prawdopodobieństwo trafienia w samochód przyjmując, iż powierzchnia czuła wynosi $1,5 \text{ m}^2$ a gabaryt celu około $2 \times 4 \text{ m}$. Średnica koła rozrzutu 24 m . (rys. 147).

Rozwiązanie. Szerokość pasa odpowiadająca uchyleniu prawdopodobnemu wynosi:

$$U_p = \frac{24}{8} = 3 \text{ m.}$$

Przyjmując, iż środek celu leży w środku rozrzutu stwierdzimy, że samochód mieści się wewnątrz prostokąta $6 \times 6 \text{ m}$ utworzonego przez przecięcie dwóch par pasów środkowych rozrzutu.

Prawdopodobieństwo trafienia w ten prostokąt

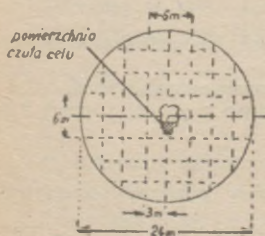
$$\frac{50 \cdot 50}{100} = 25\%.$$

Prawdopodobna gęstość trafienia

$$\frac{25}{36} = 0,7\% \text{ na mert kwadratowy.}$$

Prawdopodobieństwo trafienia w powierzchnię czułą samochodu

$$0,7 \cdot 1,5 = 1,05\%.$$



Rys. 147. Prawdopodobieństwo trafienia w samochód.

Przykład 84. Obliczyć prawdopodobieństwo trafienia w samolot, którego wymiary podane są na rys. 148. Średnica koła rozrzutu 8 m.

Rozwiązanie. Wykreślamy siatkę rozrzutu kołowego w pewnej skali, następnie w tej samej skali wyrysujemy samolot. Mając prawdopodobieństwa trafienia w poszczególne prostokąty obliczamy prawdopodobieństwa trafienia w poszczególne elementy celu leżące w tych prostokątach. Dodając te prawdopodobieństwa otrzymamy prawdopodobieństwo trafienia do celu.

Na rys. 148 podany jest rozkład poszczególnych elementów powierzchni czułej samolotu w stosunku do prostokątów siatki rozrzutu.

Silnik zajmuje połowy górnych i dolnych prostokątów o prawdopodobieństwach trafienia 6,25 i 4 %.

Pilot zajmuje czwartą część górnego i czwartą część dolnego prostokąta ale o prawdopodobieństwach trafienia 1,75 %, obserwator podobnie jak i pilot zajmuje czwartą część górnego i czwartą część dolnego prostokąta ale o prawdopodobieństwach trafienia 0,5 %.

Prawdopodobieństwo trafienia w silnik

$$P_1 = \frac{6,25}{2} + \frac{6,25}{2} + \frac{4}{2} + \frac{4}{2} = 6,25 + 4 = 10,25.$$

Prawdopodobieństwo trafienia w pilota

$$P_2 = \frac{1,75}{4} + \frac{1,75}{4} = 0,87\%.$$

Prawdopodobieństwo trafienia w obserwatora

$$P_3 = \frac{0,5}{4} + \frac{0,5}{4} = 0,25\%.$$

Prawdopodobieństwo trafienia w jeden z elementów czułych samolotu

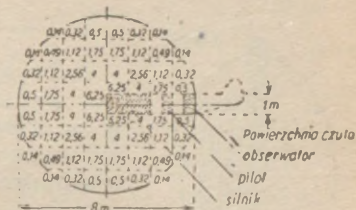
$$P = P_1 + P_2 + P_3 = 10,25 + 0,87 + 0,25 = 11,37\%.$$

Obliczenie prawdopodobieństwa trafienia za pomocą tabel.

Obliczenie za pomocą tabel jest dokładniejsze niż za pomocą siatki rozrzutu kołowego, a w pewnych wypadkach również i prostsze. Tabele ułożone są na podstawie krzywej Eulera.

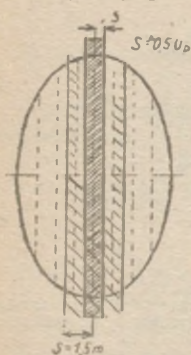
Przy obliczeniach odmierzono w prawo i w lewo od osi po 0,01 U_p , 0,002 U_p , 0,03 U_p itd., aż do 5 U_p i otrzymano pasy o szerokości 0,02 U_p , 0,04 U_p ; określono procent prawdopodobny dla każdego z tych pasów. Wyniki zestawione są w tabeli zawierającej 2 rubryki (dodatek 5).

Rubryka lewa podaje ile uchyień prawdopodobnych znajduje się między osią elipsy i granicą wziętego pasa; wielkość ta



Rys. 148.
Zastąpienie gabarytu celu przez prostokąty i obliczenia prawdopodobieństwa trafienia.

podana jest jako stosunek odległości między granicą pasa a osią elipsy do uchylenia prawdopodobnego U_p czyli



Rys. 149. Pasy o szerokości 1 m i 3 m przechodzące przez środek elipsy rozrzutu.

Rubryka prawa podaje prawdopodobieństwo trafienia w pas, środek którego leży w osi elipsy a granice oddalone są od środka w prawo i w lewo o wielkość wskazaną w rubryce pierwszej.

Na rys. 149 przedstawiony jest pas, którego linia środkowa jest zarazem osią elipsy a granice oddalone są od osi o $S = 0,5 U_p$.

Zajrzmy do tabeli gdzie znajdziemy w lewej rubryce liczbę 0,50 a w prawej odpowiadającą jej liczbę 0,265. Prawdopodobieństwo trafienia w ten pas wynosi więc 0,265 lub też wyrażając w procentach (czyli mnożąc przez 100) — 26,5%.

Na tymże samym rysunku podany jest również pas szerszy, którego granica oddalona jest o $S_1 = 1,5 U_p$.

W tabeli dla 1,50 mamy prawdopodobieństwo 0,688, czyli 68,8%.

Jeśli granica oddalona jest o $2 U_n$, to prawdopodobieństwo wynosi 0,822, czyli w przybliżeniu 82%. Liczba ta jest nam już znana z rozważań poprzednich jako suma prawdopodobieństw odpowiadających czterem pasom o szerokości łącznej $4 U_p = 16 + 25 + 25 + 16 = 82\%$.

Rozpatrzmy teraz kilka przykładów bardziej skomplikowanych dla wypadków, gdy środek pasa nie leży w osi elipsy rozrzutu.

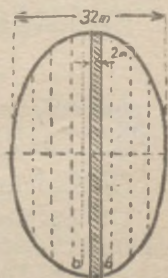
Przykład 85. Obliczyć prawdopodobieństwo trafienia do celu o szerokości 2 m. Wymiar elipsy rozrzutu 32 m. Środek rozrzutu znajduje się na granicy celu (rys. 150).

Rozwiązanie. Cel zajmuje połowę szerokości pasa ab. Znajdujemy uchylenie prawdopodobne¹⁾

$$\frac{32}{8} = 4 \text{ m.}$$

Znajdujemy stosunek oddalenia granicy pasa od osi elipsy do uchylenia prawdopodobnego

$$\frac{S}{U_p} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2} = 0,5.$$



Rys. 150. Przykład obliczenia prawdopodobieństwa trafienia za pomocą tabel: jedna z granic celu pokrywa się z osią elipsy.

¹⁾ Dokładniejsza jest metoda polegająca na obliczaniu wielkości uchylenia prawdopodobnego jako połowy rozrzutu 50 % wziętego z tabel (przyp. tłum.).

W tabeli w rubryce $\frac{S}{U_p}$ dla $\frac{S}{U_p} = 0,5$ mamy prawdopodobieństwo trafie-

nia $p = 0,26$; dotyczy to pasa o szerokości ab , ponieważ cel nasz stanowi połowę szerokości tego pasa, więc prawdopodobieństwo trafienia

$$\text{do celu wynosi } \frac{0,26}{2} = 0,13$$

W wypadku gdy cel znajduje się z boku od osi elipsy prawdopodobieństwo trafienia oblicza się jako różnicę pomiędzy prawdopodobieństwami trafienia w pasy: ograniczony zewnętrzną granicą celu oraz ograniczony wewnętrzną granicą celu.

Przykład 86. Cel o szerokości 6 m przechodzi przez elipsę rozrzutu w ten sposób, że granica jego oddalona jest od osi elipsy o 1 uchylenie prawdopodobne. Wymiar osi elipsy — 24 m (rys. 151). Obliczyć prawdopodobieństwo trafienia do celu.

Rozwiązanie. Uchylenie prawdopodobne wynosi $\frac{24}{8} = 3$ m. Ponieważ jedna z granic celu oddalona jest od osi o 3 m, więc druga oddalona jest o $3 + 6 = 9$ m.

Znajdujemy stosunek między oddaleniem granic a uchyleniem prawdopodobnym, a następnie z tabel bierzemy odpowiednie prawdopodobieństwa trafienia.

Dalsza granica $\frac{S}{U_p} = \frac{9}{3} = 3$; $p_1 = 0,96$ (prawdopodobieństwo trafienia

w pas o podwójnej szerokości oddalenia).

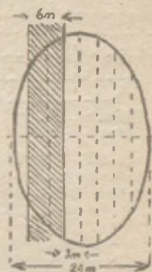
Bliższa granica $\frac{S}{U_p} = \frac{3}{3} = 1$; $p_2 = 0,50$.

Prawdopodobieństwo trafienia do celu

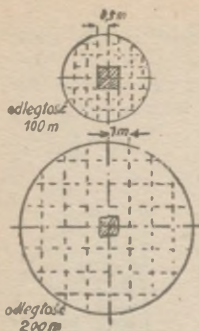
$$p = \frac{p_1 - p_2}{2} = \frac{0,96 - 0,50}{2} = \frac{0,46}{2} = 0,23.$$

Prawdopodobieństwo trafienia do celu o kształcie prostokąta znajdziemy na podstawie prawdopodobieństw odpowiadających pasom, których przecięcie tworzy ten prostokąt; stosujemy znany nam już sposób mnożenia prawdopodobieństw.

Prawdopodobieństwo trafienia do celu ruchomego. Rozpatrzmy to na przykładzie dla wypadków: ruchu celu w kierunku strzelca oraz ruchu przy kursie względnym celu równym 90° .



Rys. 151. Przykład obliczenia prawdopodobieństwa trafienia za pomocą tabel; granice celu oddalone są od osi elipsy: wewnętrzna o 3 m, a zewnętrzna o 9 m.



Rys. 152. Szcik do obliczenia prawdopodobieństwa trafienia w cel idący na strzelca.

Przykład 87. (rys. 152). Cel porusza się w kierunku strzelca; odległość początkowa strzelania 200 m, końcowa 100 m. Średnica koła rozrzutu wynosi 0,04 odległości. Powierzchnia czuła celu wynosi 1 m².

Rozwiązanie. Obliczamy średnice kół rozrzutu oraz uchylenia prawdopodobne.

Dla odległości 200 m : $200 \cdot 0,04 = 8 \text{ m}$; $U_p = 1 \text{ m}$.

" " 100 m : $100 \cdot 0,04 = 4 \text{ m}$; $U_p = 0,5 \text{ m}$.

Stosunek $\frac{S}{U_p}$: dla 200 m = 0,5; dla 100 m = 1.

Prawdopodobieństwo trafienia dla odległości 200 m.

$$P_{200} = \frac{26,5 \cdot 26,5}{100} = 7,02\%, \text{ (z tabeli 5 dla } \frac{S}{U_p} = 0,5; p = 0,265).$$

Dla odległości 100 m $p_{100} = \frac{50 \cdot 50}{100} = 25\%$, (z tabeli 5

dla $\frac{S}{U_p} = 1, p = 0,50$).

Prawdopodobieństwo trafienia przy strzelaniu między 200 a 100 m

$$p = \frac{p_{200} + p_{100}}{2} = \frac{6,76 + 25}{2} = \frac{31,76}{2} = 15,9\%.$$

Przykład 88 (rys. 153). Cel porusza się kursem względnym 90° na odległości 300 m. Powierzchnia czuła celu 1,5 m². Średnica koła rozrzutu: $300 \cdot 0,04 = 12 \text{ m}$. Uchylenie prawdopodobne $U_p = 1,5 \text{ m}$.

Rozwiązanie. Przy strzelaniu cel ruchomy musi przejść przez całe pole rozrzutu. Prawdopodobieństwo trafienia określimy jako średnią wartość prawdopodobieństw trafienia dla każdego z pasów rozrzutu. Wystarczy tu wzięcie średniej dla 4 pasów, gdyż pozostałe 4 są symetryczne.

Prawdopodobieństwa trafienia w pasy pionowe o szerokości celu są identyczne z liczbami Gaussa, gdyż największy wymiar celu jest równy uchyleniu prawdopodobnemu

25 %, 16 %, 7 %, 2 %.

Prawdopodobieństwo trafienia w pas poziomy obramowujący cel

$$\frac{50}{3} \cdot 1 = 17\%.$$

Prawdopodobieństwo trafienia w cel przy przebywaniu przezeń:

pasa 1. pola rozrzutu

$$\frac{25 \cdot 17}{100} = 4,25\%;$$

pasa 2. pola rozrzutu

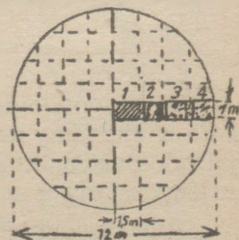
$$\frac{16 \cdot 17}{100} = 2,7\%;$$

pasa 3. pola rozrzutu

$$\frac{7 \cdot 17}{100} = 1,2\%;$$

pasa 4. pola rozrzutu

$$\frac{17 \cdot 2}{100} = 0,3\%.$$



Rys. 153. Szcik do obliczenia prawdopodobieństwa trafienia w cel poruszający się kursem względnym 90°.

Prawdopodobieństwo trafienia do celu ruchomego

$$p = \frac{4,3 + 2,7 + 1,2 + 0,3}{4} = \frac{8,5}{4} = 2,1\%$$

W sposób prostszy można obliczyć prawdopodobieństwo za pomocą wzoru

$$p = \frac{(25 + 16 + 7 + 2) \cdot 17}{4 \cdot 100} = \frac{50 \cdot 17}{4 \cdot 100} = 2,1\%$$

Zauważmy, że prawdopodobieństwo trafienia do celu ruchomego przebywającego całą elipsę rozrzutu jest zawsze 2 razy mniejsze niż do celu nieruchomego pod warunkiem, że celowanie nie pogorszy się.

Gdyby cel był nieruchomy a środek jego leżał w środku rozrzutu, to prawdopodobieństwo trafienia wyniosłoby

$$\frac{25 \cdot 17}{100} = 4,2\%$$

Porównując prawdopodobieństwa trafienia do celu nieruchomego i do celu ruchomego — 4,2 % oraz 2,1 % zauważymy, że wynik w ostatnim wypadku jest dwa razy gorszy. W rzeczywistości pogorszenie wystąpi w jeszcze większym stopniu, gdyż warunki celowania pogarszają się i rozrzut szybko wzrasta.

Pytania z rozdziału czwartego:

1. Jakie przyczyny odchylenia toru zwą się przypadkowymi? Jakie są przyczyny stałe?
2. Co nazywamy rozrzutem strzałów, wiązką torów, polem rozrzutu?
3. Na czym polega prawo rozrzutu?
4. W jakim stosunku procentowym układają się punkty trafienia przy podziale elipsy na pasy równe uchyleniu prawdopodobnemu?
5. Jakie uchylenie nazywa się prawdopodobnym, jak się je oznacza?
6. Jak się wyznacza wykreślnie środek rozrzutu przy większej ilości strzałów?
7. Jak się wyznacza wykreślnie środek rozrzutu przy ograniczonej ilości strzałów?
8. Jaki podział elipsy na pasy stosuje się przy uproszczonym sformułowaniu prawa rozrzutu?
9. Jak określa się procent trafień w prostokąt?
10. Jakie zagadnienia rozważa teoria prawdopodobieństwa?
11. Co nazywamy prawdopodobieństwem zdarzenia?
12. Kiedy zdarzenie jest pewne a kiedy niemożliwe? Jakie zdarzenia nazywamy prostymi, złożonymi, wykluczającymi się nawzajem oraz przeciwnymi?
13. W jakich wypadkach stosuje się twierdzenie o sumie i w jakich twierdzenie o iloczynie?
14. Jak oblicza się prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia co najmniej 1 raz?

15. Co to jest częstotliwość zdarzenia i czym się ona różni od prawdopodobieństwa?
16. Jak oblicza się przypuszczalny wynik na podstawie wartości prawdopodobnej?
17. Jak obliczyć ilość niezbędnych strzałów dla otrzymania żądanej ilości trafień?

Pytania z teorii błędów:

18. Jakie zagadnienia rozważa teoria błędów? Na czym polega prawo błędów przypadkowych?
19. Jak się określa uchylenie przeciętne i uchylenie kwadratowe? Napisać liczby Gaussa.
20. Jak znaleźć promień koła zawierającego lepszą połowę trafień?
21. Jak się dodaje błędy pochodzące z różnych przyczyn?
22. Jak się układa i stosuje tabelę dla obliczenia prawdopodobieństwa trafienia (dodatek 5)?

ROZDZIAŁ V

WYPADKI SZCZEGÓLNE STRZELANIA.

§ 34. Celowanie za pomocą pierścienia w wypadku gdy rzeczywista szybkość celu nie odpowiada szybkości przyjętej dla obliczeń celownika. Rozpoznając typ samolotu nieprzyjaciela możemy w pewnych wypadkach stwierdzić, że szybkość celu nie odpowiada tej szybkości, dla jakiej obliczony został pierścień celowniczy. Wówczas trzeba zwiększyć lub zmniejszyć na oko promień pierścienia proporcjonalnie do zmiany szybkości.

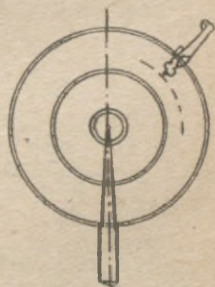
Na przykład: ma się odbyć strzelanie do samolotu liniowego o szybkości 200 km/godz, podczas gdy promień pierścienia celowniczego obliczony został dla 270 km/godz; ponieważ szybkość rzeczywista celu jest mniejsza od szybkości przyjętej dla obliczeń mniej więcej o $\frac{1}{4}$, więc $270 \cdot \frac{1}{4} = 67,5 \cong 70$ km/godz, czyli promień pierścienia trzeba zmniejszyć w myśli o jedną czwartą (rys. 154). Poprawka kątowa będzie wynosiła 75 tysięcznych a nie 100 tysięcznych jak przewiduje konstrukcja celownika.

Obliczenie wykonuje się w przybliżeniu, gdyż dokładne określenie szybkości celu na oko jest niemożliwe. Z tego względu nie należy stosować do obecnych celowników jakichkolwiek urządzeń uwzględniających szybkość celu.

Przy obliczeniach korzystamy ze wskazówki zawartej w § 27 określającej, że promień pierścienia zmienia się proporcjonalnie do szybkości celu.

Oznaczając długość promienia celownika przez R , szybkość, dla której został on obliczony, przez V_c , szybkość rzeczywistą celu przez V'_c , a promień określany przez R' , możemy napisać

$$\frac{R'}{R} = \frac{V'_c}{V_c}$$



Rys. 154. Celowanie celownikiem pierścieniowym w wypadku gdy szybkość rzeczywista celu jest mniejsza od założonej o $\frac{1}{4}$.

lub

$$R' = R \frac{V'_c}{V_c} \quad (86)$$

Przykład 89. Szybkość rzeczywista celu wynosi 300 km/godz. a pierścień celownika obliczony został na 240 km/godz. Jak należy zmienić promień celowania?

Rozwiązanie.

$$R' = R \frac{V'_c}{V_c} = R \frac{300}{240} = 1 \frac{1}{4} R,$$

a więc należy zwiększyć promień o $\frac{1}{4}$. Wobec tego, że szybkość określana jest na oko, promień również zwiększa się na oko bez pomocy jakichkolwiek urządzeń dodatkowych.

Strzelanie przy kursach równoległych i zgodnych. Przy ruchu wzdłuż kursów równoległych i zgodnych szybkość celu względem strzelca równa się różnicy ich szybkości. Jeśli szybkości te są równe, to cel wydaje się strzelcowi nieruchomy.

W tym wypadku oraz przy małej różnicy szybkości (do 10 km/godz.) przeniesienie liniowe równe jest w przybliżeniu wyprzedzeniu, wobec czego możliwe jest takie celowanie jakiego wykonuje się przy celu nieruchomym. W warunkach bojowych wypadek taki zająć może przy atakowaniu przez samoloty dwumiejscowe myśliwskie ugrupowania samolotów liniowych lub bombardujących.

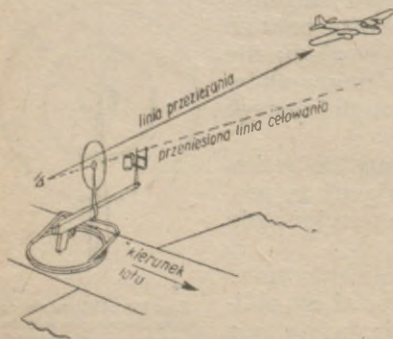
Ponieważ odległość walki i kurs względny myśliwcy wybrać mogą zawczasu (w rękach myśliwców jest bowiem inicjatywa walki) możliwe jest stosowanie dokładnych obliczeń.

Obliczenia te można wykonać zarówno dla wypadku użycia muszki wiatrowej jak i dla użycia słupka nieruchomego muszki do celowania.

Przykład 90. Zamierzone jest strzelanie do celu o szybkości $V_c = 180$ km/godz. z odległości 300 m.

Szybkość samolotu własnego wynosi również 180 km/godz.

Rozwiązanie. A. Celowanie odbywa się za pomocą muszki wiatrowej (rys. 155); szybkość własna



Rys. 155. Celowanie za pomocą muszki wiatrowej przy kursach równoległych.

jest uwzględniona automatycznie przez muszkę wiatrową.

1. Wyznaczenie wyprzedzenia dla odległości 600 m

$$S = V_c \cdot t = 50 \cdot 0,95 = 47,5 \approx 48 \text{ m.}$$

2. Wyznaczenie wyprzedzenia kąтового

$$V = \frac{S}{D} \cdot 1000 = \frac{48}{600} \cdot 1000 = 80 \text{ tysięcznych.}$$

3. Ponieważ promień pierścienia odpowiada wyprzedzeniu 100 tysięcznych, należy wziąć punkt celowniczy wewnątrz pierścienia w odległości $\frac{4}{5}$ od środka (ponieważ $\frac{80}{100} = \frac{4}{5}$) i prowadzić ogień częstymi, krótkimi seriami.

B. Celowanie odbywa się za pomocą słupka nieruchomego muszki (rys. 156). Wielkość wyprzedzenia jest nam już znana: $S = 48 \text{ m.}$

1. Wyznaczenie przeniesienia pocisku przy odległości 600 m

$$A = \frac{D \cdot V}{v_0} = \frac{600 \cdot 50}{840} = 35,7 \approx 36 \text{ m.}$$

2. Różnica między wyprzedzeniem a przeniesieniem

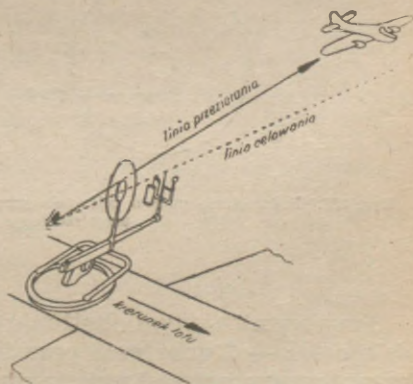
$$S - A = 48 - 36 = 12 \text{ m.}$$

3. Określenie poprawki kątowej odpowiednio do otrzymanej różnicy

$$V = \frac{S - A}{D} \cdot 1000 = \frac{12}{600} \cdot 1000 = 20 \text{ tysięcznych.}$$

4. Wobec tego, że pierścień daje wyprzedzenie 100 tysięcznych, dla dania wyprzedzenia 20 tysięcznych trzeba wybrać punkt celowniczy wewnątrz pierścienia w odległości $\frac{1}{5}$ promienia i prowadzić ogień częstymi, krótkimi seriami.

Strzelając przy kursach równoległych i zgodnych należy wybierać punkt celowania w środku czułej powierzchni celu (a nie z przodu celu jak wynika z reguły zastosowania celownika pierścieniowego). Należy mieć na względzie, że stosowanie nieruchomego słupka muszki przy strzelaniu w locie powinno mieć miejsce tylko w wypadkach wyjątkowych, czyli w takich jak podaje przykład B lub też wówczas, gdy muszka wiatrowa działa nieprawidłowo (na przykład przy dużych kątach położenia powyżej 70°). We wszystkich innych wypadkach, zwłaszcza przy kursach przecinających się, korzystanie ze słupka nieruchomego jest źródłem dużych błędów a więc powoduje chybienia. Jest rzeczą bardzo szkodliwą przyzwyczajanie się do strzelania z nieruchomego słupka muszki.

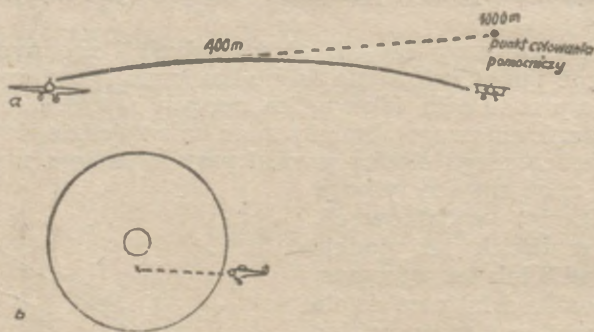


Rys. 156. Celowanie za pomocą słupka nieruchomego przy kursach równoległych i zgodnych.

czajanie się w warunkach wyszkoleniowych do celowania za pomocą słupka nieruchomego, gdyż w warunkach bojowych sprawiłoby to ciągłe mylenie słupka nieruchomego i właściwej muszki wiatrowej i opóźnianie strzelania z powodu wahania się w wyborze słupka.

Strzelanie na duże odległości. Przy obecnych przyrządach celowniczych stosowanych w k. m. lotniczych odległości powyżej 600 m uważane są za duże. Na odległości do 600 m możliwe jest strzelanie przy stałym kącie celownika bez wprowadzania jakichkolwiek poprawek na obniżenie pocisku na torze. Przy zwiększaniu odległości obniżenie pocisku staje się na tyle znaczne, że średni tor nie przechodzi już przez cel. Jeśli broń jest przystrzelana na odległość 400 m, to obniżenie pocisku w stosunku do linii celowania wynosi dla odległości 800 m — 5,5 m, dla odległości 1000 m — 12,9 m.

Uchylenie prawdopodobne przy strzelaniu w locie przyjmuje się za równe 0,005 D; dla 800 m wynosi to 4 m a dla 1000 m — 5 m.



Rys. 157. Podniesienie punktu celowania przy strzelaniu na odległość 1000 m z k. m. przystrzelnego na 400 m.

Przy wymienionym obniżeniu punktów toru średni tor przejdzie o $1\frac{1}{2}$ — 2 uchylenia prawdopodobne poniżej celu, wobec czego beżytecznie traci się najwydatniejszą część pola rozrzutu — pole skutecznego rozrzutu a rażenie celu staje się mało prawdopodobne.

Aby środek rozrzutu skierować w cel trzeba podnieść punkt celowania nad cel. Cel pomocniczy znaleźć się powinien przed celem na wysokości odpowiadającej obniżeniu. Dla odległości 800 m wynosi to 5 m a dla 1000 m — 13 m (zaokrąglając podane wyżej liczby).

Poprawki takie można odkładać korzystając z wymiarów celu jako miary porównawczej, posługując się na przykład wysokością i długością kadłuba po uwzględnieniu skrótu sylwetki (rys. 157a).

Jednak ze względu na brak powiększenia w celownikach lotniczych korzystanie z wymiarów celu jest utrudnione a łatwiejsze jest danie poprawki kątowej uwzględniającej obniżenie pocisku.

Poprawkę kątową obliczamy na podstawie kątów rzutu. Z tabeli umieszczonej w dodatku 2 otrzymujemy:

Odległość	Kąt rzutu
400 m	3,7 tysięcznych,
800 m	10,5 "
1000 m	16,4 "

Jeśli więc broń przystrzelana jest na 400 m a strzelanie odbywa się na odległości większe, to:

1. przy odległości 800 m trzeba zwiększyć kąt celownika o $10,5 - 3,7 = 6,8 \approx 7$ tysięcznych;
2. przy odległości 1000 m trzeba zwiększyć kąt celownika o $16,4 - 3,7 = 12,7 \approx 13$ tysięcznych.

Znając oddalenie celownika od oka można obliczyć przesunięcie punktu celowniczego w pierścieniu.

Przy $d = 470$ mm na przykład, przesunięcie to wyniesie

$$1. \text{ dla } 800 \text{ m: } \frac{470 \cdot 7}{1000} = 3,29 \approx 3 \text{ mm,}$$

$$2. \text{ dla } 1000 \text{ m: } \frac{470 \cdot 13}{1000} = 6,1 \approx 6 \text{ mm.}$$

Należy pamiętać, że linia celowania musi przejść nad celem, wobec czego punkt celowniczy wewnątrz pierścienia kierowany na cel (rys. 157 b) musi leżeć poniżej środka pierścienia, kulka muszki powinna kryć środek pierścienia (poza celow-

nikami o niezależnym oddaleniu). Przy strzelaniu z wyprzedzeniem cel powinien być skierowany nie do środka pierścienia lecz do nowoobranego punktu przesuniętego w dół o obliczoną odległość.

Przy celowniku optycznym przesunięcie oblicza się nie w milimetrach a w częściach promienia, którego wielkość kątowna jest znana.

Podane tu obliczenia muszą być wykonane przed lotem.

Systematyczne szkolenie w celowaniu do samolotów — modeli powinno wyrobić przyzwyczajenie do szybkiego i dokładnego uwzględnienia przesunięcia punktów celowniczych odpowiednio do odległości i skrótu sylwetki celu. W każdym wypadku wymagane jest określenie odległości do celu.

Przy obliczeniach dla strzelania na dużych wysokościach kąt rzutu powinien być wzięty odpowiednio do wysokości lotu (patrz § 16). Kąt wyznaczony przez przystrzelanie pozostaje bez zmiany i wynosi dla 400 m = 13' lub 3,7 tysięcznych, trzeba więc dać właściwą poprawkę kątową w tysięcznych. Przytoczona tu tabela podaje poprawki jakie trzeba brać na wysokościach 4000 m i 6000 m dla odległości 1000 m przy broni przystrzelanej na 400 m na ziemi.

Wysokość	Odległość	Kąt rzutu	Poprawka
4000 m	1000 m	38' = 11,2 tys.	11,2 — 3,7 $\cong$ 8 tys.
6000 m	1000 m	34' = 9,9 tys.	9,9 — 3,7 $\cong$ 6 tys.

Obliczenia te są ważne dla strzelania przy kątach położenia nie przekraczających 30°. Przy większych kątach położenia kąt celownika maleje; określamy go ze wzoru (14):

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cos \sigma.$$

Przypuśćmy, że strzelamy pod kątem położenia 60° na odległość 1000 m lecąc tuż przy ziemi. Z tabel wiemy, że kąt celownika dla strzelania przy ziemi na odległość 1000 m $\varepsilon_0 = 16,4$ tys.

Przy strzelaniu na 1000 m, przy kącie położenia 60°

$$\varepsilon = \varepsilon \cos \sigma = 16,4 \cos 60^\circ = 16,4 \cdot 0,5 = 8,2 \text{ tys.}$$

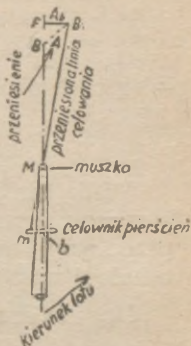
Dla strzelania na 1000 m, przy kącie położenia 60° kąt celownika wynosi więc 8,2 tysięcznych.

Celownik broni przystrzelanej na 400 m odpowiada kątowi celownika 3,7 tys. Wówczas poprawka na obniżenie toru przy dużych odległościach wyniesie

$$8,2 - 3,7 = 4,5 \text{ tysięcznych}$$

(podczas gdy przy strzelaniu w poziomie wynosi 13 tysięcznych).

Jeśli celownik ma skalę odległości i może być nastawiany, to konieczność obliczeń odpada. Po określeniu bowiem odległości ustawia się odpowiednio celownik uważając przez cały czas, by ustawienie to odpowiadało w każdej chwili właściwej odległości.



Rys. 158. Przesunięcie punktu celowniczego w celowniku dla uwzględnienia przeniesienia przy użyciu muszki nieruchomej.

Strzelanie z k. m. ruchomego za pomocą celownika pierścieniowego i muszki nieruchomej. W wypadku, gdy muszka ruchoma nie może dać prawidłowej poprawki, jak np. przy strzelaniu w pionie, należy posługiwać się przy celowaniu słupkiem nieruchomym muszki. W takich wypadkach najwygodniej jest odstąpić od ogólnej zasady celowania — „kulka muszki kryje zawsze środek pierścienia” i w pierścieniu celowniczym wybrać inny punkt, który ma kryć muszkę; sposób ten jest wygodniejszy niż wybór fikcyjnego celu pomocniczego.

Z podobieństwa trójkątów mMb i MFB , (rys. 158) znajdziemy

$$\frac{bm}{B_1F} = \frac{bM}{MF'}$$

bM jest przesunięciem punktu celowniczego pokrywającego muszkę w płaszczyźnie pierścienia; przesunięcie to oznaczymy przez r' ; B_1 przeniesienie boczne A_b ; bM długość linii celownika; MF traktujemy jako odległość strzału do punktu B (pomijając długość odcinka BF jako bardzo małą w porównaniu z odległością strzału; oznaczymy ją przez D).

Podstawiając te oznaczenia do wzoru otrzymamy

$$\frac{r'}{A_b} = \frac{l}{D}.$$

Rozwiązując równanie względem r' i zastępując A_h jego wartością ze wzoru (18)

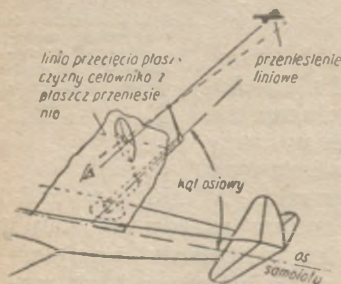
$$r' = \frac{l}{D} \cdot \frac{D \cdot V}{v_0} \sin i$$

lub po skróceniu przez D

$$r' = \frac{l \cdot V}{v_0} \sin i \quad (36 a)$$

Wzór ten jest identyczny ze wzorem (36) z tym jednak, że kierunek promieniowy przesunięcia punktu celowniczego jest przeciwny do kierunku promienia *muszki pierścieniowej*, o której mowa była poprzednio.

Do użytku praktycznego oblicza się z góry wyraz $\frac{l \cdot V}{v_0}$



Rys. 159. Uwzględnienie przeniesienia bez użycia muszki wiatrowej.

który występuje jako współczynnik stały a następnie zależnie od wielkości kąta osiowego bierze się odpowiednią część tego współczynnika.

Dokładne położenie promienia, na którym znaleźć się powinien punkt celowniczy, określiłoby się po uwzględnieniu kąta nachylenia płaszczyzny przeniesienia. W praktyce jednak promień ten określa się na oko. Strzelec prowadzi w myśli płaszczyznę przez oś samolotu i środek pierścienia.

Wyobrażalna prosta przecięcia płaszczyzny tej z płaszczyzną pierścienia jest poszukiwanym promieniem. Przesunięcie muszki wykonuje się zawsze w kierunku ogona własnego samolotu (rys. 159).

Przykład 91. Oznaczyć na pierścieniu punkty celownicze, które powinny kryć się z muszką dla kątów osiowych 15° , 30° , 50° , 90° .

$$V = 50 \text{ m/sek.}$$

$$l = 400 \text{ mm,}$$

$$v = 800 \text{ m/sek.}$$

Rozwiązanie. Stosujemy wzór (36a).

Współczynnik stały wyniesie

$$\frac{l \cdot V}{v_0} = \frac{400 \cdot 50}{840} = 24.$$

Przesunięcie punktu celowniczego kryjącego się z muszką przedstawimy w formie tabeli:

Kąt osiowy i	$\sin i$	Przesunięcie
15°	$\frac{1}{4}$	$r' = 24 \cdot \frac{1}{4} = 6 \text{ mm}$
30°	$\frac{1}{2}$	$r' = 24 \cdot \frac{1}{2} = 12 \text{ mm}$
50°	$\frac{3}{4}$	$r' = 24 \cdot \frac{3}{4} = 18 \text{ mm}$
90°	1	$r' = 24 \cdot 1 = 24 \text{ mm}$

Celowanie wykonane za pomocą pierścienia zmienia kierunek broni, dlatego że muszka jest przesunięta względem środka pierścienia; cel powinien być skierowany nie do środka pierścienia lecz do obranego punktu celowniczego.

Strzelanie do celów ziemnych. Obiektem napadu z powietrza są oddziały wojsk w walce, marszu lub podczas posto-

ju; obiekty te są zwykle odkryte lub też lekko osłonięte. Podstawowymi elementami tych obiektów są ludzie, konie oraz pojazdy mechaniczne; spośród pojazdów mechanicznych, które mogą służyć jako cele przy ostrzeliwaniu z samolotów, wymienić należy jako główne — samochody, samochody pancerne i czołgi.

Wszelkie cele grupowe składają się z wymienionych wyżej elementów wchodzących w skład całości w tym lub innym stosunku ilościowym.

Jeśli chodzi o wielkość obiektów, to rozróżniać należy cele duże zawierające znaczną ilość elementów i zajmującą większą powierzchnię, częstokroć rzędu setek metrów kwadratowych oraz cele małe odosobnione, złożone z kilku zaledwie elementów; powierzchnia zajęta przez cele małe nie wykracza poza granicę rozrzutu skutecznego, czyli poza kwadrat o wymiarach $3 \times 3 \text{ m}$. Metody strzelania do tych dwóch rodzajów są odmienne. W wypadku pierwszym strzelamy do całej powierzchni, w wypadku drugim do punktu. Stosownie do tego nazywać będziemy cele rodzaju pierwszego — celami powierzchniowymi, cele zaś rodzaju drugiego — celami punktowymi.

Strzelanie do celów punktowych. Strzelanie do celów punktowych odbywać się może przy różnych kątach nurkowania samolotu, jednak ze względu na celność ognia najkorzystniejsze jest nurkowanie pod kątami 20 — 30°. Natomiast ze względu na zaskoczenie mogą być stosowane kąty 45° a nawet i 60°. Wybrane odległości zapewniać powinny precyzję strzelania; odległości najkorzystniejsze zapewniające spokojne i pewne strzelanie o dużym prawdopodobieństwie trafienia zawarte są w granicach 400 — 200 m; jako granicę górną odległości strzału

traktować należy 600 m a jako dolną zapewniającą jeszcze możliwość wyrwania z lotu nurkowego — 100 m. Należy zdawać sobie sprawę z tego, że należyty wynik uwarunkowany jest w głównej mierze dokładnym i spokojnym celowaniem a nie małą odległością od ziemi. Jeśli więc uwaga strzelca pochłonięta jest bliskością ziemi, to rozrzut wzrasta w dużym stopniu. Trzeba brać przy tym pod uwagę, że tory przy większych kątach nurkowania wyprostowują się.

Rozpatrzmy przykład.

Zależności pomiędzy rzędnymi toru a kątem położenia podane są w poniższej tabeli, przy czym przyjęto, że wzniesienie muszki ponad os łufy wynosi 20 cm.

Obliczenia dokonano sposobem wskazanym w § 14.

Tabela 13

Wysokości toru ponad linię celowania przy wzniesieniu muszki ponad os łufy równym 20 cm

Odległość strzelania	Kąt położenia			
	0 — 30°	40°	60°	80°
	Wysokości toru w m			
200	0,3	0,5	0,7	0,7
400	0	0,5	1,1	1,4
600	— 1,5	— 0,7	0,6	1,7
800	— 5,2	— 3,5	— 0,6	1,8
1000	— 12	— 7	— 4	1

Jeśli wysokość toru jest dodatnia, to otrzymujemy strzał długi w stosunku do punktu celowania, jeśli zaś ujemna, to krótki.

Traktując końcowy element toru jako prostą otrzymamy (rys. 160)

$$x = \frac{y}{\operatorname{tg} M},$$

gdzie y — wysokość toru względem linii celowania, M — kąt nurkowania (kąt położenia)¹⁾.

¹⁾ Ze względu na to, że wzór jest przybliżony, nie należy go stosować przy kątach nurkowania mniejszych niż 3°.

Przy strzelaniu dokładnym należy brać pod uwagę możliwość otrzymania strzału krótkiego, spowodowanego przez krzywiznę toru, tym bardziej, że może ono być spotęgowane znoszeniem pocisku przez wiatr.

Obliczmy wielkość błędu dla wypadku nurkowania pod kątem 60° przy odległości od 600 do 400 m.

Weźmy z tabeli 13 wysokości toru ponad linią celowania dla tych odległości

$$600 \text{ m} \dots\dots\dots y = +0,6 \text{ m}$$

$$400 \text{ m} \dots\dots\dots y = +1,1 \text{ m}.$$

Znaki wskazują, iż będą to strzały długie.

Dla odległości 600 m

$$x = \frac{y}{\operatorname{tg} M} = \frac{0,6}{\operatorname{tg} 60^\circ} = \frac{0,6}{1,73} = 0,35 \text{ m}.$$

Dla odległości 400 m

$$x = \frac{y}{\operatorname{tg} M} = \frac{1,1}{\operatorname{tg} 60^\circ} = \frac{1,1}{1,73} = 0,64 \text{ m}.$$

Obliczmy teraz uchylenie dla odległości strzału 1.000 m przy nurkowaniu pod kątem 20°

$$x = \frac{y}{\operatorname{tg} M} = \frac{-12}{\operatorname{tg} 20^\circ} = \frac{-12}{0,36} = -35 \text{ m}.$$

Otrzymujemy więc strzał o 35 m za krótki.

Znaczne uchylenia powoduje wiatr.

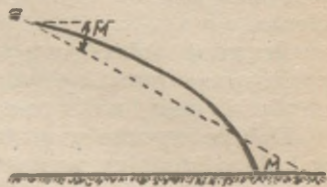
Jak wiemy z § 20 znoszenie oblicza się ze wzoru (15) $C = U \cdot t$. Przy odległości 600 m dla czasu przelotu pocisku $t = 0,95 \approx 1 \text{ sek.}$ nawet przy wietrze rzędu $U = 5 \text{ m/sek.}$ otrzymujemy zniesienie 5 m, gdyż $U \cdot t = 5 \cdot 1 = 5 \text{ m}.$

Prawidłowe określenie poprawki na znoszenie jest już do pewnego stopnia rękojmią skutecznego strzelania.

Poprawkę na znoszenie przez wiatr odkładać należy w kierunku przeciwnym do wiatru posługując się celem jako skalą porównawczą; poprawkę oblicza się zawczasu przed lotem.

Ruch celu nie ma istotnego wpływu na prowadzenie ognia. Przyjmując, że cel porusza się po ziemi z szybkością $V_c = 15 \text{ m/sek.} = 54 \text{ km/godz.}$, otrzymamy dla 400 m wyprzedzenie liniowe

$$S = V_c \cdot t = 15 \cdot 0,55 \approx 8 \text{ m}.$$



Rys. 160. Zależność uchylenia w głąb od kąta nurkowania.

Punkt celowania przesunąć należy o wielkość wyprzedzenia. Można tu korzystać z pierścienia celowniczego biorąc część promienia tyle razy mniejszą, ile razy szybkość rzeczywista jest mniejsza od szybkości założonej przy obliczeniu pierścienia.

Prawdopodobieństwo trafienia przy strzelaniu z samolotu nurkującego może być bardzo duże, jeśli pilot umiejętnie podchodzi do celu i należycie operuje poprawkami.

Dobrze wyszkolony strzelec może uzyskać 100% trafnych w kole o średnicy wynoszącej 0,02 odległości, strzelec wyborowy w kole o średnicy 0,015, a w dobrych warunkach nawet w kole o średnicy wynoszącej 0,01 odległości.

Przykład 92. Obliczyć prawdopodobieństwo trafienia przy strzelaniu z małokalibrowego działka lotniczego do czołga, którego pole w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku strzelania wynosi $2 \cdot 3 = 6 \text{ m}^2$.

Średnicę koła rozrzutu przyjmujemy równą 0,02 odległości.

Początek strzelania na 400 m, koniec na 200 m.

Rozwiązanie. Obliczmy prawdopodobieństwo trafienia dla odległości 400 m.

Średnica koła rozrzutu

$$d = 400 \cdot 0,02 = 8 \text{ m.}$$

Wymiar rozrzutu skutecznego $\frac{8}{3} = 2,7 \text{ m} \cong 3 \text{ m.}$

Przyjmijmy, iż powierzchnia czołga całkowicie zawarta jest w rozrzucie skutecznym.

Pole rozrzutu skutecznego $S = 2,7 \cdot 2,7 = 7,29 \text{ m}^2$.

Gęstość trafienia $\frac{50}{7,29} = 6,85 \%$ na 1 m^2 rozrzutu skutecznego.

Prawdopodobieństwo trafienia w pole równe 6 m^2 z odległości 400 m

$$p_{400} = 6,85 \cdot 6 \cong 40\%.$$

Dla odległości 200 m średnica koła rozrzutu $d = 200 \cdot 0,02 = 4 \text{ m,}$

wymiar rozrzutu skutecznego $\frac{4}{3} = 1,3 \text{ m.}$

Zakładając, że rozrzut skuteczny znajduje się w polu czołga i biorąc pod uwagę tylko trafienia zawarte w rozrzucie skutecznym, otrzymamy prawdopodobieństwo trafienia z odległości 200 m.

$$p_{200} = 70\%.$$

Prawdopodobieństwo trafienia przy strzelaniu w granicach odległości od 400 m do 200 m

$$p = \frac{p_{400} + p_{200}}{2} = \frac{40 + 70}{2} = 55\%.$$

Obliczmy ilu trafień możemy się spodziewać. Szybkostrzelność działka lotniczego — 3 strzały na sekundę (180 strzałów na minutę). Przyjmując, że na przejście odległości od 400 do 200 m samolot zużywa 4 sek., otrzymamy ogólną ilość strzałów danych z działka: $3 \cdot 4 = 12$ strzałów.

Wartość prawdopodobna trafień wyniesie

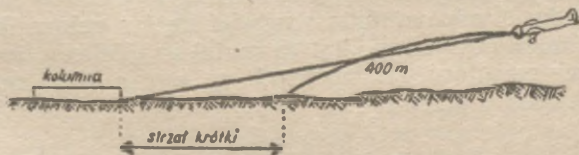
$$12 \cdot 0,55 = 6,6 \text{ pocisków.}$$

Strzelanie do celów punktowych wykonywać mogą zarówno samoloty szturmowe jak i myśliwskie.

Do strzelania używane są normalne celowniki stosowane do k. m. pilota.

Strzelanie z k. m. ruchomych (obserwatorskich) do celów punktowych jest mało skuteczne, gdyż trudno jest uzyskać skupienie ognia. Wykonanie skrętu pozwala na przedłużenie czasu strzelania, celność jednak na tym nic nie zyskuje. Ten ostatni sposób może być stosowany przeciw celom zdemoralizowanym lub też nie dysponującym środkami OPL.

Strzelanie do celów powierzchniowych. Celami o dużych wymiarach są kolumny w marszu lub podczas postoju, skupienia wojsk w osiedlach itp. Zagadnienie celności strzału nie



Rys. 161. Strzał krótki przy dużej odległości strzału z k. m. przystrzelanego na 400 m.

odgrywa tu roli, gdyż wymiary celu są znacznie większe od pola rozrzutu. Znaczenie podstawowe natomiast ma należyte rozłożenie ognia na całej powierzchni oraz uzyskanie możliwie dużego skupienia; skupienie przy równomiernym rozłożeniu osiąga się kosztem zwiększenia zużycia amunicji.

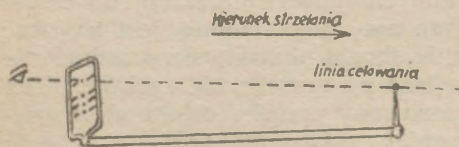
Strzelec musi dać jak największą ilość strzałów w jak najkrótszym czasie łącząc to z umiejętnością zaskoczenia.

Atak szturmowy rozpoczyna się zasadniczo z odległości około 1000 m a stosowane kąty nurkowania są bardzo małe w granicach od 1 do 10°. Wysokość lotu uwarunkowana jest możliwością skrytego podejścia do celu i dla lotu koszącego wynosi 5 — 25 m.

Przy małych kątach otrzymuje się strzały krótkie o dużym odchyleniu, jeśli k. m. są przystrzelane na odległość 400 m a poprawka na obniżenie pocisku nie została uwzględniona. Dla odległości 1000 m, na przykład przy kątach nurkowania 3 — 5°, odchylenie wyniesie 200 — 150 m, jeśli się nie uwzględni poprawki (rys. 161).

Celownik dla samolotów szturmowych musi być zaopa-

trzony w podziałkę, która przynajmniej z grubsza musi zorientować pilota. Jeśli podziałki takiej nie ma, to lepiej przystrełać k. m. nie na 400 m lecz na 800 m.



Rys. 162. Celownik do celów ziemnych używany na samolotach szturmowych.

Celownik do samolotów szturmowych przedstawiony jest na rys. 162. Celownik taki z konieczności musi mieć znaczną długość po to, by odległości między poszczególnymi punktami celowniczymi były dostrzegalne.

Przyjmując długość linii celowniczej $l = 800$ m oraz z tabeli dodatku 1 odpowiednie wartości kątów celownika (równe dla k. m. nieruchomego kątom rzutu) znajdziemy dodatkowe wysokości punktów celowniczych ze wzoru (10) zastępując S przez h oraz D przez l

$$h = l \cdot \frac{y}{1000}$$

Otrzymane tu odległości pomiędzy punktami celowniczymi ledwo wystarczają do wykonania ramki przeziernika.

Odległość w m	Kąt celowania	Wzniesienie punktów celowniczych
400	3,3	$h = 800 \cdot 0,0033 = 2,6 \text{ mm}$
600	5,8	$h = 800 \cdot 0,0058 = 4,6 \text{ mm}$
800	9,6	$h = 800 \cdot 0,0096 = 7,7 \text{ mm}$
1000	15,1	$h = 800 \cdot 0,015 = 12,1 \text{ mm}$

Wiatr boczny przy strzelaniu do celów wąskich musi być koniecznie uwzględniony. Uwzględnia się go w ten sam sposób jak i przy strzelaniu do celów punktowych.

Przy dużych odległościach strzelania zniesienie pocisku może być nawet rzędu kilkudziesięciu metrów; przy strzelaniu na 1000 m, na przykład przy czasie przelotu $t = 2,1$ m dla wiatru prostopadłego o szybkości $V = 10$ m/sek., zniesienie wynosi 21 m.

Znaczna ilość wystrzeliwanych pocisków i mały kąt upadku pozwalają na względnie dobre poprawianie ognia w kierunku.

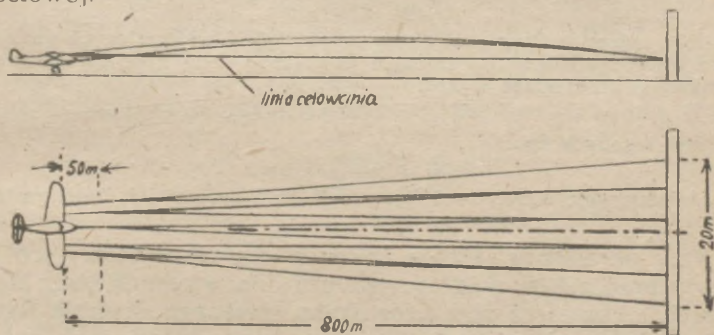
Przy suchej pogodzie kurz wznoszony przez pociski jest dobrze widoczny.

Ostrzeliwanie celu o dużej powierzchni tylko z k. m. kadłubowych nie dałoby należytego skutku ze względu na zbyt małą gęstość pokrycia. Aby zwiększyć skuteczność ognia sto-

suje się baterie k. m. przystrzelanych tak, by tworzyły snop rozbieżny; k. m. zamocowany na podstawie daje rozrzut broni o wielkości 0,005 odległości, wobec czego przyjąć możemy, że na odległość 200 m każdy k. m. pokryje pas o szerokości 1 m, na odległość 600 m — 3 m, 800 m — 4 m i 1000 m — 5 m. Najkorzystniejsza rozwartość snopa zależy od rodzaju zadania.

Jeśli na przykład mamy otrzymać ciągle pokrycie pasa z odległości 800 m, to na każdy z k. m. musi przypaść szerokość 4 m.

Przy przystrzeliwaniu na strzelnicy 50-metrowej środki rozrzutu poszczególnych k. m. muszą leżeć w odległościach 25 cm jeden od drugiego. Na rys. 163 podany jest sposób przystrzelania na 800 m dla wypadku, gdy celownik nie ma skali odległościowej.



Rys. 163. Przystrzeliwanie baterii k. m.

Przy baterii nieruchomych k. m. celowanie i strzelanie wykonuje pilot.

Prawdopodobieństwo trafienia oraz ilość celów rażonych oblicza się, wychodząc z gęstości trafienia na jednostkę powierzchni celu.

Przykład 93. Klucz samolotów szturmowych uzbrojonych w 5 k. m. każdy ostrzeliwuje z lotu nurkowego z odległości 1000—600 m pluton piechoty maszerujący w kolumnie.

Należy określić ilość trafionych celów żywych przy ogólnej ilości ich równej 40. Pluton po rozsypaniu się zajmuje powierzchnię $50 \cdot 100 = 5000 \text{ m}^2$. Szybkostrzelność k. m. wynosi 600 strz/min, czyli 10 strz/sek.

Rozwiązanie. Długość, na której klucz prowadzi ogień, wynosi

$$1000 - 600 = 400 \text{ m.}$$

Przyjmując, że szybkość samolotu wynosi 50 m/sek., otrzymamy czas prowadzenia ognia

$$\frac{400}{50} = 8 \text{ sek.}$$

Samolot pojedynczy ostrzeliwuje pas o szerokości 20 m, klucz zaś pas o szerokości 60 m.

Przyjmujemy, że klucz pokrył ogniem powierzchnię $60 \cdot 100 = 6000 \text{ m}^2$, w dalszym ciągu przyjmujemy, że punkty trafienia są na tej powierzchni rozłożone równomiernie.

Określamy prawdopodobną gęstość trafienia na 1 m^2 powierzchni 60×100 przyjmując, że w powierzchnię trafiło 100 % pocisków

$$\frac{100}{6000} = 0,0167\%$$

Ponieważ powierzchnia zajmowana przez cele jest mniejsza od powierzchni pokrytej przez ogień k. m., więc każdy z celów może być trafiony. Obliczamy pole wszystkich celów, przyjmując, że pole jednej figury wynosi $0,75 \text{ m}^2$

$$0,75 \cdot 40 = 30 \text{ m}^2.$$

Prawdopodobieństwo trafienia do dowolnego celu wynosi

$$0,0167 \cdot 30 = 0,5\%.$$

Ilość rażonych figur znajdziemy mnożąc ilość wystrzelonych pocisków przez prawdopodobieństwo trafienia dowolnego celu; ilość pocisków wystrzelonych przez klucz wynosi

$$400 \cdot 3 = 1200 \text{ pocisków.}$$

Ilość rażonych figur

$$1200 \cdot 0,005 = 6 \text{ figur.}$$

Możemy więc liczyć, że 6 figur czyli 15 % ogólnej ich ilości zostanie trafionych.

Przy określeniu rażenia celów ziemnych wymiary ich gabarytu brać należy według wymiaru odpowiednich tarcz strzeleckich. Ponieważ pole prostokąta opisanego dookoła figury jest większe od pola tej figury, to przy obliczeniach należy brać poprawkę na wypełnienie powierzchni. W obliczeniach praktycznych przyjmujemy, że pole figury wynosi 0,75 pola opisanego dookoła niej prostokąta. Poniższa tabela podaje wymiary różnych celów ziemnych.

Tabela 14
Wymiary celów ziemnych

Nazwa	Wymiary (cm)	Pole (m^2)
Głowa (cel osłonięty)	50×30	0,1
Popiersie (człowiek w widoku z góry)	50×50	0,2
Człowiek przebiegający	55×135	0,5
Człowiek leżący	60×170	0,75
Jeździec	100×200	1,5

Strzelanie pociskami smugowymi. Konstrukcja pocisku smugowego podana jest w § 43. Długość smugipocisku kalibru 7 — 8mm wynosi praktycznie około 1000 m, a pocisków działowych kalibru 20 — 37 mm około 2000 m. Dzięki tym długościom w

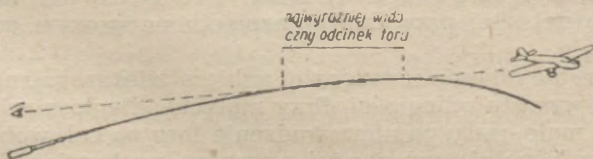
praktyce pociski dają smugę wystarczającą, jeśli chodzi o odległość współczesnej walki powietrznej. Właściwości bali-

styczne tych pocisków nie są jeszcze dostatecznie przestudiowane; zastosowanie pocisków smugowych w Stanach Zjednoczonych A. P. wykazało, iż tor ich może być w przybliżeniu przyjęty jako identyczny z torem innych rodzajów pocisków. Poszczególne pociski dawać mogą znaczne nawet odchylenie, lecz wypadków sporadycznych nie bierze się pod uwagę ze względu na ogólną trudność operowania ścisłymi danymi w zagadnieniach walki powietrznej.

Przy strzelaniu pociskami smugowymi celownika nie używa się w ogóle lub też używa się tylko w pierwszej chwili.

Strzelec obserwuje lot pocisków patrząc nad k. m. zupełnie w taki sam sposób, jak gdyby polewał cel wodą z hydrantu.

Należy wziąć pod uwagę, że tor jest linią krzywą (rys. 164). Pocisk na tym odcinku przechodzi prawie równolegle do linii celowania i strzelcowi wydaje się, że ruch pocisku odbywa się stosunkowo wolniej. Ponieważ śledzenie pocisku w pobliżu wierzchołka trwa najdłużej, strzelcowi często wydać się może,



Rys. 164. Złudzenie wzrokowe przy obserwacji lotu pocisku smugowego

że punkt wierzchołkowy jest końcem toru, wobec czego będzie się starał nakryć tym punktem cel. W rzeczywistości jednak pocisk przy takim nakryciu przeszedłby poniżej celu.

Jeśli smuga jest krótsza od odległości strzału, to należy uwzględnić obniżenie pocisku oraz wyprzedzenie. Na przykład przy strzelaniu pociskami o smudze długości 1000 m na odległość 1200 m, należy wziąć pod uwagę, że czas przelotu na 1000 m $t_1 = 2,1$ sek, a na 1200 m $t_2 = 2,8$ sek. Różnica

$$t_2 - t_1 = 2,8 - 2,1 = 0,7 \text{ sek.}$$

Cel o szybkości 70 m/sek. zdąży przez ten czas przejść $70 \cdot 0,7 = 49$ m, a pocisk obniży się o 9,6 (patrz tabelę w dodatku 2).

Z tego względu należy strzelać przed cel i wyżej, stosując się do obliczonych tu danych i oceniając odległość w długościach kadłuba.

Wobec znacznego kosztu pocisków smugowych, mniejszej

ich skuteczności i nieprawidłowości lotu nie stosuje się taśmowania lub napełniania magazynków tymi pociskami w sposób ciągły. Ponieważ oko jest w stanie zachować obraz przez $\frac{1}{7}$ sekundy, wystarczy dla zachowania ciągłości obrazu toru świetlnego takie taśmowanie nabojęw, by pocisk smugowy został wystrzelony co $\frac{1}{7}$ sekundy.

Ta metoda taśmowania stosowana jest w broni przeciwlotniczej. Przy strzelaniu lotniczym natomiast, gdzie na serie wypada 3 — 4 strzały należałoby ładować tak, by co trzeci nabój był smugowy; przy k. m. o większej szybkostrzelności stosunek ten wynosić powinien 1 : 5.

Masa dająca smugę ma również własności zapalające, wobec czego naboje smugowe mogą być z powodzeniem użyte do zapalania zbiorników paliwa w samolotach lub też wodoru w balonach na uwięzi. W ostatnim wypadku należy zdawać sobie sprawę, że nie każdy pocisk powoduje zapalenie, wobec czego niezapalenie się wodoru nie oznacza braku trafnego strzału.

Naboje smugowe dają duży efekt moralny, co w warunkach walki powietrznej przy dużym napięciu nerwowym odgrywa wielką rolę.

Stosowanie amunicji smugowej nabiera większego znaczenia w miarę wzrostu odległości. Przy małych odległościach walki jest zbyt mało czasu na naprowadzenie toru na cel, wobec czego poprawki należy wyznaczyć zawczasu, posługując się przyrządami celowniczymi; ponadto przy małych odległościach błędy w określeniu szybkości celu oraz szybkości własnej stosunkowo mniej wpływają na wynik. Ze wzrostem odległości wpływ błędów wzrasta w dużym stopniu, wobec czego stosowanie celowników na odległości powyżej 600 m w obecnych warunkach daje wynik bardzo wątpliwy.

§ 35. Strzelanie w nocy. Samolot nieprzyjaciela można zauważyć w nocy dzięki niezgaszonym światłom lub też dzięki płomieniom wychodzącym z rur wydechowych. Jeśli się nie widzi ani światła, ani płomieni, to zauważenie nieprzyjaciela w ciemną noc jest niemożliwe. Warunki widoczności podczas nocy księżycowych są takie same, jak i o zmroku.

Ocena odległości w nocy jest mylna. Określenie odległości samolotu o zmroku lub też przy świetle reflektorów wymaga dużej wprawy. Bardzo trudne jest określenie odległości punktu świecącego; historia lotnictwa zna wypadki, gdy lotnik brał gwiazdy za światła pozycyjne lecącego przed nim samolotu. Pomiar odległości w sposób najprostszy może być dokonany za pomocą celownika pierścieniowego.

Technika celowania i prowadzenia ognia jest w zasadzie taka sama, jak i przy strzelaniu dziennym; należy jednak zastosować środki dla oświetlenia przyrządu celowniczego. Oświetlenie osiąga się albo za pomocą pokrycia przyrządu masą świetlną, albo też przez rzucenie snopów światła na części przyrządu za pomocą żarówek osłoniętych od strony oka strzelca. W celownikach optycznych oświetla się siatkę celowniczą. Aby nie razić oka w obwód żarówki musi być wprowadzony opornik, dający możliwość zmiany natężenia światła w czasie lotu.

W nocy korzystniej jest stosować celowniki przeziernikowe, gdyż dają one lepszą widoczność niż optyczne; jak wiadomo, każda soczewka celownika optycznego pochłania około 10% światła, wobec czego celownik daje obraz oświetlony słabiej o 30 — 50%. Spośród celowników optycznych celownik francuski, dający odbicie siatki, jest lepszy od celownika lunetowego angielskiego, gdyż ma mniej powierzchni odbijających. Należy mieć na względzie, że stosowanie oświetlonych celowników zawsze przeszkadza w obserwacji przestrzeni, leżącej przed celownikiem i może mieć miejsce tylko przy celach dostatecznie oświetlonych lub mających punkty świetlne.

Najlepsze warunki celowania są wówczas, gdy cel znajdzie się w snopie światła reflektora; odległość do celu zmniejszona być może wówczas do minimum, gdyż nieprzyjaciół oślepienie światłem nie jest w stanie nic widzieć poza przestrzenią oświetloną reflektorem. Jednak odległość ta musi być taka, by strzelec nie trafił w snop światła własnego reflektora, gdyż wówczas sam uległby oślepieniu i zostałby zauważony przez nieprzyjaciela.

Odległości strzelania nocnego ze względu na utrudnione warunki są zawsze mniejsze niż strzelania dziennego. Najkorzystniej jest stosować pociski smugowe, widoczne w nocy bardzo wyraźnie na całej swej drodze, ponieważ długość smugi 7—8 mm pocisków współczesnych wynosi około 1000 m.

Przy strzelaniu pociskami smugowymi celownik w ogóle nie jest potrzebny, gdyż wówczas wystarczy zwykłe naprowadzenie toru na cel; stosowanie więc pocisków smugowych jest przy obecnym stanie konstrukcji celowników najwłaściwszą metodą strzelania nocnego. Stosunek ilości pocisków świetlnych do ogólnej ilości pocisków w taśmie lub ładowniku powinien być taki sam, jak i w dzień, czyli wynosić 1 : 3 lub też przy k. m. o większej szybkostrzelności 1 : 5 do 1 : 7.

Wyznaczenie wyprzedzenia w długościach kadłuba. Sposób powyższy, najstarszy spośród stosowanych przy strzelaniu do celów w locie w czasie wojny światowej, znajduje do dziś dnia zastosowanie jako korzystny przy małych odległościach.

Sposób polega na uwzględnieniu wyprzedzenia liniowego, obliczonego ze wzoru (42) $S = V_c t$. Szybkość celu bierze się w zależności od typu samolotu nieprzyjaciela. Czas przelotu pocisku brany jest z tabel, na podstawie odległości najbardziej zbliżonej do przypuszczalnych warunków walki. Przy obliczeniach wymiarów celownika jako odległość wyjściową bierze się zwykle 200, 300 lub 400 m; wybór tej odległości istotnej roli nie odgrywa, gdyż wyprzedzenie obliczone jest z grubsza w długościach kadłuba samolotu-celu.

Przypuśćmy, iż jako odległość wyjściową przyjęliśmy 200 m, przy czym czas przelotu pocisku wynosi $t = 0,25$ sek, a szybkość celu 60 m/sek.; wówczas wyprzedzenie

$$S_{200} = V_c t = 60 \cdot 0,25 = 15 \text{ m.}$$

Przyjmując, że wyprzedzenie jest proporcjonalne do odległości możemy ułożyć następującą tabelę przybliżonych wartości wyprzedzenia:

Założmy najpierw, że strzelanie odbywa się z k. m. nieruchomych, strzelających przez płaszczyzną śmigła, a do celowania stosowane są celo-

Odległość w m	100	200	300	400
Wyprzedzenie $S \approx$	8	15	23	30

wnik pierścieniowy i muszka; w celowniku może być wykorzystany tylko mały pierścień wewnętrzny.

Przy strzelaniu należy określić przede wszystkim odległość od celu, następnie zaś wychodząc z wyprzedzenia liniowego S wyznaczyć przyszłe położenie celu i kierując nań linią celowania otworzyć ogień. Odłożenie na oko długości w metrach jest niemożliwe, a jedyną miarą porównawczą może być długość kadłuba samolotu nieprzyjaciela; z tego względu wyprzedzenie określa się w długościach kadłuba (rys. 165). Długość kadłuba samolotu myśliwskiego wynosi około 7 m, rozpoznawczego 10 m, a bombardującego zależnie od typu 15 do 40 m. Na podstawie przyjętych w taki sposób danych wyprzedzenie przy strzelaniu do samolotu rozpoznawczego wynosi:

dla odległości 100 m — $\frac{3}{4}$ kadłuba,

„ „ 200 m — 1,5 „

„ „ 300 m — 2,5 „

„ „ 400 m — 3 kadłuby.

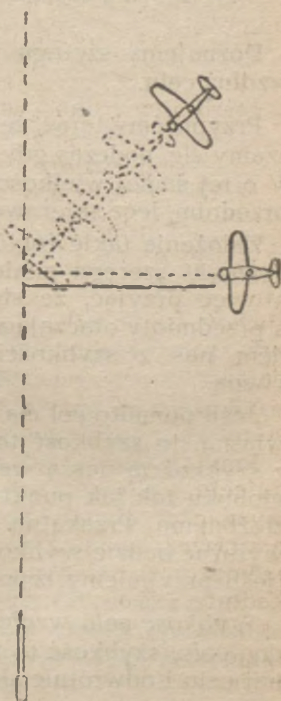
Wielkość wyprzedzenia liniowego, jak wiadomo z § 26, nie zależy od kursu celu, strzelcowi jednak wydaje się, iż jest ono mniejsze wówczas, gdy kąt ten jest mniejszy od 90° . Strzelec widzi zawsze wyprzedzenie kątowe w rzucie na płaszczyznę prostopadłą do kierunku strzału.

Jednak i kadłub jest również widoczny w takim samym rzucie jak wyprzedzenie, gdyż znajduje się na tej samej prostej co i wyprzedzenie.

Przypuśćmy, że strzelając na odległość 400 m trzeba wziąć wyprzedzenie równe 3 kadłubom. Przy kącie między drogami samolotów równym 30° wyprzedzenie będzie 2 razy mniejsze, lecz również i wymiar kadłuba ulegnie dwukrotnemu skrótoowi, wobec czego stosunek wyprzedzenia do wymiaru kadłuba pozostanie bez zmian i wynosić będzie $\frac{3}{1}$.

Opisany sposób wyznaczania wyprzedzenia wymaga bardzo dużej wprawy w określeniu odległości na oko i jest źródłem znacznych błędów. Błędy te powiększa jeszcze fakt, że założona szybkość celu różni się od rzeczywistej. Wyznaczenie wyprzedzenia w długościach kadłuba stosuje się dla odległości poniżej 200 m.

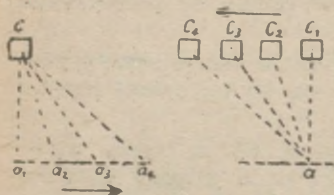
Przy strzelaniu z k.m. ruchomych sposób ten nadaje się wówczas, gdy szybkość samolotu strzelca jest uwzględniona automatycznie, na przykład za pomocą muszki wiatrowej. Przy automatycznym uwzględnieniu przeniesienia pocisku, szybkości własnej strzelca nie bierze pod uwagę, a przy wyznaczeniu wyprzedzenia w długościach kadłuba postępuje tak, jakby strzelał z k. m. nieruchomego.



Rys. 165.
Uwzględnienie wyprzedzenia
w długościach kadłuba

§ 36. Strzelanie na podstawie oceny szybkości względnej. Pojęcie szybkości względnej. Przy ruchu wzdłuż celu C z pewną szybkością V i obserwując cel ten w określonych odstępach

czasu z punktów $a^1, a^2, a^3 \dots a_n$, doznajemy wrażenia, że cel widoczny jest na liniach przemieszczania $a^1C, a^2C, a^3C \dots a_nC$ (rys 166).



Rys. 166. Ruch względny.

W wypadku tym mamy możliwość:

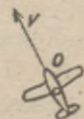
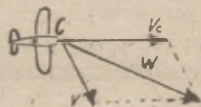
1. mierzyć kątowe przesuwanie się celu,
2. określić chwilową odległość od celu (czyli odległość w pewnej chwili),
3. przewidzieć kąt, pod którym zobaczymy cel w chwili następnej.

Doznajemy szeregu wrażeń, związanych z naszym ruchem wzdłuż celu.

Przypuśćmy teraz, że znaleźliśmy się w punkcie a i nie poruszamy się, podczas gdy cel porusza się wzdłuż nas z szybkością V o tej samej wielkości, co w wypadku poprzednim, lecz skierowaną przeciwnie.

Założenie takie robić można przy rozwiązywaniu szeregu analogicznych zagadnień, a więc przyjąc, że się jest nieruchomym, a przedmioty otaczające poruszają się względem nas z szybkością równą, lecz przeciwną.

Jeśli ponadto cel ma jeszcze swą szybkość własną, to szybkość ta sumować się będzie z szybkością naszą według reguły równoległoboku tak jak punkt podlegający ruchowi złożonemu. Przekątna tego równoległoboku wyrażać będzie szybkość celu względem nas (jeśli przyjmijemy, iż pozostajemy w miejscu).

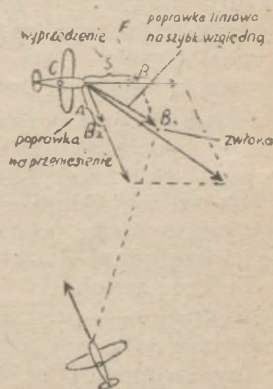


Rys. 167. Ruch względny złożony.

Szybkość celu względem strzelca zwiemy szybkością względną celu; szybkość ta jest sumą geometryczną szybkości własnej celu i odwrotnie skierowanej szybkości strzelca.

Rys. 167 podaje strzelca, lecącego z szybkością V oraz cel, lecący z szybkością V_c . Wektor V' jest szybkością celu względem strzelca w wypadku, gdyby cel był nieruchomy (jest on równy, co do wielkości V , lecz przeciwnie skierowany). Przekątna równoległoboku jest liniową szybkością względną; oznaczmy ją przez W .

Poprawka liniowa na szybkość względną. Rozpatrzmy na przykładzie wyznaczenie liniowej poprawki względnej. Samolot strzelca i cel poruszają się wzdłuż przecinających się kursów, leżących na jednym poziomie, a w chwili strzału zajmują położenia uwidocznione na rys. 168. Aby trafić do celu strzelec powinien wprowadzić wyprzedzenie CB , skierowując broń tak, by pocisk napotkał cel w punkcie B . Jeśli jednak strzelec skierowałby broń bezpośrednio na punkt B , to trafienia nie będzie, gdyż wskutek ruchu strzelca pocisk zostanie przeniesiony z punktu B do punktu F . Aby nadać broni właściwy kierunek, należy od punktu B odłożyć poprawkę na przeniesienie $BB_1 = BF$ w kierunku przeciwnym do ruchu strzelca, a broń skierować na punkt B_1 , jak to wskazuje rysunek.



Rys. 168. Wyznaczenie wykreślne poprawki liniowej na szybkość względną celu.

W jaki sposób nastąpi spotkanie pocisku z celem? Broń skierowana jest na punkt B_1 , lecz wskutek przeniesienia pocisk zostanie odchyłony od punktu B_1 o wielkość B_1B . Przez czas ruchu pocisku samolot-cel przejdzie odcinek CB , równy wyprzedzeniu, a pocisk w tym czasie dojdzie do punktu B , gdzie nastąpi spotkanie.

Dla wykreślnego wyznaczenia punktu B_1 , na który należy skierować broń, należy przeprowadzić konstrukcję następującą. Przez punkt, w którym znajduje się cel w chwili strzału, przeprowadzamy kierunek szybkości samolotu strzelca; wzdłuż prostej tej odkładamy poprawkę na przeniesienie CB_1 , czyli wielkość przeniesienia odpowiadającą danej odległości w kierunku przeciwnym do ruchu samolotu strzelca. W kierunku ruchu celu odkładamy odcinek CB , czyli wyprzedzenie; na odcinkach CB_1 i CB budujemy równoległobok, którego przekątna CB_2 da nam wielkość poprawki liniowej na szybkość względną. Poprawkę tę oznaczać będziemy przez S_w .

Z charakteru wykresu wynika, iż wyznaczenie poprawki na szybkość względną jest analogiczne do wyznaczenia szybkości względnej.

Powstaje więc pytanie — czy kierunek poprawki na szybkość względną (czyli poprawki względnej) pokrywa się z kierunkiem szybkości względnej.

Jeśli poprawkę na przeniesienie wyrazimy wzorem Vt , a wyprzedzenie wzorem $V_c t$, to równoległobok zbudowany na tych dwóch wielkościach będzie podobny do równoległoboku zbudowanego na wielkościach V i V_c ; w równoległobokach podobnych przekątne pokrywają się wzajemnie.

Jednak jak wynika z § 22 rzeczywista wielkość przeniesienia wynosi $A = Vt - \Delta A$, gdzie ΔA jest zwłoką. Przeniesienie jest zawsze mniejsze od iloczynu Vt o wielkość zwłoki.

Jeśli natomiast pominiemy wielkość zwłoki, co w zupełności jest dopuszczalne przy rozwiązywaniu zagadnień praktycznych, to poprawka na szybkość względną jest zgodna z kierunkiem szybkości względnej. Rys. 168 podaje, w jakim stopniu kierunek rzeczywistej poprawki jest odchylony od kierunku szybkości względnej. Punkt B_1 jest przesunięty względem *przekątnej* o wielkość zwłoki.

Praktyczne zastosowanie poprawki liniowej na szybkość względną celu. Był to jedyny sposób, stosowany na początku wojny światowej, aż do chwili ukazania się celowników do strzelania w locie.

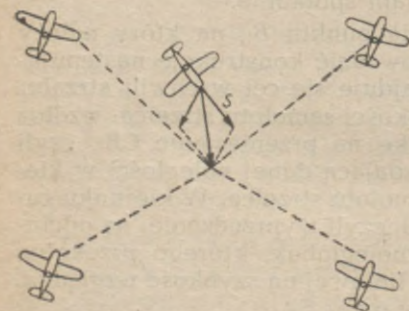
W obecnej chwili sposób ten może znaleźć zastosowanie przy strzelaniu z karabina lub też k.m. w razie uszkodzenia przyrządu celowniczego.

Określmy właściwości poprawek liniowych. Poprawka liniowa na szybkość względną zależy od:

- a) kąta pomiędzy kierunkami szybkości strzelca i celu,
- b) wielkości szybkości strzelca i celu,
- c) odległości.

Poprawka ta nie zależy natomiast od wzajemnego położenia celu i strzelca.

Tę ostatnią właściwość wyjaśnia rys. 169, z którego widać, że dla różnych położen wzajemnych celu i strzelca punkt celowania



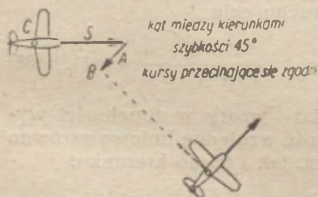
Rys. 169. Niezależność poprawki na szybkość względną od wzajemnego położenia celu i strzelca.

pozostaje ten sam, jeśli tylko kąt zawarty między kierunkami szybkości celu i strzelca nie ulega zmianie oraz szybkości te są stałe.

Kierunek szybkości względnej widzimy w powietrzu obserwując ruch celu. Przesuwanie się celu względem nas jest właśnie ruchem względnym.

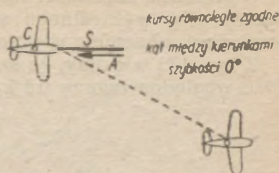
Zasady celowania przy stosowaniu poprawki liniowej na szybkość względną celu. Założenia ogólne.

1. kierunek poprawki w praktyce pokrywa się z kierunkiem ruchu celu względem strzelca;
2. wielkość poprawki zależy od kąta między szybkościami samolotów.

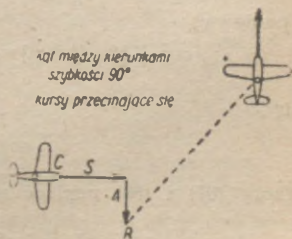


Rys. 171. Suma geometryczna poprawek S i A w wypadku gdy kąt między kierunkami szybkości wynosi 45° .

- a) Kąt 0° — ruch odbywa się wzdłuż kursów równoległych a szybkości są w przybliżeniu równe; celować należy w przód samolotu (rys. 170).
- b) Kąt 45° — ruch odbywa się wzdłuż kursów zgodnych przecinających się; poprawka względna równa jest w przybliżeniu $\frac{3}{4}$ wyprzedzenia liniowego (rys. 171).
- c) Kąt 90° — ruch wzdłuż przecinających się kursów; poprawka względna równa się w przybliżeniu wyprzedzeniu liniowemu (rys. 172).
- d) Kąt 135° — ruch wzdłuż przecinających się kursów przeciwnych; poprawka względna równa się podwójnej wielkości wyprzedzenia liniowego (rys. 173).
- e) Kąt 180° — ruch wzdłuż kursów równoległych przeciwnych; poprawka względna równa się podwójnej wielkości wyprzedzenia liniowego (rys. 174). Praktycznie biorąc w takich wypadkach prowadzi się ogień zaporowy stosując poprawkę równą 3—4 wyprzedzeniom liniowym.



Rys. 170. Przy kursach równoległych zgodnych poprawki należy odejmować.



Rys. 172. Suma geometryczna poprawek S i A w wypadku gdy kąt między kierunkami szybkości wynosi 90° .

Obliczenie szybkości względnej i poprawki względnej. Powyżej podany był sposób wykreślnego wyznaczenia szybkości względnej i poprawki względnej, obecnie zaś przejdziemy do analitycznego jej obliczenia.

Z rys. 175 widzimy, że szybkość celu, odwrócona szybkość własna i szybkość względna tworzą trójkąt CEF .

Kąt wierzchołkowy E równy jest kątowi utworzonemu przez szybkość samolotów V_c i V .

Znamy dwa boki trójkąta CEF ; $CE=V$ i $EF=V_c$, oraz kąt w zawarty między nimi, oznaczmy $\angle FCG = \angle EFC$ przez w . Ze wzorów trygonometrycznych otrzymujemy szybkość względną liniową

$$W = \sqrt{V_c^2 + V^2 - 2V_c \cdot V \cos w} \quad (87)$$

Kąt utworzony przez szybkość względną z kierunkiem ruchu celu

$$\operatorname{tg} e = \frac{V \cdot \sin w}{V_c - V \cdot \cos w} \quad (88)$$

Dwa powyższe wzory w zupełności wyznaczają szybkość względną liniową zarówno co do wielkości, jak i co do kierunku.

Przeprowadźmy prostą OC , łączącą strzelca z celem C ; zauważymy, że kąt COB jest kursem względnym strzelca, który w przybliżeniu przyjmując możemy za równy kątowi wychylenia broni. Kąt $GCO=q$, jest to kurs względny celu.

Z wykresów podanych na rys. 175 i 176 wiadać, iż suma lub różnica kursów względnych strzelca i celu oraz kąt zawarty między kierunkami szybkości wynoszą razem 180° , wobec czego

$$180 - (k + q) = w,$$

a ponieważ

$$\cos [180 - (k + q)] = \cos w$$

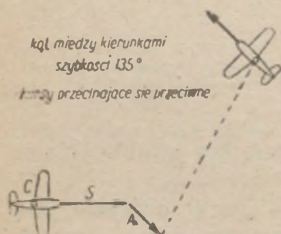
więc

$$\cos (k + q) = -\cos w.$$

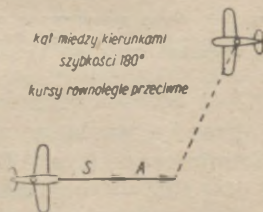
Wzory (87) i (88) napisać możemy w postaci następującej

$$W = \sqrt{V_c^2 + V^2 + 2V_c \cdot V \cdot \cos (k + q)}, \quad \dots \quad (89)$$

$$\operatorname{tg} e = \frac{V \sin (k + q)}{V_c + V \cos (k + q)} \quad \dots \quad (90)$$



Rys. 173. Suma geometryczna poprawek S i A w wypadku gdy kąt między kierunkami szybkości wynosi 135° .



Rys. 174. Kursy równoległe przeciwne — sumują się.

W ten sam sposób, lecz z trójkąta utworzonego przez wyprzedzenie i przeniesienie, wzięte w kierunku odwrotnym, możemy otrzymać wzory dla wyznaczenia poprawki względnej. Różnią się one od poprzednio podanych tylko tym, że zamiast szybkości V_c i V wchodzi tu wielkość wyprzedzenia S i przeniesienia A .

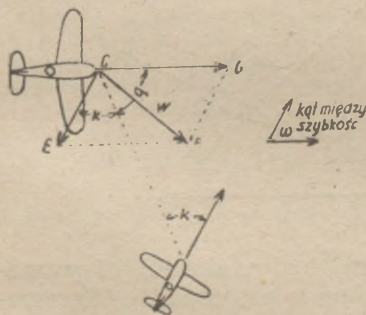
Poprawka liniowa na szybkość względną (poprawka względna) wyrazi się wzorami

$$\left. \begin{aligned} S_w &= \sqrt{S^2 + A^2 + 2S \cdot A \cos(k+q)}, \\ \operatorname{tg} e_1 &= \frac{A \cdot \sin(k+q)}{S + A \cdot \cos(k+q)} \end{aligned} \right\} \quad (91)$$

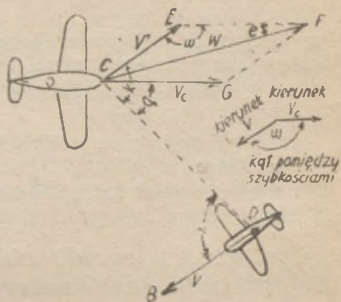
Należy jednak zaznaczyć, iż kąt e , nie jest równy kątowi e_1 , jeśli nie będziemy pomijać wielkości zwłoki. W praktyce jednak przyjmuje się $e_1 = e$.

Jeśli pominiemy zwłokę i przyjmiemy, że $S = V_c t$ oraz $A = V t$, to robiąc odpowiednią zamianę we wzorach (91) otrzymamy

$$S_w = \sqrt{V_c^2 \cdot t^2 + V^2 \cdot t^2 + 2V_c V t \cdot t \cdot \cos(k+q)} = t \sqrt{V_c^2 + V^2 + 2V_c V \cos(k+q)}$$



Rys. 176. Wyznaczenie poprawki na szybkość względną celu przy kursach zgodnych równoległych.



Rys. 175. Wyznaczenie poprawki na szybkość względną celu przy kursach przeciwnych przecinających się.

skąd

$$S_w = t \cdot W \quad (92)$$

lub

$$S_w = \frac{W \cdot D}{V_{\text{sr}}} \quad (93)$$

Przykład 94. Oddział strzelców, uzbrojonych w kb. transportowany jest samolotem. Spodziewany jest atak myśliwskich dwumiejscowych samolotów nieprzyjaciela, które stosują manewr polegający na podejściu i odejściu od celu pod kątem 45° .

Jakie wskazówki należy dać strzelcom, przyjmując iż ogień otwarty zostanie z odległości 600 m.

Szybkość samolotu własnego 50 m/sek, a szybkość celu 60 m/sek.

Rozwiązanie. Szybkość względna.

$$\begin{aligned} W &= \sqrt{V_c^2 + V^2 + 2V_c V \cos 45^\circ} = \sqrt{60^2 + 50^2 + 2 \cdot 50 \cdot 60 \cdot 0,7} \\ &= \sqrt{3600 + 2500 + 4200} = \sqrt{10300} \cong 101,5 \text{ m/sek.} \end{aligned}$$

Poprawka liniowa na szybkość względną dla odległości 600 m przy czasie przelotu pocisku $t \approx 1$ sek.

$$S_w = W \cdot t = 101,5 \cdot 1 = 101,5 \text{ m.}$$

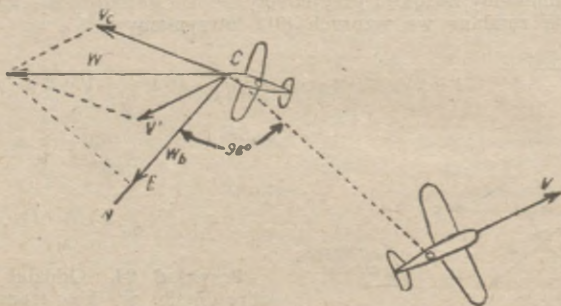
Przyjmując, iż kadłub samolotu nieprzyjaciela ma długość 10 m, dajemy następujące wskazówki strzelcom:

na pierwszy sygnał celować w punkt leżący przed samolotem w odległości 5 kadłubów;

na drugi sygnał (cel zbliżył się do 400 m) celować w punkt leżący przed samolotem w odległości 3 kadłubów;

na trzeci sygnał (cel zbliżył się do 200 m) celować w punkt leżący przed samolotem w odległości 1,5 kadłuba.

Uproszczony sposób obliczenia teoretycznie dopuszczalnej długości serii. Jeśli znamy szybkość względną, to możemy określić górną granicę ilości strzałów w serii, jaką oddać można z k. m. nieruchomego. Wyznamy najpierw sposobem wykreślnym (rys. 177) szybkość względną. Z punktu C poprowadzmy



Rys. 177. Wyznaczenie bocznej szybkości względnej.

prostopadłą CN do prostej łączącej obydwie samoloty i wyznaczmy rzut szybkości względnej W na tę prostopadłą. Otrzymany wektor CE zwie się boczną szybkością względną, którą oznaczać będziemy przez W_b .

Obliczenie teoretycznej długości serii możliwe jest tylko wówczas, gdy cel idzie naprzeciw strzelca lub też mija go. Jeśli zaś cel zaczyna pozostawać w tyle za strzelcem, to przy broni nieruchomej obliczenie traci sens.

Oznaczmy ilość strzałów w serii przez N , szybkostrzelność k. m. na sek przez T , czas przejścia elipsy rozrzutu przez t_p .

Teoretyczna długość serii wyniesie

$$N = t_p \cdot T + 1 \quad (94)$$

Jedność dodana tu jest dlatego, że pojęcie szybkostrzelności wyraża właściwie nie ilość strzałów w jednostce czasu, lecz ilość przerw między strzałami. Ilość strzałów jest zawsze o jeden większa od ilości przerw.

Na przykład: normalna szybkostrzelność k. m. wzór P. W. 1 — 600 strz/min., czyli 10 strz/sek. Oznacza to, że strzały następują co 1/10 sekundy. Jednak w ciągu sekundy daje się 11 strzałów, gdyż należy wziąć pod uwagę ostatni strzał na końcu serii, czyli na granicy drugiej minuty.

Czas przejścia przez cel średnicy elipsy rozrzutu wyrazić można w następującej postaci

$$t_p = \frac{8U}{W_b} \quad (95)$$

gdzie U — uchylenie prawdopodobne i W_b — boczna szybkość względna celu.

W rezultacie otrzymujemy

$$N = \frac{8U \cdot T}{W_b} + 1 \text{ strzałów} \quad (96)$$

Przykład 95. Obliczyć teoretycznie dopuszczalną długość serii przy strzelaniu z k. m. wzór D. A., jeśli:

boczna szybkość względna, wyznaczona sposobem wykreślnym, wyniesie $W_b = 60$ m/sek., szybkostrzelność k. m. wzór D. A. $T = 10$ strz/sek., uchylenie prawdopodobne przy strzelaniu na odległość 600 m $U = 3$ m.

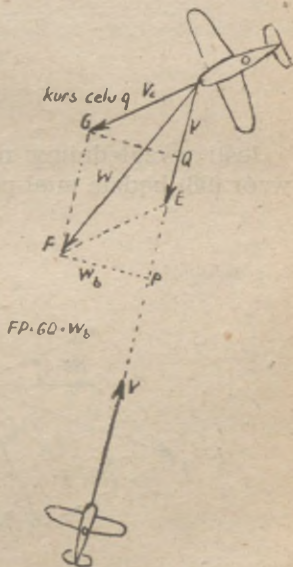
Rozwiązanie. Posługujemy się wzorem (96)

$$N = \frac{8U \cdot T}{W_b} + 1 = \frac{8 \cdot 3 \cdot 10}{60} + 1 = 5 \text{ strzałów.}$$

Zauważmy, że jeśli boczna szybkość względna $W_b = 0$, czyli w wypadku strzelania przy równoległych i zgodnych kursach,

$$N = \infty \text{ gdyż } N = \frac{8U \cdot T}{0} + 1 = \infty$$

Jeśli strzelanie odbywa się z k. m. nieruchomego, to boczna szybkość względna W_b , jak widać z rys. 178, równa się rzutowi szybkości celu na



Rys. 178. Boczna szybkość względna celu przy ruchu własnym w kierunku strzału.

prostopadłą do linii celowania, czyli $W_b = FP = GQ$, wobec czego otrzymujemy

$$W_b = V_c \cdot \sin q \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (97)$$

W wypadku strzelania z k. m. pilota wzór (96) przybierze postać następującą

$$W_b = \frac{8 U \cdot T}{V_c \cdot \sin q} + 1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (98)$$

Dla kursów celu $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 50^\circ, 90^\circ$ otrzymamy

$$q = 0^\circ; N = \frac{8 U T}{V_c \cdot 0} + 1 \quad \text{ś (właściwie można strzelać aż do chwili zderzenia się)}$$

$$q = 15^\circ; N = \frac{8 U T}{1/4 V_c} + 1;$$

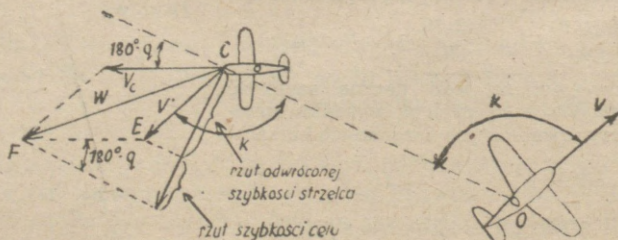
$$q = 30^\circ; N = \frac{8 U T}{1/2 V_c} + 1;$$

$$q = 50^\circ; N = \frac{8 U T}{3/4 V_c} + 1;$$

$$q = 90^\circ; N = \frac{8 U T}{V_c} + 1.$$

Jeśli uwzględnimy również wymiar czulej części celu, to wzór (98) będzie miał postać

$$N = \frac{(8 U + L) \cdot T}{V_c \cdot \sin q} + 1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (98a)$$



Rys. 179. Określenie bocznej szybkości względnej jako sumy rzutów szybkości celu i odwróconej szybkości strzelca.

Przykład 96. Obliczyć teoretycznie dopuszczalną długość serii przy strzelaniu z k. m. pilota wzór P. W. 1, jeśli wiadomo że:

szybkość celu $V_c = 80 \text{ m/sek.}$,

szybkostrelność $T = 750 \text{ strz/min.} = 12,5 \text{ strz/sek.}$,

kurs względny celu $q = 15^\circ$,

uchylenie prawdopodobne $U = 1 \text{ m.}$

Rozwiązanie. Skróć sylwetki celu przy kącie 15° wynosi $\sin q = \frac{1}{4}$. Stosujemy wzór (98)

$$N = \frac{8 UT}{V_c \cdot \sin q} + 1 = \frac{8 \cdot 1 \cdot 12,5}{80 \cdot \frac{1}{4}} + 1 = 6 \text{ strzałów.}$$

Boczna szybkość względna, kąтова szybkość względna, poprawka kąтова na przesuw boczny celu. Przesuwem bocznym celu jest ruch jego wzdłuż prostopadłej do linii celowania. Łącząc wylot broni O z celem C poprowadźmy przez punkt C prostopadłą CQ (rys. 179). Na prostopadłą tę rzutujemy szybkość celu V_c oraz odwróconą szybkość strzelca V .

Otrzymamy odcinek CQ który jest rzutem szybkości względnej na prostopadłą do linii celowania, czyli boczna szybkością względną W_b .

Zważywszy, że kąt OCE równa się kursowi strzelca k (kurs własny), a kąt $ECQ = k - 90^\circ$ znajdziemy, że rzut odwróconej szybkości strzelca $V' \cdot \cos(k - 90^\circ) = V' \cdot \sin k$. Rzut szybkości celu wynosi $V_c \cdot \sin q$, gdyż $V_c \cdot \sin 180^\circ - q = V_c \sin q$. Boczna szybkość względna jest sumą rzutów szybkości składowych, wobec czego

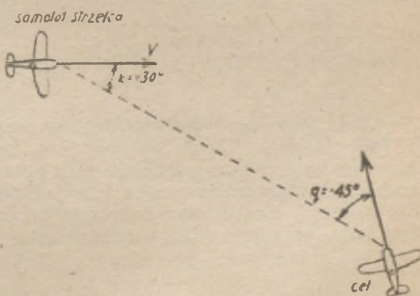
$$W_b = V_c \cdot \sin q + V \cdot \sin k. \quad (99)$$

We wzorze tym kąty mierzone są od osi samolotów: kurs celu od osi samolotu celu, a kurs strzelca od linii celowania (która zarazem jest osią samolotu strzelca). Ustalmy tu regułę co do znaków: jeśli kąt odkłada się w prawo od osi samolotu, wówczas uważamy go za dodatni, jeśli zaś w lewo, to za ujemny.

Na rys. 180 podane jest położenie wzajemne samolotów przy kursie strzelca $+30^\circ$ i kursie celu -45° . Na rys. 181 kurs strzelca -135° , a kurs celu -60° . Rozwiązanie w pierwszym wypadku, jeśli $V_c = 60 \text{ m/sek.}$, a $V = 40 \text{ m/sek.}$ będzie miało postać

$$W_b = V_c \cdot \sin q + V \cdot \sin k = 60 \sin(-45^\circ) + 40 \sin 30^\circ = 60 \sin 45^\circ + 40 \sin 30^\circ = 60 \cdot 0,7 + 40 \cdot 0,5 = 42 + 20 = 22 \text{ m/sek.}$$

Znak minus wskazuje, że szybkość skierowana jest w lewo od linii celowania.

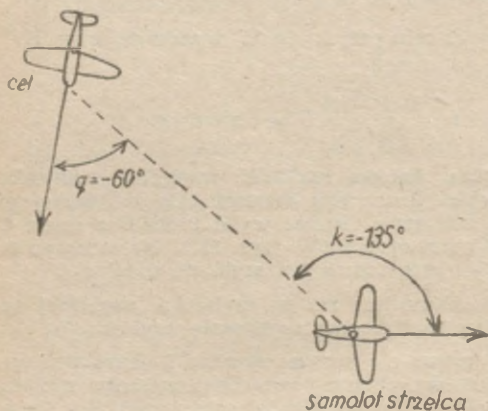


Rys. 180.
Kurs strzelca i kurs celu mają znaki różne

W drugim wypadku rozwiązanie będzie następujące (rys. 181)

$$W_b = V_c \cdot \sin q + V \cdot \sin k = 60 \sin(-60^\circ) + 40 \sin(-135^\circ) = -60 \sin 60^\circ - 40 \sin 135^\circ = -60 \sin 60^\circ - 40 \sin 45^\circ = 60 \cdot 0,87 - 40 \cdot 0,7 = 52,28 \quad 80 \text{ m/sek.}$$

Znak minus wskazuje, że ruch hoczny celu jest skierowany w lewo od linii celowania.



Rys. 181.

Kurs strzelca i kurs celu mają znaki jednako.

Szybkość boczna odgrywa istotną rolę przy strzelaniu, gdyż jest właśnie tą szybkością, którą w rzeczywistości widzi strzelec. Z tą szybkością cel przecina snop torów strzelca. Znając wielkość uchylenia prawdopodobnego pocisku można obliczyć czas przejścia przez cel elipsy rozrzutu pod warunkiem, że strzelec nie zmienia położenia broni przez cały czas trwania serii.

Srednica koła rozrzutu wynosi 8 uchyżeń prawdopodobnych $8 U$, a czas przejścia przez cel koła lub elipsy rozrzutu t_p wyrazi się wzorem.

$$t_p = \frac{8 U}{W_b} = \frac{8 U_s}{V_c \cdot \sin q + V \cdot \sin k} \quad (100)$$

Wzór powyższy podany jest w założeniu, że cel przejdzie przez całą elipsę rozrzutu. Jeśli jednak, jak wymagają tego warunki celowania, założymy, że przyszłe położenie celu pokryje się ze środkiem rozrzutu, to cel przejdzie tylko połowę osi elipsy lub też promień koła; przejście to będzie dokonane w czasie dwa razy mniejszym niż przejście wzdłuż całej elipsy lub koła; w poprzednim wzorze trzeba więc licznik zmniejszyć dwukrotnie lub też mianownik powiększyć dwukrotnie

$$t_p^1 = \frac{8 U_s}{2 (V_c \cdot \sin q + V \cdot \sin k)}$$

Znając czas przejścia elipsy rozrzutu przez cel oraz szybkostrzelność k.m. możemy obliczyć teoretycznie dopuszczalną długość serii, czyli ilość strzałów dawanych przy niezmiennym położeniu broni.

Na ogół jednak długość serii ustala się praktycznie i zależy ona również od pewności zamocowania broni na samolocie oraz szybkości i kierunków ruchu samolotów. Licząc według podanego wzoru możemy wyznaczyć jedynie granicę górną, czyli największą teoretycznie dopuszczalną długość serii i to w założeniu, że broń zajmuje położenie niezmiennie względem samolotu.

W rzeczywistości jednak strzelec może prowadzić broń za celem stale zmieniając położenie broni i w tym wypadku wzory nie mają zastosowania.

Oznaczmy ilość strzałów w serii przez N , szybkostrzelność broni, czyli ilość strzałów na sekundę przez T .

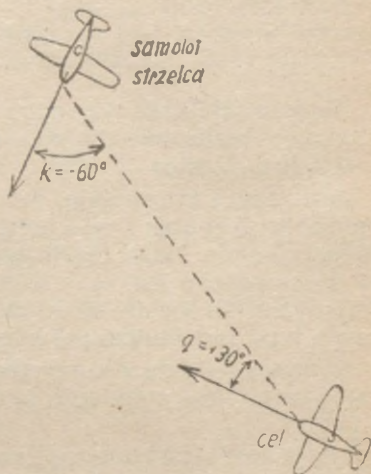
Teoretycznie dopuszczalna długość serii przy przejściu przez cel elipsy rozrzutu określa się ze znanego już wzoru (94)

$$N = t_p \cdot T + 1.$$

Zastępując t_p przez jego wartość podaną we wzorze (100) otrzymamy nowy wzór do obliczania teoretycznie dopuszczalnej długości serii

$$N = \frac{8 U_s \cdot T}{V_c \cdot \sin q + V \cdot \sin k} + 1. \quad (101)$$

Przy rozwiązywaniu zadań należy zwracać uwagę na znaki w mianowniku. Jeśli znaki wyrazów są różne, a znak sumy jest ten sam, co i wyrazu drugiego, oznacza to, że cel pozostaje w tyle, nie wchodzi do elipsy rozrzutu, przeciwnie oddala się od niej, jeśli broń jest nieruchoma. W tym wypadku obliczenie ze wzoru nie ma zastosowania, broń nie może być nieruchoma, trzeba ją w czasie strzelania przesuwąć, by naprowadzić wiązkę torów na cel.



Rys. 182. Kurs strzelca i kurs celu mają znaki różne.

Przykład 97. (rys. 182). Obliczyć teoretycznie dopuszczalną długość serii, jeśli szybkość celu $V_c = 80$ m/sek., a szybkość strzelca $V = 40$ m/sek.

Odległość $D = 200$ m, uchylenie prawdopodobne $U = 1$ m, szybkostrzelność $T = 750$ strz/min. = 12,5 strz/sek. Kurs względny strzelca = -60° , celu $q = +30^\circ$.

Rozwiązanie. Stosujemy wzór (101)

$$N = \frac{8 U_s \cdot T}{V_c \cdot \sin q + V \cdot \sin k} + 1 = \frac{8 \cdot 1 \cdot 12,5}{80 \sin 30^\circ + 40 \sin (-60^\circ)} + 1$$

$$= \frac{100}{80 \cdot 0,5 - 40 \cdot 0,87} + 1 = \frac{100}{40 - 34,8} + 1 = \frac{100}{5,2} + 1 = 19,2 + 1 = 20,2$$

Dopuszczalna długość serii 20 strzałów.

Dodatnia wartość mianownika wskazuje, że boczna szybkość względna skierowana jest w prawo, a więc w tym samym kierunku, co i szybkość celu, czyli cel wchodzi w pierścień celowniczy. Gdyby boczna szybkość względna skierowana była przeciwnie do szybkości celu, to cel wychodziłby z pierścienia i obliczenia nasze straciłyby realne znaczenie. W tym wypadku strzelec musiałby naprowadzać wiązkę rozrzutu na cel, podczas gdy wzór (101) oparty jest na założeniu, że broń jest nieruchoma.

Jeśli mianownik ułamka jest ujemny, to znak należy odrzucić.

Biorąc pod uwagę długość celu L , wzór (101) napisać możemy w postaci następującej

$$N = \frac{(8 U_s + L) T}{V_c \cdot \sin q + V \cdot \sin k} + 1 \quad (101a)$$

Kątowa szybkość względna celu. Przy strzelaniu do celu ruchomego bardzo ważną rolę odgrywa jego szybkość kątowa względem strzelca.

Jest rzeczą zrozumiałą, że dla myśliwca najwygodniejszym sposobem jest atak z tyłu, jeśli uda mu się wejść w martwe pole nieprzyjaciela. Najkorzystniejsza obrona przez strzelca samolotu atakowanego jest przy strzelaniu wprost do tyłu, a jeśli atakujący myśliwiec nie zdoła ukryć się w polu martwym, to strącenie jego jest bardzo prawdopodobne.

Również jednym z korzystnych wypadków strzelania z k. m. ruchomych jest strzelanie przy kursach równoległych i zgodnych.

Natomiast strzelanie myśliwca do celu lecącego kursem prostopadłym jest trudne i stosowane bywa tylko w wyjątkowych wypadkach; przy strzelaniu z k. m. ruchomych niekorzystny jest wypadek strzelania przy kursach równoległych i przeciwnych.

Przyczyną, która sprawia iż dany wypadek strzelania jest mniej lub więcej korzystny, lub też niekorzystny, jest wielkość kątowej szybkości względnej. Jeśli szybkość ta jest mała, to celowanie jest łatwe, a prowadzenie ognia proste. Przy dużej szybkości kątowej strzelec musi szybko obracać swe k. m., a myśliwiec wykonywać szybkie zwroty samolotem. Cel oddala się od punktów celowniczych, celowanie staje się niedokładne, a prawdopodobieństwo trafienia jest małe.

Szybkość kątowa w mechanice określa się jako stosunek szybkości bocznej do odległości; jeśli przyjmiemy nasze oznaczenia, to stosunek ten napisać możemy w postaci następującej

$$\omega = \frac{W_b}{D} \quad (102)$$

gdzie ω — kątowa szybkość względna, W_b — szybkość boczna, D — odległość chwilowa, czyli odległość w pewnej określonej chwili (odległość ciągle się zmienia przy ruchu celu).

Dla uproszczenia zagadnienia rozpatrywać będziemy odległości w chwili strzału. Robiąc takie założenie popełniamy błąd o wielkości równej różnicy pomiędzy odległością przyszłą, a

odległością w chwili strzału. Błąd ten osiągnie swą największą wartość w wypadku strzelania przy kursie 0° oraz 180° i równy będzie $\pm S$ (wyprzedzeniu).

Na podstawie wzoru (102) znajdujemy szybkość kątową, jako stosunek łuku do promienia. Aby szybkość tę wyrazić w przyjętej mierze kątowej, tj. stopniach lub tysięcznych, należy ilorazy pomnożyć przez odpowiedni współczynnik.

Szybkość kątowa w stopniach:

$$\omega = \frac{W_b}{D} \cdot \frac{360^\circ}{2\pi} = \frac{W_b}{D} \cdot \frac{360}{6,28} \approx 57 \frac{W_b}{D} \quad (103)$$

Szybkość kątowa w tysięcznych

$$\omega = \frac{W_b}{D} \cdot 1000 \quad (104)$$

Podstawiając zamiast W jego wartość wziętą ze wzoru (99) otrzymamy

$$\omega = \frac{V_c \cdot \sin q + V \cdot \sin k}{D} \quad (105)$$

$$\omega \approx 57 \frac{V_c \cdot \sin q + V \cdot \sin k}{D} \text{ stopni,} \quad (106)$$

$$\omega = \frac{V_c \cdot \sin q + V \cdot \sin k}{D} \cdot 1000 \text{ tysięcznych} \quad (107)$$

Przykład 98. Określić kątową szybkość względną przy kursach strzelca $k = 45^\circ$ i celu $q = 45^\circ$. Szybkość celu $V_c = 70$ m/sek; szybkość samolotu strzelca $V = 60$ m/sek. Odległość $D = 200$ m.

Rozwiązanie. Stosujemy wzory (106) i (107):

$$1. \quad \omega \approx 57 \frac{V_c \cdot \sin q + V \cdot \sin k}{D} = 57 \frac{70 \sin 45^\circ + 60 \sin 45^\circ}{200}$$

$$= 57 \frac{50 + 43}{200} = 57 \frac{93}{200} \approx 26,5 \text{ stopni/sek.}$$

$$2. \quad \omega = \frac{V_c \cdot \sin q + V \cdot \sin k}{D} \cdot 1000 = \frac{93}{200} \cdot 1000 = 465 \text{ tysięcznych/sek.}$$

Kątowe wyprzedzenie względne. Kątowe wyprzedzenie względne jest to poprawka na kątowy przesuw względny celu przez czas lotu pocisku. Kąt, o który przesuwa się cel, znajdziemy mnożąc kątową szybkość przez czas lotu pocisku. Wówczas kątowe wyprzedzenie względne wyrazić można wzorem

$$Y_w = \omega t \quad (108)$$

Zastępując ω jej wartością wziętą ze wzoru (105) otrzymamy

$$Y_w = \frac{(V_c \cdot \sin q + V \cdot \sin k) t}{D} \quad (109)$$

Aby kąt ten otrzymać w stopniach lub tysięcznych musimy pomnożyć otrzymany wynik przez 57 lub też przez 1000.

Wzór (108) można uprościć.

Ponieważ

$$t = \frac{D}{v_{sr}}$$

wtedy

$$Y_w = \frac{(V_c \cdot \sin q + V \cdot \sin k) D}{D v_{sr}} \text{ lub też}$$

skracaając przez D

$$Y_w = \frac{V_c \cdot \sin q + V \cdot \sin k}{v_{sr}} \quad (110)$$

gdzie v_{sr} — średnia szybkość pocisku dla odległości obliczanej.

Przykład 99. Obliczyć kątowe wyprzedzenie względne przy kursach strzelca $k = 60^\circ$ i celu $q = 60^\circ$. Szybkość samolotów: strzelca $v = 60$ m/sek, celu $V_c = 70$ m/sek; odległość $D = 400$ m.

Rozwiązanie. Średnia szybkość pocisku dla odległości 400 m $v_{sr} = 660$ m/sek.

$$Y_w = 57 \frac{V_c \cdot \sin q + V \cdot \sin k}{v_{sr}} = 57 \frac{70 \sin 60^\circ + 60 \sin 60^\circ}{660} = 57 \frac{61 + 52}{660} = \frac{57 \cdot 113}{660} \cong 10^\circ.$$

W tysięcznych

$$Y_w = \frac{61 + 52}{660} \cdot 1000 = \frac{113}{660} \cdot 1000 \cong 170 \text{ tysięcznych.}$$

Celowniki synchroniczne. Najprościej określa się kątowe wyprzedzenie względne ze wzoru (108)

$$Y_w = \omega \cdot t.$$

Wzór ten wymaga znajomości szybkości względnej celu ω oraz odległości, określającej czas przelotu pocisku t . Zadanie to może być rozwiązane tylko za pomocą skomplikowanego przyrządu mechanicznego, o działaniu synchronicznym. Zasada przyrządu polega na tym, że strzelec prowadząc linię celowania za celem wciąż określa odległość i nastawia ją na przyrządzie.

Przyrząd automatycznie zamienia nastawioną odległość na czas, a dzięki mechanizmowi zegarowemu również i kąt obrotu k. m. na szybkość kątową, po czym mnoży te dwie wielkości przez siebie i odpowiednio do tego przesuwą linię celowania względem osi lufy broni. Trzymając stale linię celowania na celu strzelec w każdej chwili ma możliwość otwarcia ognia, mając już gotową poprawkę.

Przyrządy tego rodzaju nie znalazły jeszcze praktycznego zastosowania przy strzelaniu w locie, lecz są już szeroko stosowane w k.m. przeciwlotniczych. Być może, że na przyrządach tych wzorowane będą w przyszłości celowniki lotnicze i znajdą również zastosowanie praktyczne.

Pytania z rozdziału piątego

1. Jak się używa pierścienia celowniczego jeśli szybkość celu jest $1\frac{1}{2}$ razy większa lub też o $\frac{1}{4}$ mniejsza od szybkości założonej?
2. Jakiego rodzaju obliczenia mogą mieć zastosowanie przy strzelaniu przy kursach równoległych i zgodnych?
3. Jakie istnieją poprawki i jak się je uwzględnia przy strzelaniu na większe odległości?
4. Jak należy strzelać w tych wypadkach, gdy muszka wiatrowa działa nieprawidłowo i jak w tym wypadku należy wyzyskać słupkę nieruchomą?
5. Jak należy strzelać do ziemi przy celu o małych wymiarach i jak się strzela do celu ziemnego o dużej powierzchni?
6. Czy przy strzelaniu pociskami smugowymi trzeba stosować celownik; jak należy śledzić lot pocisku? Jaki jest stosunek ilościowy amunicji smugowej do amunicji zwykłej przy taśmowaniu?
7. Czym różni się strzelanie nocne od strzelania dziennego?
8. Jak należy brać wyprzedzenie, jeśli się nie ma pierścienia celowniczego? Jakie są strony ujemne sposobu wyznaczania wyprzedzenia w długościach kadłuba?
9. Jaką szybkość samolotu celu obserwuje się z samolotu strzelca? Co to jest szybkość względna celu oraz, co to jest poprawka na szybkość względną celu?
10. Wyjaśnić zasady celowania z uwzględnieniem poprawki liniowej na szybkość względną celu.

ROZDZIAŁ VI

TECHNIKA UŻYCIA BOJOWEGO BRONI LOTNICZEJ

§ 37. Drogi ruchu samolotów. Zasadniczą trudnością występującą w zagadnieniach walki powietrznej są duże szybkości samolotów. Istotną rolę przy tym odgrywają nie szybkości liniowe, lecz szybkość kąтова celu względem strzelca. Przy szybkim przesuwie kątowym celu strzelec musi bardzo szybko obracać broń, a celowanie przed otwarciem ognia odbywa się w pośpiechu.

Zwykle strzelec stosuje większe wyprzedzenie niż to wypadłoby z obliczeń i otwiera ogień w oczekiwaniu aż cel zajmie w celowniku właściwe położenie. Taki rodzaj ognia zwie się *zaporowym*.

Można stwierdzić, że strzelec jest w stanie wykonywać celowanie z zadawalającym wynikiem przy szybkości kątowej około $6''$, czyli 100 tysięcznych na sekundę. Przy szybkości kątowej powyżej $12''$ — $15''$ na sekundę celowanie staje się w ogóle niemożliwe.

Przy strzelaniu pilota śledzenie celu jest znacznie trudniejsze a przy szybkościach kątowych powyżej $6''$ na sekundę w ogóle niemożliwe.

Ogień zaporowy stosuje się i w tym wypadku w granicach szybkości kątowej dopuszczalnej dla strzelania pilota.

Aby móc ocenić możliwości strzału przy różnych kursach, znajdziemy kątowe szybkości względne celu i strzelca dla wypadków najbardziej typowych.

Rozpatrzmy możliwości ataku przez jednomiejscowy samolot samolotu jednomiejscowego lub wielomiejscowego o szybkości 50 m/sek.

Właściwe dane obliczone ze wzoru (102) zestawmy w tabelę 15.

Z obliczeń wynika, że szybkości kątowe przy ataku z k. m. pilota nie zależą od tego czy strzelanie odbywać się ma przy kursach zgodnych, czy też przeciwnych, we wzorach bowiem nie jest uwzględniona zmiana odległości na początku i na końcu serii. W dalszych rozważaniach brać będziemy pod uwagę odległość w końcu serii.

Zauważmy, że jeżeli szybkość strzelca względem celu wynosi 4° , to szybkość celu względem strzelca wynosi również 4° , czyli, że szybkości względne celu i strzelca są sobie zazwyczaj równe co do wielkości. Dzieje się tak dlatego, że i w jednym i w drugim wypadku równoległobok szybkości zbudowany jest na tych samych elementach.

Tabela 15, charakteryzująca kątowe szybkości strzelca i celu wyjaśnia najkorzystniejsze kierunki ataku.

Dla odległości poniżej 100 m korzystny jest atak pod kątem do osi samolotu nieprzyjaciela nie przekraczającym 10° . Kątowa szybkość względna wynosi przy tym 6° na sekundę dla odległości około 80 m. Dla odległości między 100 m a 200 m korzystne kąty ataku wynoszą do $13-20^\circ$ w stosunku do osi samolotu nieprzyjaciela. Przy największej odległości strzału bezpośredniego nie wymagającej poprawki kąta celownika, wynoszącej 600 m dopuszczalny jest kąt dowolny; należy pamiętać jednak, że przy kursach przeciwnych odległości szybko maleją i czas możliwości strzału gwałtownie się skraca.

Tabela 15

Względne szybkości kątowe przy atakowaniu ogniem k. m. pilota samolotu lecącego z szybkością $V_c = 50$ m/sek.

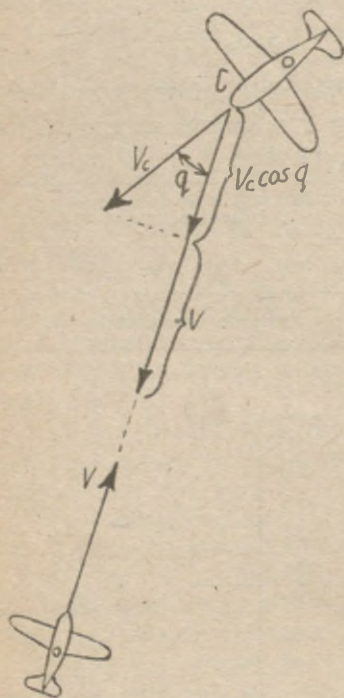
Kurs względny atakowa- nego samolotu w sto- pniach	Odległości w m					
	100	200	400	600	800	1000
	stopnie na sekundę					
0	0	0	0	0	0	0
15	8	4	2	1,2	1	0,8
30	14	7	4	2,5	2	1,5
45	20	10	5	3,5	2,5	2
60	25	12	6	4	3	2,5
75	27	13	6	4,5	3,2	2,7
90	29	14	7	5	3,5	3
105	27	13	6	4,5	3,2	2,7
120	25	12	6	4	3	2,5
135	20	10	5	3,5	2,5	2
150	14	7	4	2,5	2	1,5
165	8	4	2	1,2	1	0,8
180	0	0	0	0	0	0

Możemy przyjąć w przybliżeniu, że przy atakowaniu ogniem k. m. pilota odległość skraca się w ciągu jednej sekundy o wielkość $V = V_c \cdot \cos q$, co wynika z rys. 183.

Dla $q = 30^\circ$, $V = 70$ m/sec i $V_c = 50$ m/sec. w końcu pierwszej sekundy odległość zmniejszy się o wielkość

$$V + V_c \cdot \cos q = 70 + 50 \cos 30^\circ = 70 + 50 \cdot 0,86 = 70 + 43 = 113 \text{ m.}$$

Kurs samolotu atakowanego zmienia się bardzo szybko. Ruch samolotu atakującego odbywa się według tzw. *krzywej pogoni*. Krzywizna wzrasta ze wzrostem początkowego kursu celu, wobec czego zawsze korzystniejsze są małe kursy.



Rys. 183. Zmniejszanie się odległości przy strzelaniu z k. m. pilota.

Na rys. 184 linia pozioma przedstawia drogę samolotu atakowanego lecącego z szybkością 50 m/sec. Krzywe linie są *krzywymi pogoni*; Krzywe te są drogami samolotu atakującego, lecącego z szybkością 70 m/sec. przy ciągłym naprowadzaniu na cel karabinów maszynowych pilota¹).

Samoloty dwumiejscowe i wielomiejscowe, wyposażone w k. m. ruchome na obrotniku mogą wybierać takie drogi i takie szybkości lotu, by ich kurs, a więc i kąt wychylenia broni pozostawały prawie bez zmiany.

Jak widać z rys. 185 kąty wychylenia broni samolotu - celu zmieniają się bez przerwy, gdy kąty wychylenia samolotu atakującego pozostają prawie bez zmiany.

Taki ruch wzdłuż krzywej o stałym kącie wychylenia broni, czyli wzdłuż *loksodromy ogniowej* jest korzystny dla atakującego.

Przeciętne wielkości rozrzutu przy różnych szybkościach ką-

¹ Ruch będzie odbywać się wzdłuż krzywej pogoni tylko przy odległościach małych, gdy możliwe jest strzelanie. Jeśli odległości te są większe niż odległość skutecznego strzału, krzywa pogoni traci rację bytu, gdyż dopędzanie celu w ten sposób trwałoby dłużej niż przy zastosowaniu innego sposobu pościgu. Najkorzystniejszy sposób polega na tym, by samolot ścigany był widoczny z samolotu ścigającego pod stałym kątem (przypp. tłum.).

towych celu. Rozrzut przy strzelaniu w locie zależy w głównej mierze od szybkości kątowej celu.

Przy obliczeniach przybliżonych, przyjąć można podane niżej wielkości średnicy koła rozrzutu, równej $8 U$ (osiem uchyłen prawdopodobnych), wyrażając je w setnych częściach odległości.

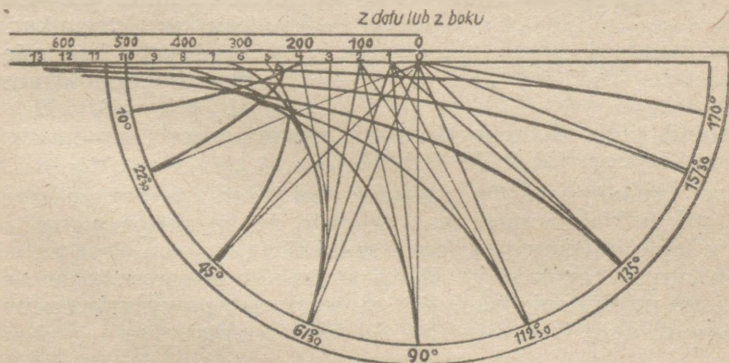
1 k. m. pilota.

Szybkość kątowa 0° .

Strzelanie do tarczy lub do samolotu z przodu lub z tyłu — $8 U = 0,02 D$.

Szybkość kątowa 6° .

Strzelanie przy kursie równym 90° , $8 U = 0,08 D$.



Rys. 184. Ruch myśliwca ($V = 70$ m/sec.) przy atakowaniu samolotu rozpoznawczego ($P_c = 50$ m/sec.) dla różnych początkowych kursów celu.

Wypadki pośrednie.

Przy kursie 15°	$8 U = 0,03 D$,
" " 30°	$8 U = 0,03 D$,
" " 50°	$8 U = 0,05 D$,
" " $60 - 70^\circ$	$8 U = 0,06 D$.

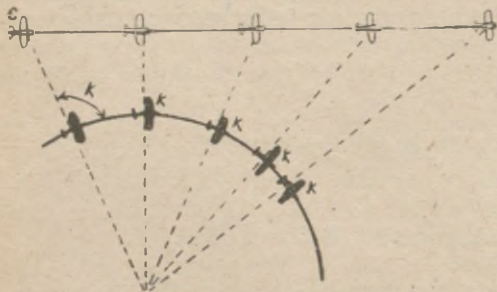
Przy kursach przeciwnych rozrzut jest większy o 50 % od podanych wyżej norm wskutek konieczności szybszego celowania.

2. Dla zdwojonych k. m. obserwatora.

Szybkość kątowa 0° . Strzelanie do celu lecącego kursem równoległym i zgodnym — $8 U = 0,03 D$.

Szybkość kątowna 6° .

Strzelanie do celu lecącego kursem prostopadłym, kąt między kursami 90° , $8 U = 0,06 D$.



Rys. 185. Loksodroma ogniowa — krzywa stałego kursu względnego strzelca k

Szybkość kątowna 12° . Strzelanie przy kursach równoległych i przeciwnych — $8 U = 0,12 D$.

Pojedynczy k. m. obserwatora daje rozrzut o 30 % mniejszy.

Wypadki pośrednie.

Strzelanie przy ruchu w kierunkach zgodnych, kąt między drogami wynosi 45° , $8 U = 0,05 D$.

Strzelanie przy ruchu w kierunkach przeciwnych, kąt między drogami wynosi 45° , $8 U = 0,09 D$.

Inne wypadki należy podciągnąć pod jeden z wyżej wyszczególnionych. Należy mieć na względzie, że rozrzut przy strzelaniu w locie zależy jest, poza szybkością kątowną, jeszcze od wielu innych czynników, jak np. stanu atmosfery, widoczności celu, kąta wychylenia broni itd.; ze względów powyższych przytoczone tu dane traktować należy jako orientacyjne.

Przykład 100. Obliczyć rozrzut przy strzelaniu do rękawa dla warunków następujących:

1. k. m. obserwatora przy kursach równoległych zgodnych, przeciwnych oraz przecinających się pod kątem 90° ,
2. k. m. pilota przy strzelaniu z tyłu oraz przy kursie celu 90° .
Odległość strzelania 400 m.

Rozwiązanie. Dla k. m. obserwatora:

1. przy kursach równoległych i zgodnych, gdy szybkość kątowna celu wynosi 0° , średnica koła rozrzutu

$$8 U = 0,03 D = 0,03 \cdot 400 = 12 \text{ m};$$

2. przy kursach równoległych i przeciwnych, gdy szybkość kątowna celu wynosi 12° na sekundę, średnica koła rozrzutu

$$8 U = 0,12 D = 0,12 \cdot 400 = 48 \text{ m};$$

3. przy kursach przecinających się gdy kąt między kierunkami szybkości wynosi 90° , średnica rozrzutu

$$8 U = 0,06 D = 0,06 \cdot 400 = 24 \text{ m}.$$

Dla k. m. pilota:

1. przy strzelaniu z tyłu, gdy szybkość kątowna celu wynosi 0° , średnica koła rozrzutu

$$8 U = 0,02 D = 0,02 \cdot 400 = 8 \text{ m};$$

2. przy strzelaniu w kierunku prostopadłym do kierunku lotu celu

$$8 U = 0,08 D = 0,08 \cdot 400 = 32 \text{ m}.$$

Rodzaje ognia i długość serii. Szybkość celu latającego względem strzelca zmieniać się może w bardzo szerokich granicach; waha się ona od 0, przy kursach równoległych i zgodnych, do 200 m/sek mniej więcej (przy kursach przeciwnych). Gdy szybkość celu jest stosunkowo mała — 1° na sekundę, czyli 15—20 tysięcznych na sekundę, strzelec ma możliwość ciągłego prowadzenia broni za celem, strzelając krótkimi seriami.

Taki rodzaj ognia zowie się *ogniem towarzyszącym*.

W przytoczonym powyżej wypadku warunki celności są korzystne. Cel umieszcza się w pierścieniu celowniczym stosownie do jego przypuszczalnej szybkości z uwzględnieniem obliczeń. Należy przedsięwziąć środki zmierzające do zmniejszenia rozrzutu, jak krótkie serie, pewna postawa strzelca, śledzenie zachowania się muszki wiatrowej, a w razie stwierdzenia nieprawidłowości jej położenia, użycie do celowania słupka nieruchomego muszki.

W wypadkach gdy cel przesuwają się z szybkością kątowną 2 — 3° na sekundę należy brać wyprzedzenie nie ściśle według skrótu sylwetki, lecz zwiększyć je o jedną czwartą lub też o połowę. Przed celem stworzyć należy przestrzeń rażoną, wypełnioną pociskami.

Ogień prowadzi się seriami o średniej długości, mianowicie po 5—6 nabojów, śledząc by cel wszedł w pierścień i przesunął się ku jego środkowi o $1/4$ promienia poza punkt celowniczy, odpowiadający skrótowni sylwetki.

Ten rodzaj ognia zowie się *ogniem zaporowym*.

Przy kursach przeciwnych wyprzedzenie bierze się dwa do trzech razy większe niż to wypadłoby z obliczeń i oddaje się jedną długą serią z 8 — 10 nabojów, jako ogień zaporowy.

Przy charakteryzowaniu długości serii przyjęte są następujące określenia:

seria krótka 2 — 4 nab.

„ średnia 5 — 7 „

„ długa 8 — 12 „

§ 38. Określenie odległości. Przed otwarciem ognia strzelec musi zdać sobie sprawę na jakiej odległości znajduje się cel i umieć odróżnić odległość ognia bezpośredniego od odle-

głości, przy których musi być już brana poprawka na kąt celownika (§ 34).

Jakiegokolwiek byłyby warunki walki określenie odległości jest nieuniknione.

Według danych zagranicznych (w tym i sowieckich) przyjęć można, że wielkość błędu prawdopodobnego przy określeniu odległości na oko wynosi około 15% odległości; przy posługiwaniu się natomiast najprostszymi przedmiotami pomocniczymi, jak częściami celownika, samolotu lub palcami ręki, błąd wyniesie 10%, przy przyrządach optycznych 5%.

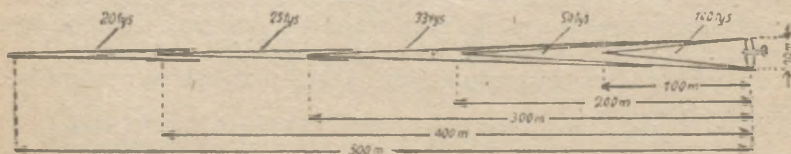
W powietrzu, gdzie nie ma żadnych przedmiotów otoczenia, określenie odległości jest trudniejsze, lecz zarazem zagadnienie upraszcza znajomość wielkości celu, którym jest samolot.

Ocena odległości na oko. Ocena odległości na oko polega na odróżnianiu stopnia widoczności poszczególnych przedmiotów. Każdy strzelec po długotrwałym szkoleniu musi sobie wyrobić regułę indywidualną, podobną do niżej podanej:

- 70 m — widać oczy, nos;
- 200 m — można rozróżnić zarys głowy i pleców;
- 300 m — rozróżnia się plamy kolorowe, z których składa się obraz człowieka;
- 400 m — widać poszczególne mniejsze części samolotu, jak stójki, statecznik itp.; widać głowy załogi;
- 800 m — widać większe części samolotu: skrzydła, kadłub, koła.

Wrażenia wzrokowe poszczególnych ludzi są różne, wobec czego nie można ustalić reguły ogólnej, a każdy musi zapamiętać takie obrazy, które najbardziej wpadają mu w oko i utrwalają mu się w pamięci w miarę nabierania doświadczenia.

Określenie odległości za pomocą urządzeń pomocniczych. Najwygodniej określić odległość porównując kąt, pod którym się widzi przedmiot znajdujący się na mierzonej odległości



Rys. 186. Zmiana kąta widzialności zależnie od odległości.

oraz kąt, pod którym widzi się pomocniczy przyrząd pomiarowy; przy pomiarze takim trzeba znać jeden z wymiarów przedmiotu, znajdującego się na mierzonej odległości.

Najprostszym narzędziem pomiaru są palce ręki. Szerokość konca palca wynosi przeciętnie około 1,8 cm. Jeśli wyciągniemy rękę przed siebie, trzymając dłoń do góry i zegniamiy dłoń u nasady palców, to palce będą oddalone od oka o długość około 60 cm. Posługując się wzorem (10), określającym kąt w tysięcznych, możemy napisać

$$Y = \frac{S}{D} \cdot 1000 = \frac{1,8}{60} \cdot 1000 = 30 \text{ tysięcznych.}$$

Przyjmujemy więc, że wymiar kątowy palca przy ustawieniu ręki w sposób opisany wyżej wynosi 30 tysięcznych. Pozostaje jeszcze ułożenie tabelki kątów widzialności przedmiotu, do którego należy określić odległość. Na przykład określamy odległość do samolotu o rozpiętości 10 m. Obliczamy kąty widzenia (rys. 136) co 100 m, przy czym wystarczy przeliczyć bezpośrednio kąt dla jednej tylko odległości, a dla pozostałych znaleźć go ze stosunku proporcjonalności.

Dla 100 m

$$Y = \frac{S}{D} \cdot 1000 = \frac{10}{100} \cdot 1000 = 100 \text{ tysięcznych.}$$

Znajdujemy kąty dla odległości do 2000 m i zestawiamy w tabelę 16, która jest łatwa do zapamiętania. Przy posługiwaniu się praktycznym wystarczy dla określenia odległości porównać rozpiętość, kąt widzenia samolotu oraz kąt przyrządu pomiarowego.

Przykład 101. Określić odległość do samolotu o rozpiętości 10 m. Dowódca samolotu wyciągnąwszy rękę, którą oparł na burcie (by jej nie znosił napór powietrza), stwierdził, że samolot nieprzyjaciela odpowiada kątowo $\frac{1}{3}$ szerokości palca.

Rozwiązanie. Szerokość kątowa palca równa jest 30 tysięcznym, a więc kąt, pod którym widziany jest samolot, wynosi

$$30 \cdot \frac{1}{3} = 10 \text{ tysięcznych.}$$

Z tabeli widać, że kątowi 10 tysięczn. odpowiada odległość 1000 m.

Praca w powietrzu powinna się odbywać w sposób, opisany w przykładzie. Nie wykluczone jest przy tym określenie odległości na oko, co uzupełnia obliczenia.

Tabela 16

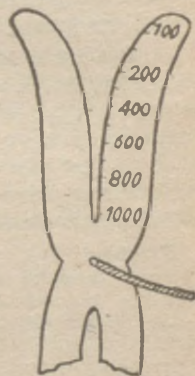
Kąty widzialności celu o wymiarze 10 m z odległości od 100 do 2000 m

Odalenie w m	Kąt widzialności w tysięcznych dla rozpiętości 10 m
100	100
200	50
300	33
400	25
500	20
600	17
800	13
1000	10
1500	7
2000	5

Płytką miernicza. Płytką miernicza z wycięciem i kreskami (rys. 188) jest urządzeniem bardzo prostym i wygodnym w użyciu.

Na wprost każdej podziałki umieszczona jest liczba wskazująca odległość, przy której cel mieści się ściśle w wycięciu. Przy wskazanej więc odległości szerokość kątowna wycięcia równa jest szerokości kątowej celu. Płytką może mieć dwa wycięcia, odpowiadające różnym wymiarom celu.

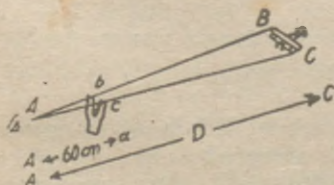
Przez środek płytki mierniczej przeciągnięta jest linka o długości 60 cm. Przy posługiwaniu się płytką strzelec trzyma koniec nitki oznaczony węzełkiem w zębach lub też przywiązuje go do kołnierza, a samą płytkę mierniczą oddala od oka na długość nitki, która musi być wyciągnięta, aby utrzymać stałą odległość. Dla uwzględnienia skrótu sylwetki należy utrzymywać płaszczyznę płytki równoległą do przedniej krawędzi skrzydeł samolotu - celu, a jeśli wycięcie płytki dostosowane jest do wymiarów kadłuba, to równoległą do kierunku kadłuba.



Rys. 188.
Płytką miernicza.

Obliczenia wymiarów płytki przeprowadza się wychodząc z podobieństwa trójkątów (rys. 189).

Oko strzelca znajduje się w punkcie A. Odcinek Aa — odalenie przyrządu od oka = 60 cm = 0,6 m; bc — szerokość wycięcia; BC — wymiar celu; AC — odległość D



Rys. 189. Użycie płytki mierniczej.

$$\frac{bc}{BC} = \frac{Aa}{AC}$$

Jeśli odległość wynosi 500 m, a rozpiętość — 10 m, to szerokość wycięcia w miejscu odpowiadającym 500 m wynosi

$$bc = \frac{BC \cdot Aa}{AC} = \frac{10 \cdot 0,6}{500} = 0,012 \text{ m,}$$

czyli $bc = 12 \text{ mm.}$

Określenie odległości za pomocą lornetki artyleryjskiej. Lornetka artyleryjska ma w polu widzenia siatkę z podziałkami w tysięcznych (rys. 190).

Wartość jednej podziałki ograniczonej kreskami długimi wynosi 10 tysięcznych. Wartość podziałki zawartej między kreską długą i krótką wynosi 5 tysięcznych.

Określenie odległości wykonuje się według bazy nieprzyjaciela. Mając tabelę szerokości katowej danego celu dla różnych odległości możemy według zmierzonego kąta odczytać z tabeli odległość.

Przykład 103. Dowódca statku zmierzył lornetką szerokość katową samolotu nieprzyjaciela, która wyniosła $5\frac{1}{2}$ małych podziałek lornetki. Określić odległość do celu, jeśli rozpiętość celu wynosi 15 m.

Rozwiązanie. Szerokość katowa celu wynosi

$$5 \cdot 5\frac{1}{2} = 27,5 \cong 28 \text{ tysięcznych.}$$

Cel jest $1\frac{1}{2}$ razy większy niż ten, dla którego sporządzono tabelę 16, wobec czego wielkości katowe podane w niej należy pomnożyć przez $1\frac{1}{2}$.

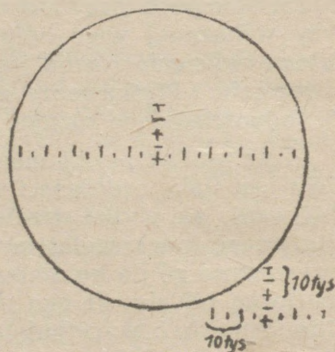
Dla 500 m: $20 \cdot 1\frac{1}{2} = 30$ tysięcznych,

dla 600 m: $17 \cdot 1\frac{1}{2} \cong 26$ tysięcznych.

Otrzymany kąt 28 tysięcznych znajduje się pomiędzy 26 i 30 tysięcznymi, wobec czego odległość zawarta jest między 500 a 600 m i wynosi około 550 m.

Dokładne obliczenie można wykonać posługując się wzorem (10)

$$D = \frac{S}{Y} \cdot 1000 = \frac{15}{28} \cdot 1000 = 536 \text{ m.}$$



Rys. 190. Siatka lornetki artyleryjskiej.

§ 39. Właściwości bojowe samolotów. Zdolność samolotu do prowadzenia walki powietrznej uwarunkowana jest jego uzbrojeniem oraz właściwościami lotnymi. Konstrukcja samolotu musi zapewniać jak najlepsze warunki prowadzenia ognia, jak najmniej kłopotować pracę strzelca przy manipulowaniu bronią, który musi mieć ponadto jak najlepszą widoczność. Przy strzelaniu z k.m. lub armatki ustawionych na podstawie ruchomej strefa ostrzału jest ograniczona powierzchnią nieprawidłowego stożka o wierzchołku leżącym w punkcie obrotu broni, którego tworzącymi są proste przeprowadzone przez wierzchołek i krańcowe punkty zarysu samolotu.

Część przestrzeni ostrzeliwana ogniem broni ruchomej znajdującej się na samolocie zwie się *połem ostrzału*.

Część przestrzeni leżąca poza możliwością ostrzału zwie się *martwym połem ostrzału*.

Dla samolotu wojkowego bardzo ważne jest zagadnienie widoczności. Każde ze stanowisk członków załogi daje możliwość widzenia tylko pewnej części przestrzeni.

Część ta ograniczona jest powierzchnią stożkową utworzoną promieniami widzenia przechodzącymi przez krańcowe punkty zarysu samolotu. Każde położenie obserwującego ma swoje właściwe pole widoczności. Przestrzeń, leżąca poza polem widoczności, zwie się *martwym polem widoczności*.

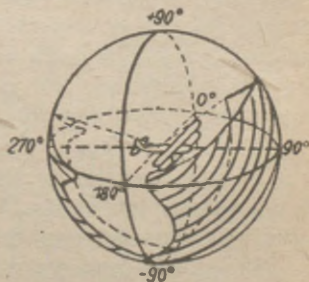
Wymiary pól ostrzału i widoczności są głównymi charakterystykami samolotu wojkowego. Dla należytego użycia bojowego samolotu jest rzeczą bardzo ważną znajomość tych charakterystyk, ze względu na należyte wyzyskanie środków ogniowych i możliwości obserwacji.

Aby poznać te charakterystyki musimy mieć metodę wyznaczania pól ostrzału i widoczności.

Istnieją następujące sposoby przedstawienia pól widoczności i ostrzału samolotu:

- A) sposób rzutów kulistych,
- B) sposób rzutów prostokątnych,
- C) sposób sześciannów.

A. *Sposób rzutów kulistych* przy wyznaczeniu ostrzału i widoczności. Jak wskazuje sama nazwa, granicę przestrzeni ostrzeliwanej rzutuje się na powierzchnię kulistą, opisaną ze środka obrotu broni dowolnym promieniem obejmującą cały samolot (rys. 191). Aby przedstawić wyraźnie sposób rzutowania, wyobraźmy sobie, że w środku obrotu broni znajduje się punkt świetlny, który na wewnętrzną powierzchnię kuli rzuca światło. Nie cała powierzchnia będzie oświetlona, będą tam również i pola ciemne — cienie rzucone przez samolot. Pola te nie zostały oświetlone, dlatego że promienie idące z punktu świetlnego napotkały na swej drodze zarys części samolotu. Jeśli zamiast punktu świetlnego znajdzie się w środku kuli przegub z osadzonym nań karabinem, to zamiast promieni świetlnych będzie-



Rys. 191. Powierzchnia kulista opisana dookoła punktu obrotu broni; na powierzchni tej leży rzut martwego pola.

my mieli przedłużenie lufy karabina maszynowego; jeśli pominiemy niewielkie obniżenie pocisku na torze, to przyjąć możemy, że wzdłuż tych promieni będą szły pociski. Pola znajdujące się w cieniu są w strefie, leżącej poza możliwością ostrzału, czyli znajdują się w martwym polu ostrzału.

Jeśli punkt świetlny zastąpimy okiem strzelca, to pola oświetlone będą leżały w strefie widocznej, a pola ciemne w strefie niewidocznej.

Strefa rażona i strefa martwa mierzone są w stopniach. Dowolny kierunek może być wyznaczony za pomocą dwóch kątów — kąta nachylenia do poziomu i kąta nachylenia do pionu. Dla pomiaru tych kątów na powierzchni kulistej wykreśla się południki i równoleżniki podobne jak to ma miejsce w globusach geograficznych. Linie te wykreślone są co 10° .

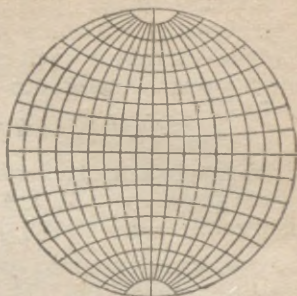
Dla pomiaru kątów poziomych przeprowadza się płaszczyznę pionową, prostopadłą do kierunku samolotu; płaszczyzna ta dzieli kulę na dwie półkule — przednią i tylną. Południkiem wyjściowym dla pomiarów jest południk lewy (patrząc w kierunku lotu). Kąty odmierzane są w kierunku zgodnym z ruchem wskazówki zegara, czyli przedni południk będzie oznaczony cechą 90° , prawy 180° , tylny 270° . Kąt określający położenie południka zwie się *azymutem*.

Pomiar kątów w płaszczyźnie pionowej dokonywany jest od płaszczyzny poziomej przechodzącej przez środek kuli. Płaszczyzna ta przecina powierzchnię kuli wzdłuż równika. Kierunek do góry jest dodatni, kierunek w dół ujemny. Każdemu kątowi odpowiada na powierzchni kuli koło równoległe do równika zwane równoleżnikiem.

W dalszym ciągu rzuty kuliste stref ostrzału lub widoczności wraz z siatką kątów należy w sposób dogodny do użycia przedstawić na rysunku. Przyjęty jest tu sposób stosowany przy wykreślaniu map geograficznych.

Na arkuszu papieru wykreśla się dwa koła przedstawiające rzuty półkul, jeśli się patrzy na nie od wewnątrz kuli. Równik i południk środkowy leżący w płaszczyźnie pionowej przechodzącej przez płaszczyznę symetrii samolotu rzutują się jako linie proste. Każdą z tych prostych dzielimy na 18 części po 9 w każdą stronę od środka. Cały obwód koła podzielony zostanie w ten sposób na 36 części zawierające każda po 10° . Prowadzimy następnie pozostałe południki i rów-

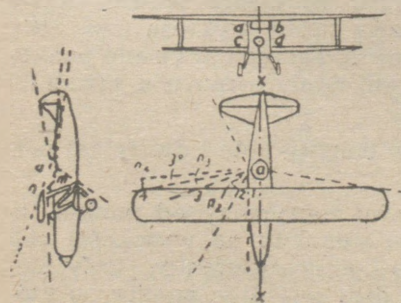
noleżniki oraz dzielimy je na równe części. Otrzymamy siatkę (rys. 192), na której zaznaczamy stopnie. Zmierzywszy kąty ostrzału i widoczności samolotu zaznaczamy je na siatce. Dzięki stosowaniu siatki, w której południki i równoleżniki podzielone są na równe części, południki skrajne nie będą tak zgęszczone jak by to było przy rzutowaniu prostokątnym. Trzeba mieć na względzie, że strefy ostrzału i widoczności są tu rzutowane na powierzchnię kulistą, wobec czego ten sposób nosi nazwę sposobu rzutów kulistych. Rysowanie natomiast półkul jako kół nie jest rzutowaniem, lecz pewnym umówionym sposobem przedstawiania rzutów kulistych.



Rys 192. Siatka do wyznaczania rzutów kulistych pół ostrzału i widoczności.

Wskażmy teraz jak w praktyce wykreśla się rzuty kuliste.

1. *Wykreślanie rzutów kulistych pół widoczności lub ostrzału według rysunków.* Do tego sposobu używany jest zwykły rysunek fabryczny zestawienia samolotu w 3 rzutach — z góry, z boku i z przodu (rys. 193). Wiadomo, że do strzelania w dół pałak obrotnika opuszczony zostaje w położenie dolne, do strzelania zaś w górę podnosi się; te przesuw pałaka zapewniają maksymalny ostrzał. Poza tym jasne jest, że k. m. przerzucony jest na tę burtę, z której ma się odbyć strzelanie. W ten sposób dla każdej z burt mamy po 2 punkty — dolny i górny — czyli razem mamy już 4 punkty. Wobec symetrii układu można się ograniczyć do 2 tylko punktów. W rzucie



Rys. 193.

Wyznaczenie współrzędnych biegunowych poszczególnych punktów zarysu samolotu.

poziomym kryją się wzajemnie górne i dolne punkty, w rzucie zaś bocznym (profilu) prawe i lewe. Oznaczmy te punkty literami *a*, *b*, *c*, *d*. Przygotujmy zawczasu siatki dla przedniej i tylnej półkuli.

Jako przykład rozpatrzmy prawy górny punkt *a*. Oznaczmy na zarysie rzutu poziomego samolotu kilka punktów 1, 2, 3 i 4 i po-

prowadźmy przez punkty te proste łączące je z punktem a ; otrzymamy wówczas proste a_1, a_2, a_3, a_4 . Zmierzymy kąt pomiędzy każdą z tych prostych, a kierunkiem równoległym do osi symetrii samolotu

$$\alpha a_1 = 0^\circ, \alpha a_2 = 30^\circ, \alpha a_3 = 70^\circ, \alpha a_4 = 80^\circ.$$

W rzucie bocznym samolotu oznaczmy punkt n , który jest rzutem punktów 1, 2, 3, 4. Mierzmy długość prostopadłej nm (od punktu n do prostej ax) i kąt $nam = 12^\circ$.

Powróćmy teraz do rzutu poziomego (planu) i zróbmy konstrukcję pomocniczą. Przez punkty 2, 3, 4 prowadzimy prostopadłe o długości nm do prostych a_2, a_3, a_4 ; końce tych prostopadłych łączymy z punktem a . Otrzymamy kąty: $\angle na_4 = 3^\circ$, $\angle na_3 = 4^\circ$, $\angle na_2 = 8^\circ$. Kąt przy punkcie 1 otrzymamy z rzutu bocznego $\angle nam = 12^\circ$. Dla każdego z punktów zarysu skrzydła mamy więc już kąty poziome i pionowe,

a mianowicie dla punktu 1: 0° i 12° ; dla punktu 2: 30° i 8° ; dla punktu 3: 70° i 4° . Widok z przodu nie był wykorzystany przy konstrukcji; może on być potrzebny tylko wówczas, gdy na prostopadłych dwóch rzutach brak jest jakiegoś punktu potrzebnego do konstrukcji.



Rys. 194. Martwe pole ostrzału w przedniej półkuli (w rzucie kulistym).

Mając dwa kąty dla każdego punktu możemy na siatce wyznaczyć położenie odpowiadające tym punktom; ze względu na symetrię budujemy od razu prawą i lewą stronę wykresu (rys. 194),

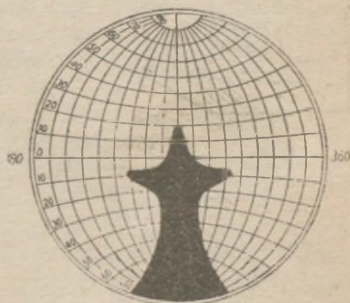
czyli dla burty prawej i burty lewej. Łącząc otrzymane punkty otrzymamy granicę górną martwej strefy ostrzału w przedniej półkuli.

W ten sam sposób rysujemy martwe pole i dla tylnej półkuli (rys. 195).

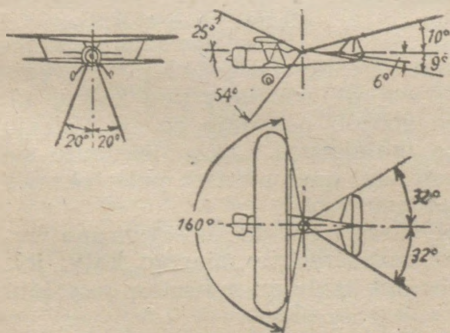
Przy wyznaczaniu widoczności zaczynamy od punktu leżącego w płaszczyźnie symetrii samolotu na wysokości oka obserwatora; w ten sam sposób budujemy granicę strefy niewidocznej; bierzemy następnie dwa sąsiednie punkty, w których może się znaleźć oko obserwatora przy krańcowym wychyleniu.

Granice strefy niewidocznej odpowiadającej położeniom wychylonym oka oznaczamy linią kreskowaną.

2. Wyznaczenie rzutu kulistego stożków widoczności i ostrzału za pomocą pomiaru. Pomiary są wykonywane bezpośrednio na samym samolocie za pomocą jakiegokolwiek przyrządu pozwalającego na pomiar kątów w płaszczyźnie poziomej i pionowej. Przyrząd pomiarowy ustawia się w 4 punktach odpowiadających krańcowym wychyleniom podstawy broni (po 2 punkty z każdej strony samolotu). Skalę kątów poziomych przyrządu pomiarowego umieścić należy równolegle do płaszczyzny obrotnika, który zazwyczaj jest równoległy do linii lotu. Oznaczając szereg punktów na samolocie, wykonuje się pomiar współrzędnych kątowych każdego z nich, po czym punkty te zaznacza się na odpowiedniej siatce przygotowanej dla półkul przedniej i tylnej (rys. 192); punkty te dają granicę strefy ostrzału. Strefę widoczności oznacza się



Rys. 195. Martwe pole ostrzału w tylnej półkuli (w rzucie kulistym).



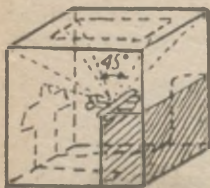
Rys. 196. Martwe pole ostrzału przedstawione w rzutach prostokątnych.

najpierw z jednego punktu odpowiadającego położeniu oka obserwatora; następnie, przesuwając przyrząd kolejno do punktów sąsiednich, odpowiadających możliwym wychyleniom oka, oznacza się za pomocą linii kreskowanej granicę dodatkową.

Sposób rzutów kulistych jest najbardziej jasny i najbardziej wyczerpujący spośród spo-

sobów charakteryzujących pola widoczności i ostrzału. Ujemną stroną tego sposobu jest konieczność dość skomplikowanych pomiarów kąta przed zaznaczeniem ich na wykresie.

B. Sposób rzutów prostokątnych jest najprostszy, najstarszy wśród stosowanych, lecz zarazem najmniej przejrzyste i dokładnie przedstawia pola widoczności i ostrzału samolotu.



Rys. 197.
Rzut martwych pól widoczności i ostrzału na ścianę sześcianu.

Wyobraźmy sobie znów punkt świetlny, znajdujący się w miejscu przegubu, na którym osadzona jest broń lub też w miejscu oka obserwatora. Części samolotu znajdujące się na drodze promieni idących z tego punktu dadzą strefy cienia. Stożki leżące poza możliwością ostrzału lub widoczności ograniczone są analogicznymi promieniami. Na rysunku przedstawia się je w trzech rzutach (rys. 196).

C. Sposób sześcianów. Jest to sposób prosty i wystarczająco przejrzysty w praktyce. Samolot przedstawiamy sobie jako umieszczony wewnątrz sześcianu w taki sposób, by punkt przecięcia się przekątnych leżał w punkcie obrotu broni lub też w miejscu oka obserwatora (rys. 197).



Rys. 198. Przedstawienie martwych pól widoczności i ostrzału sposobem sześcianu.

Każda ze ścian obejmuje kąt równy 90° zarówno w płaszczyźnie poziomej, jak i pionowej. 6 ścian dadzą obrazy przodu, tyłu, dwóch boków, góry i dołu samolotu w ob-

rzębie 90° . Aby w przybliżeniu określić wielkość kątów w każdej ze ścian umieszczamy kwadrat, widziany pod kątem 45° ze środka sześcianu; w ten sposób powstaje coś w rodzaju uproszczonej siatki. Ocenę mniejszych kątów dokonuje się na oko. Obliczając pole ostrzału, oraz martwe pole, określa się następnie ich stosunek procentowy.

Oznaczenie na siatce pól ostrzału i widoczności można wykonać albo z rysunku, albo bezpośrednio mierząc kąty, jak w poprzednim sposobie, albo też rzutując sylwetkę samolotu na ekran (rys. 198).

Sposób ten znajduje szerokie zastosowanie w lotnictwach obcych, a ze względu na swą prostotę zasługuje na uwagę.

§ 40. Typy samolotów bojowych i ich właściwości ogniowe.

Samolot myśliwski. Zadaniem samolotu myśliwskiego jest odnalezienie nieprzyjaciela w powietrzu na podstawie wskazań OPL, spotkanie go lub pościg, stoczenie z nim walki oraz zniszczenie go. Konstrukcja samolotu musi być podporządkowana celom, jakim służy samolot myśliwski; z tych

względów każdy samolot myśliwski musi mieć dużą szybkość poziomą, dużą szybkość wznoszenia się, dużą zwrotność czyli zdolność do wykonywania szybkich i ostrych skrętów, ewolucyj oraz zmian szybkości, potężne uzbrojenie i dobrą widoczność.

Zadośćuczynienie pierwszym trzem właściwościami może być dokonane kosztem zmniejszenia wymiarów i ciężaru samolotu, wobec czego typowym samolotem myśliwskim jest samolot jednomiejscowy oraz powstający obecnie samolot dwumiejscowy. Ponadto osiąga się zmniejszenie ciężaru kosztem zmniejszenia ilości materiałów pędnych; we współczesnych samolotach myśliwskich ilość materiałów pędnych wystarcza na 2—3 godziny lotu.

W konstrukcji samolotów myśliwskich istnieje stała tendencja zwiększania szybkości poziomej oraz szybkości wznoszenia się.

Są również samoloty myśliwskie uzbrojone w 4 k.m.

Wzrost mocy prowadzi do zaniku różnicy we właściwościach samolotów myśliwskich jednomiejscowego i dwumiejscowego.

Dużą wadą samolotu jednomiejscowego jest brak ostrzału oraz widoczności do tyłu, co zmusza do ciągłego manewrowania. Ponadto nieruchome ustawienie k.m. zmusza do wykonywania natarcia tylko w kierunku ruchu własnego; ułatwia to nieprzyjacielowi prowadzenie ognia obronnego, gdyż odpada konieczność brania poprawki. Z chwilą ukończenia natarcia samolot jednomiejscowy staje się bezbronny i musi przerwać ogień.

Polepszenie warunków widoczności samolotu jednomiejscowego osiąga się przez odpowiednie ukształtowanie skrzydeł, jak np. zastosowanie skrzydeł wygiętych przy kadłubie, co daje widoczność w dół, w przód i w górę.

Rozpiętość skrzydeł wynosi zwykle około 10 m, długość kadłuba 7—8 m.

Znajomość wymiarów sylwetek jest konieczna do wyznaczenia na oko odległości.

Strzelec samolotu myśliwskiego dwumiejscowego siedzi zwykle głąboko w kadłubie, osłonięty jest wiatrochronem i ma k.m. umieszczone nie na obrotniku, lecz na przegubie. Taki k.m. przewidziany jest do strzelania w tył; ostrzał na boki jest trudny. Jako przykład może służyć k. m. tylny w niemieckich samolotach K—47.

W ostatnich czasach ukazały się samoloty myśliwskie uzbrojone w działko. Działko systemu Oerlikon o kalibrze 20 mm, a szybkości początkowej 835 m/sek., ustawione jest na silniku Hispano-Suiza. Działko waży 48 kg. Ładownik zawierający 60 naboju waży 25 kg. Moc silnika wynosi 600 KM.

Firma Farman również wypuściła samolot uzbrojony w działko.

Silnik dostosowany do działka ma reduktor. Wał śmigła jest wydrążony dla umieszczenia w nim lufy działka. Części nieruchome działka osadzone są na karterze silnika.

Potęga ogniowa samolotu zależy od wydajności ognia, jaki rozwinąć może jego broń w poszczególnych strefach pola ostrzału. Jednomiejscowy samolot myśliwski ma tył zupełnie bezbronny, a przód jego uzbrojony jest w 2 lub 4 k. m. W dążeniu do uzyskania jak najlepszej zwrotności w wielu konstrukcjach samolotów zrezygnowano z 4 k.m. Kwestia ilości karabinów nie jest jednak jeszcze definitywnie rozstrzygnięta. Ilość naboju na każdy karabin w samolocie myśliwskim wynosi 500 do 1000.

Przyjmując, że szybkostrzelność współczesnego k. m. wynosi około 1200 strz/min, czyli 20 strz/sek., otrzymamy wydajność ognia dla samolotu uzbrojonego w 2 k. m. wynoszącą 40 strzałów na sekundę. Samolot myśliwski uzbrojony w armatkę ma wydajność ognia 3—4 strzały na sekundę.

Ostatnie typy francuskich samolotów myśliwskich mają k. m. w skrzydłach, strzelające poza płaszczyznę śmigła. Dzięki temu instalacja k. m. jest prostsza, gdyż odpada synchronizacja oraz utrzymana zostaje pełna szybkostrzelność własna k. m., bowiem k. m. strzelające przez śmigło mają szybkostrzelność dławioną przy pewnych obrotach śmigła.

Działka kalibru średniego, lub nawet większego znajdują również zastosowanie na samolotach. Jeśli chodzi o kalibry większe, to może być mowa tylko o działkach bezodrzutowych, jak na przykład działko Dawisa, strzelające równocześnie w dwóch przeciwnych kierunkach. Szybkostrzelność takich działek nie może być jednak duża, a dotychczas wyniki strzelań nie zostały ujawnione. Należy jednak przypuszczać, że działka te stać się mogą poważnym niebezpieczeństwem dla większych ugrupowań ciężkich samolotów.

Powierzchnia czuła jednomiejscowego samolotu myśliwskiego, czyli pole, w które trafienie chociażby jednym pociskiem obezwładni samolot, wynosi przeciętnie: z przodu i z tyłu 0,8 m, z boku 1,5 m, z góry 1,2 m, a pod kątem 45° z dołu lub z góry 1,2 m.

Całkowita powierzchnia czuła składa się z czułych pól silnika, zbiorników i pilota. Silnik może być przedstawiony jako równoległoscian o wymiarach $1,5 \times 1,0 \times 0,7$ m, zbiorniki na 300 kg paliwa — $0,8 \times 0,8 \times 0,6$ m, a pilot $0,2 \times 0,8 \times 0,6$ m.

— **Samolot dwumiejscowy rozpoznawczy, bombowy lekki, szturmowy.** Samoloty dwumiejscowe rozpoznawcze i bombowe lekkie uzbrojone są w jeden k. m. pilota, strzelający przez śmigło oraz w dwa k. m. tylne umieszczone na obrotniku. Uzbrojenie zaczepne (k. m. przednie) w porównaniu z samolotem myśliwskim dwumiejscowym zostało zredukowane, uzbrojenie obronne wzmocnione.

Przy dużych szybkościach samolotu parcie powietrza utrudnia prowadzenie ognia obserwatorowi, broniącemu półkulę tylną i częściowo przednią. W praktyce stwierdzono, że obserwator może prowadzić ogień bez większego wysiłku we wszystkich kierunkach do szybkości 160 km/godz. W granicach 160—180 km/godz. trudne już jest prowadzenie ognia w dolnej półkuli, gdyż strzelec musi wychylać się ponad kadłub. Przy szybkościach 180—200 km/godz. zwroty karabinami, zwłaszcza zdwojonymi, wymagają już bardzo wielkiego wysiłku, a przy szybkościach powyżej 200 km/godz. strzelanie z kabin nieosłoniętych jest prawie niemożliwe. Samoloty nowoczesne mają osłonięte kabiny obserwatora.

Po wojnie światowej czynione były próby zastosowania k. m. strzelającego w dół pod ogon przez otwór w podłodze kadłuba dla obrony w kierunku tył-dół.

Prób tych zaniesiano,¹⁾ wychodząc z założenia, że martwe pole przy locie grupowym bronione będzie przez samoloty sąsiednie, samolot zaś pojedynczy bronić się będzie manewrem.

Wydajność ognia k. m. przedniego wynosi do 20 strzałów na sekundę, k. m. tylnych 40 strzałów na sekundę, przyjmując że samoloty wyposażone są w k. m. o szybkostrzelności 1200 strz/min. Dotacja amunicji wynosi około 500 nabojów na k. m. Bardzo możliwe, że przyszła wojna zmusi do kilkukrotnego zwiększenia dotacji amunicji i doprowadzenia jej do 1000—2000 nabojów na karabin.

Samolot szturmowy ma za zadanie zwalczanie celów na ziemi ogniem k. m. i bombardowaniem.

¹⁾ Na samolotach dwumiejscowych (przyp. tłumacza).

Ponieważ właściwością działania samolotu szturmowego jest lot na małej wysokości oraz zaskoczenie niebezpieczeństwo zaatakowania z powietrza przez myśliwców nieprzyjaciela nie zagraża mu w tym stopniu, co niebezpieczeństwo ze strony OPL naziemnej.

Typowym samolotem szturmowym jest samolot amerykański Curtiss — A8 z silnikiem o mocy 600 KM. Szybkość maksymalna wynosi 320 km/godz. czas lotu 3,5 godz. Samolot jest uzbrojony w 6 k.m. i unosi 210 kg bomb. Pułap wynosi 6000 m, czas wznoszenia się na 5000 m 20 minut. Z posiadanych k.m. dwa ustawione są na obrotniku, pozostałe cztery strzelają do przodu.

Powierzchnia czuła samolotu rozpoznawczego, bombowego lekkiego i szturmowego składa się z czułych pół silnika, zbiorników, pilota i obserwatora. Wynosi ona:

z tyłu i z przodu	1 m ² ,
z boku	2 m ² ,
z góry	1,5 m ² ,
pod kątem 45°	2 m ² .

Każdą z czułych części składowych przedstawić można jako równoległoscian:

silnik — $1,2 \times 0,8 \times 0,7$ m,
 zbiorniki na 600 l — $1,0 \times 0,8 \times 0,7$ m,
 pilot lub obserwator po $0,2 \times 1,2 \times 0,4$ m.
 Rozpiętość samolotu wynosi około 15 m.
 Długość kadłuba wynosi około 10 m.

Samolot bombowy ciężki. Samolot bombowy ciężki ma uzbrojenie o charakterze obronnym.

Ciężkie samoloty bombowe uzbrojone są tak, by miały ostrzał we wszystkich kierunkach. Najsilniej broniona jest górna półkula, w niektórych jej miejscach krzyżuje się ogień z dwóch lub nawet trzech stanowisk k.m. Wydajność ognia samolotu bombardującego waha się w granicach od 40 do 120 strzałów na sekundę¹).

Poważną wadą ciężkiego samolotu bombardującego są duże wymiary powierzchni czulej. Można przyjąć, że samolot staje się niezdolny do wykonania zadania przy trafieniu w jeden z jego silników. Aczkolwiek możliwy jest dalszy lot na pozostałych silnikach, lecz znaczna część ładunku bomb musi być wyrzucona bezużytecznie.

Na powierzchnię czułą samolotu składają się pola silników i zbiorników. Członkowie załogi ciężkiego samolotu bombowego mogą się wzajemnie zastępować, a równocześnie zabicie obydwóch pilotów jest mało prawdopodobne.

Całkowita powierzchnia czuła dwusilnikowego samolotu bombowego:

z przodu i z tyłu	4 m ²
z boku	2 m ²
pod kątem 45°	6 m ²

Całkowita powierzchnia czuła czterosilnikowego samolotu bombowego:

z przodu i z tyłu	8 m ²
z boku	3 m ²
pod kątem 45°	12 m ²

¹ W ostatnich czasach istnieje jednak tendencja znacznego zwiększenia szybkości samolotu bombowego kosztem zmniejszenia uzbrojenia obronnego (przyp. tłum.).

§ 41. **Właściwości bojowe uzbrojenia lotniczego.** Uzbrojenie samolotów stanowić mogą k. m. normalnego kalibru (6 — 8 mm), k. m. dużego kalibru (11 — 14 mm), działka małokalibrowe, a tytułem próby stosowane bywają również i działka o średnim kalibrze bezodrzutowe¹⁾.

K. m. normalnego kalibru. Szybkość ruchu względnego celu oraz nieuniknione błędy przy strzelaniu z poprawką zmuszają do stosowania k. m. o dużej szybkostrzelności. Ponadto ze względu na warunki pracy w powietrzu, od k. m. lotniczych wymaga się dużej niezawodności w działaniu, lekkości oraz małych wymiarów.

Ze współczesnych k. m. wymienić można k. m. francuskie Chatelerault i Darne. K. m. Chatelerault o donoszeniu nabojów za pomocą ładownika może być używany jako ruchomy lub nieruchomy (w tym wypadku jako k. m. skrzydłowy).

Oto charakterystyki podstawowe tego k. m.:

długość	770 mm,
ciężar bez ładownika	8,8 kg,
szybkostrzelność 900—1000 strz/min., czyli 15—17 strz/sek.,	
chłodzenie powietrzne.	

K. m. Darne, typ wcześniejszy od Chatelerault, ma donoszenie nabojów za pomocą taśmy; szybkostrzelność 900 strzałów na minutę, czyli 15 strzałów na sekundę. K. m. ten stosowany jako nieruchomy uzgodniony (k. m. pilota) połączony jest za pomocą odpowiedniego przełącznika ruchu z przyrządem uzgadniającym, napędzanym przez silnik.

Obecnie jak wspomniano wyżej, istnieje tendencja unikania synchronizacji i ustawianie k. m. pilota poza płaszczyznę obrotu śmigła, gdyż synchronizacja komplikuje instalację i obniża szybkostrzelność. Działanie k. m. uzgodnionego (synchronizowanego) można sobie w sposób najprostszy wyobrazić tak: k. m. strzela ogniem pojedynczym, a nie ciągłym odpalanie zaś skutecznia śmigło, a jedynie powtarzanie k. m. (przeładowywanie) odbywa się automatycznie.

Strzał może paść tylko wówczas, gdy krawędź opływowa śmigła minie oś k. m. o 3 — 5 mm; jeśli w chwili tej odpalania nie było, to k. m. musi czekać aż do następnej takiej chwili, czyli aż drugie ramię śmigła minie oś k. m.

Opuszczanie okazji strzału zajdzie wówczas, gdy k. m. jeszcze nie jest gotów, czyli trzon nie doszedł do położenia przedniego, lub też wówczas, gdy k. m. jest już gotów, lecz śmigło

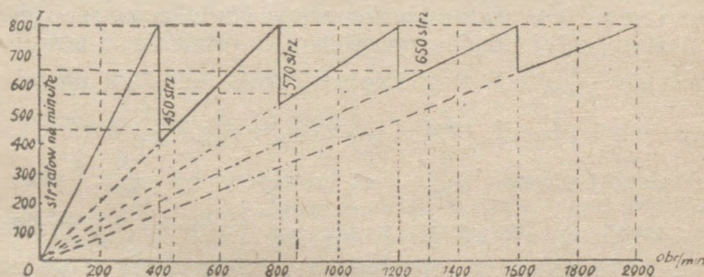
¹⁾ Na II wojnie światowej nie zostały zastosowane.

nie doszło do położenia właściwego. To wzajemne czekanie na siebie śmigła i mechanizmu k.m. obniża szybkostrzelność.

Wykres przedstawiony na rys. 199 podaje w sposób poglądowy to zjawisko. Na osi rzędnych odłożone są wielkości odpowiadające szybkostrzelności, a na osi odciętych ilość obrotów śmigła na minutę.

Wyobraźmy sobie, że szybkostrzelność maksymalna wynosi 800 strz/min., a śmigło ma 200 obr/min.

Przy śmigle dwuramiennym ramię śmigła minie wylot lufy 400 razy w ciągu minuty, wobec czego możliwe jest danie tylko 400 strzałów w ciągu minuty. Zwiększamy ilość obrotów



Rys. 199. Wykres szybkostrzelności k. m. uzgodnionego.

z 200 na 400 na minutę; stosownie do tego wzrośnie również ilość strzałów na minutę, gdyż dzięki szybkostrzelności własnej wynoszącej 800 strzałów na minutę, mechanizm karabinu zdąży wyrzucić łuskę, wprowadzić do lufy następny nabój i zaryglować do chwili ponownego minięcia wylotu lufy przez ramię śmigła.

Maksymalna szybkostrzelność uzgodniona będzie przy 400 strzałach na minutę; gdyż wówczas każde minięcie wylotu lufy przez ramię śmigła będzie wykorzystane.

Zwiększymy w dalszym ciągu obroty do 450 na minutę. Wówczas zauważymy, że ramię śmigła zdąży minąć wylot lufy, wówczas gdy k.m. nie będzie jeszcze gotów do strzału. Odstęp czasu pomiędzy poszczególnymi minięciami lufy przez śmigło wyniesie $1/900$ minuty (ponieważ ilość obrotów na minutę wyniesie 450, a śmigło ma dwa ramiona). K.m. jest zaś gotów do strzału co $1/800$ minuty, wobec czego śmigło zdąży już uciec. K.m. jest więc w stanie dawać strzały co drugie ramię. Jaką otrzymamy wówczas szybkostrzelność? Jeśli strzał pada co drugie ramię, to strzałów będzie tyle, ile obro-

tów dwuramiennego śmigła, a więc przy 450 obr/min będzie 450 strzałów na minutę.

Ze wzrostem ilości obrotów wzrasta i ilość strzałów aż do osiągnięcia maksimum przy 800 obr/min.

Rozważmy teraz jakie będą skutki dalszego zwiększenia ilości obrotów na przykład do 850 na min.

Jak wiadomo, k.m. może strzelać co 1/800 min, ramiona śmigła zaś będą miały wylot lufy co

$$\frac{1}{2 \cdot 850} = \frac{1}{1700} \text{ min.}$$

Po pierwszym strzale, który spowoduje ramię Nr 1, lufę minie ramię Nr 2, później znów ramię Nr 1, lecz strzał jeszcze nie nastąpi, gdyż między przejściem 1. ramienia, a przejściem 2. upływie $\frac{1}{1700}$ sek oraz między przejściem 2. a następnym przejściem 1. $\frac{1}{1700}$ sek, czyli razem $\frac{1}{1700} + \frac{1}{1700} = \frac{1}{850}$ sek.

Ponieważ ułamek $\frac{1}{850}$ jest mniejszy od $\frac{1}{800}$, więc odstęp czasu $\frac{1}{850}$ jest krótszy niż $\frac{1}{800}$ potrzeba na przeładowanie broni. Karabin maszynowy minie dwukrotnie przez ramiona śmigła będzie czekał na trzecie przejście; w chwili gdy ramię Nr 2 minie go, nastąpi drugi strzał. Stanie się to po upływie $\frac{1}{1700} + \frac{1}{1700} + \frac{1}{1700} = \frac{3}{1700}$ min od chwili pierwszego strzału (ramię Nr 1 — strzał, ramię Nr 2 — nie ma strzału, ramię Nr 1 — nie ma strzału, ramię Nr 2 — strzał).

Jeśli odstęp między dwoma strzałami wynosi $\frac{3}{1700}$ minuty więc w ciągu minuty będzie $\frac{1}{\frac{3}{1700}} = \frac{1700}{3} = 570$ strzałów.

1700

Szybkostrzelność więc znów gwałtownie spada. Przy dalszym wzroście obrotów szybkostrzelność znów wzrasta i dochodzi do 800 strzałów, czyli do szybkostrzelności własnej przy 1200 obr/min (1200 = 400 · 3), gdy odstępy czasu między każdym trzecim przejściem śmigła będą równe odstępom potrzebnym na przeładowanie k. m.

Wzrost obrotów ponad 1200 spowoduje, że strzały odbywać się będą co czwarte przejście śmigła, maksimum zajdzie przy 1600 obr/min. itd. Pełna szybkostrzelność zachodzić będzie każdorazowo przy obrotach będących wielokrotnością $\frac{800}{2} = 400$, przy 400, 800, 1200, 1600, 2000 obr/min.

Rzeczywistą ilość strzałów na minutę łatwo określić, jeśli się wie ile razy ramię śmigła mija lufę pomiędzy dwoma kolejnymi strzałami. Z poprzednich rozważań wynika, że przy 1300 obr/min. strzał pada co czwarte ramię, a więc ilość strzałów:

$$N = \frac{2 \cdot 1300}{4} = 650 \text{ strzałów.}$$

We wzorze tym ilość ramion śmigła — 2. Ilość tę oznaczamy będziemy przez i ; 1300 — ilość obrotów śmigła, którą oznaczymy przez n , 4 — ilość przejęć ramienia śmigła odpowiadająca odstępowi między dwoma strzałami, którą oznaczymy przez K_0 . Możemy teraz napisać ogólny wzór na szybkostrzelność uzgodnioną (rzeczywistą)

$$N = \frac{i \cdot n}{K_0} \quad (111)$$

Wielkość K_0 określa się ze wzoru

$$K = \frac{i \cdot n}{m},$$

po zaokrągleniu wyniku do liczby całkowitej wzwyż, gdzie K — liczba ułamkowa, i — ilość ramion śmigła, n — ilość obrotów śmigła, m — szybkostrzelność własna k.m.

Jeśli powrócimy do ostatniego przykładu liczbowego, to $i = 2$, $n = 1300$, $m = 800$

$$K = \frac{i \cdot n}{m} = \frac{2 \cdot 1300}{800} = 3\frac{1}{4}.$$

Najbliższa liczba całkowita $K_0 = 4$. Łatwo możemy zauważyć, że jeśli z góry wiadomo, że K będzie liczbą całkowitą, czyli $K = K_0$, to podstawiając do wzoru (11) wartość K_0 otrzymamy

$$N = \frac{i \cdot n}{K_0} = \frac{i \cdot n}{i \cdot \frac{n}{m}} = \frac{i \cdot n}{i \cdot n} \cdot m = m.$$

Przykład 104. Obliczyć szybkostrzelność uzgodnioną k.m. wzór P. W. 1 przy szybkostrzelności własnej $m = 600$ strz/min., ilości obrotów silnika $n = 1100$ obr/min. i ilości ramion śmigła $i = 2$.

Rozwiązanie. Obliczamy ilość przejęć ramienia śmigła w odstępach między dwoma strzałami

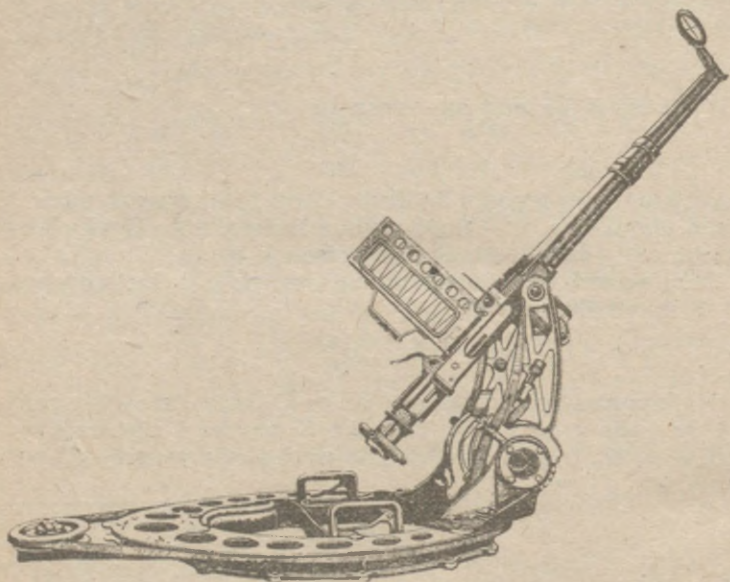
$$K = \frac{i \cdot n}{m} = \frac{2 \cdot 1100}{600} = \frac{2200}{600} = 3\frac{2}{3}.$$

Zaokrąglając mamy $K_0 = 4$; szybkostrzelność uzgodnioną ze wzoru (111) wyniesie

$$N = \frac{i \cdot n}{K_0} = \frac{2 \cdot 1100}{4} = 550 \text{ strz/min.}$$

W wypadku gdy w odstępie czasu potrzebnym do dania dwóch kolejnych strzałów mieści się całkowita liczba przejść ramienia śmigła, otrzymamy maksymalną szybkostrzelność uzgodnioną, równą szybkostrzelności własnej. W innych wypadkach szybkostrzelność uzgodniona będzie mniejsza od szybkostrzelności własnej.

Karabiny maszynowe dużego kalibru i działka lotnicze. Pocisk kal. 7,9 mm dość gwałtownie traci swą szybkość; jego siła żywa przy odległościach ponad 1000 m jest już nieznaczna i nie jest w stanie razić celu znajdującego się za pokryciem samolotu. W przewidywaniu więc wzrostu odległości walki po-



Rys. 200. Działko samoczynne Oerlikon wz. F. kal. 20 mm ustawione na obrotniku

wietrznej wiele państw przystąpiło do studiów nad zastosowaniem k. m. kalibru 11 — 14 mm i działek kalibru 20 — 40 mm.

Stosowany w St. Zjedn. A. P. k. m. Browning ma kaliber 12,7 mm, szybkość początkowa 760 m/sek przy pocisku 52 g; donośność jego równa jest 6400 m, a szybkostrzelność 800 strz/min.

Pociski kalibru 12 — 15 mm przy tej samej szybkości po-

czątkowej co i pociski 7 — 8 mm mają tor bardziej płaski ze względu na większe obciążenie przekroju; obciążenie to u Bronwninga wynosi 41,6 g/cm².

Angielski k. m. Vickers kal. 12,7 mm ma szybkość początkową 914 m/sek., przy ciężarze pocisku 43 g, donośności 5400 m i szybkostrzelności 960 strz/min.

K. m. większego kalibru może być użyty jako ruchomy na obrotniku albo też jako nieruchomy dla pilota.

W St. Zj. A. P. były próby użycia na samolocie myśliwskim 1 k. m. o kal. 7,8 mm i 1 k. m. o kal. 12,7 mm; ten typ uzbrojenia jednak nie znalazł jeszcze zastosowania w serii.

Działka małokalibrowe. Zastosowanie praktyczne znalazły dotychczas jedynie działka 20 mm. Typowym działkiem tego rodzaju jest działko Oerlikon (rys. 200) wyrabiane w trzech odmianach ¹). Charakterystyki wzorów L i F są następujące:

Wzór L

Długość działka	182 cm
Ciężar działka bez ładownika . . .	45 kg
Ciężar ładownika pustego	2,2 kg
Ciężar ładownika z 15 nabojami . .	5,6 kg
Ciężar pocisku	0,130 kg
Szybkostrzelność teoretyczna	350 strz/min
Szybkostrzelność praktyczna (ze zmianą ładowników)	125 strz/min
Szybkość początkowa	670 — 700 m/sek
Donośność	4000 m
Czas przelotu pocisku na 1000 m . .	2,3 sek
Rzędna maksymalna dla 1000 m . .	20 m

Wzór F

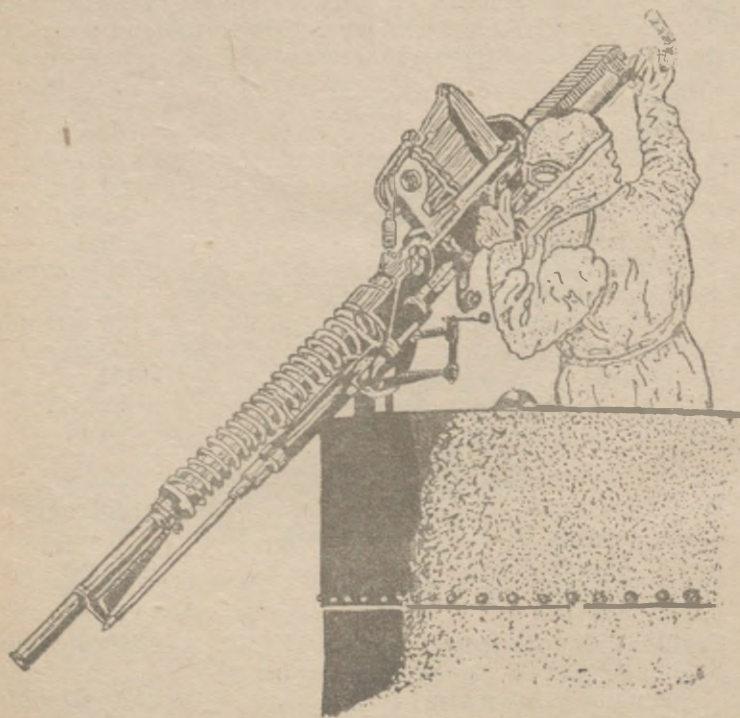
Długość działka	140 cm
Ciężar działka bez ładownika	30 kg
Ciężar ładownika pustego	1,9 kg
Ciężar ładownika z 15 nabojami . .	5 kg
Ciężar pocisku	0,130 kg
Szybkostrzelność teoretyczna	450 strz/min
Szybkostrzelność praktyczna (ze zmianą ładowników)	130 strz/min
Czas przelotu pocisku na 1000 m . .	3 sek
Rzędna maksymalna dla 1000 m . .	31 m

¹ W chwili obecnej odmian działek Oerlikon jest już więcej (przyp. tłum.).

Działko stosuje się jako ruchome na obrotniku, a jako nieruchome na silniku, przy czym lufa przechodzi przez piastę śmigła.

37 mm działko angielskie Vickers (rys. 201) ma charakterystyki następujące: ¹⁾

Kaliber	37 mm
Ciężar	90,72 kg
Długość działka	233 cm
Długość lufy	146,3 cm
Szybkość początkowa	594 m/sek
Ciężar pocisku	0,666 kg
Szybkostrzelność praktyczna ok.	100 strz/min



Rys. 201. Działko samoczynne Vickers-Armstrong kal. 37 mm na specjalnej podstawie.

¹⁾ Jako ruchome — nie zastosowane w II w. świat.

§ 42. Działanie pocisków karabinowych i działowych. Pociski lekkie. Pocisk zwykły kal. 7,62 wzór 1908 r. ma charakterystyki następujące:

Ciężar	9,6 g
Długość	29 — 32 mm czyli 3,8 kalibra
Szybkość początkowa	860 m/sec
Donośność największa	3400 m przy strzelaniu ziemnym.

Siła rażenia dostateczna przy donośności nie przekraczającej 2800 m (szybkość końcowa przy tej donośności — około 100 m/sec).

Obciążenie przekroju	21,2 g/cm ²
Nabój z pociskiem zwykłym:	
Długość	76 mm (10 ka- librów)
Ciężar	23 g
Ciężar 1 naboju z ogniwką metalowym do k. m. wzór P. W. 1.	32 g
Ciężar ładunku prochowego	3,2 g
Ciężar taśmy zawierającej 1000 nabojów	32 kg

Pocisk amerykański tego samego kalibru waży 9,72 g, długość 27,5 mm, obciążenie przekroju 21,4 g/cm², $v_0 = 820$ m/sec.

Pocisk japoński: kaliber 6,5 mm, ciężar 9 g, ciężar ładunku 2,15 g, obciążenie przekroju 27 g/cm² (zbliżone do pocisków ciężkich), szybkość początkowa 770 m/sec.

Niemiecki: kaliber 7,92 mm, ciężar 10 g, długość 28 mm, obciążenie przekroju 20,4 g/cm², $v_0 = 895$ m/sec.

Pociski lekkie we wszystkich państwach mają obciążenie przekroju zbliżone do 20 g/cm², a szybkość początkowa ponad 800 m/sec. Są one tanie w produkcji, a stosowane są do strzelania na odległości stosunkowo niewielkie (do 3000 m).

Pociski lekkie stosowane w Sowietach, Anglii, St. Zj. A. P. i Japonii mają płaszcz wykonywany z miękkiego metalu: melchioru, tombaku (stop cynku i miedzi) lub blachy żelaznej melchiorowanej. Wewnątrz znajduje się rdzeń ołowiany. Pocisk angielski ma część przednią ulzoną: część przednia rdzenia jest z aluminium, natomiast jego część środkowa i tył są z ołowiu z antymonem. Dzięki takiej konstrukcji pocisk jest bardzo stateczny.

Zdolność przebijania pocisku sowieckiego podana jest w tabeli na stronie następnej.

Tabela 17

Zdolność przebijania pocisków o ostrym szczycie

	Odległość od strzelca w m										
	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
	Zagłębianie się pocisku w m										
Zwir	0,10	0,05	0,02								
Tłuczeń	0,19	0,07	0,05	0,02							
Piasek mokry ubity	0,15	0,40	0,60	0,55	0,50	0,50	0,50	0,40	0,35	0,30	0,25
Gлина	0,40	0,80	1,00	0,80	0,60	—	—	—	—	—	—
Drzewo sosnowe	0,50	0,60	0,65	0,70	0,75	0,70	0,55	0,45	—	—	—
	Ilość desek przebijana										
Ilość desek 25 mm z przerwami 25 mm pomiędzy nimi	20	32	27	21	21	18	15	12	10	8	8

Pocisk ma dostateczną moc rażącą celu żywego, jeśli jest w stanie przebić deskę o grubości 25 mm lub też wnikać głęboko w tę deskę.

Przy strzelaniu na odległości mniejsze niż 70 m pocisk przy uderzeniu o przeszkodę deformuje się. Przekrój pocisku wskutek deformacji wzrasta, co przeszkadza większemu zagłębianiu w przeszkodę. Przy zagłębianiu w piasek lub też mocno ubitą ziemię pocisk rozbija się, ołów częściowo stapia się i miesza się z piaskiem; z tych względów przy bliskich odległościach strzału (około 50 m) pocisk wbija się zaledwie na 15 — 20 cm. Ze wzrostem odległości szybkość pocisku maleje, lecz na skutek zmniejszenia stopnia deformacji zagłębienie pocisku wzrasta. Zagłębienie osiąga maksimum wówczas, gdy pocisk przestaje się deformować, a przy dalszym zwiększaniu odległości, zagłębienie już zmniejsza się w miarę zmniejszania się szybkości. Poniżej podana jest tabela grubości poszczególnych materiałów, potrzebnych dla osłony przed pociskami przy dowolnych odległościach strzału.

Przytoczone w tej tabeli dane liczbowe dotyczą wypadku strzelania pojedynczym pociskiem.

Przy strzelaniu ogniem ciągłym do jednego i tego samego punktu z odległości bliższych osłony te mogą ulec przebicciu. Specjalnie niebezpieczna jest osłona z blachy żelaznej, którą można uszkodzić dość głęboko stopniowym niszczeniem pojedynczymi pociskami. Przy ogniu ciągłym w jeden punkt do

ziemi twardo ubitej można wydrążyć kanał o długości nawet 3 — 4 m, na co wskazują wyniki doświadczeń. Pociski drążą długi wąski kanał, po czym pociski następne przechodzą już przezeń bez żadnego oporu. Podobne zjawisko można zaobserwować przy strzelaniu do muru z cegieł.

Tabela podaje dane dla pancerza stalowego o średniej jakości.

Tabela 18

Najmniejsza potrzebna grubość osłony, chroniąca przed pociskiem lekkim przy wszystkich odległościach strzału

Materiał	Grubość w m	Materiał	Grubość w m
Pancerz stalowy	0,01	Ściana ze słomy	4,30
Blacha żelazna	0,02	Nasyp z piasku	0,90
Cegła	0,02	Nasyp z gliny	1,00
Żwir	0,12	Nasyp z darniny	1,00
Thuczeń	0,12	Nasyp z czarnoziemiu	1,50
Piasek w workach lub skrzyniach	0,70	Nasyp z ziemi błotn.	2,10
Ściana drewn. dębowa	0,70	Nasyp z torfu	2,90
Ściana drewn. sosnowa	0,90	Nasyp ze śniegu ubitego	3,50
Ściana z faszyń	1,50	Nasyp ze śniegu syp- kiego	4,30

Przebijalność płyty pancernej pociskiem lekkim jest słaba. Pocisk płaszczy się przy uderzeniu i wrywa kawałki znacznie większe od swej średnicy. Tarcze o grubości 6 mm pocisk sowiecki przebija z odległości 50 m.

Zdolność przebijania pocisku zależy od jego siły żywej. Dla rażenia człowieka potrzebna jest siła żywa $E = 8 \text{ kgm}$, którą pocisk ma jeszcze przy szybkości $v \cong 130 \text{ m/sek}$; dla rażenia załogi samolotu potrzebna jest siła żywa $E = 30 \text{ kgm}$, co odpowiada szybkości $v = 250 \text{ m/sek}$.

Dla zobrazowania skuteczności ognia przy strzelaniu pociskiem lekkim sowieckim przytoczona jest tabela sił żywych i szybkości końcowych przy różnych odległościach. Siłę żywą oblicza się ze znanego wzoru mechaniki.

Mając na względzie, że rażenie załogi samolotu jest możliwe, przy szybkości końcowej $v = 250 \text{ m/sek}$, należy przyjąć, iż granicą dla odległości strzelania w locie przy użyciu pocisku lekkiego (ze względu na zdolność rażenia załogi) jest 1400 m. Natomiast uszkodzenie części silnika i samolotu możliwe jest do 800 m, co najwyżej zaś do 1000 m.

Na tych danych oparte jest twierdzenie, że kresem skuteczności ognia w walce powietrznej jest odległość 1000 m.

Tabela 19

Szybkości końcowe i siły żywe pocisku sowieckiego wz. 1908 przy różnych odległościach

Odległość od strzelca w m	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Szybkości końcowe w m/sek	710	580	475	390	325	280	250	225	205	185
Siły żywe w kgm	245	165	110	75	50	40	30	24	20	16

Odległość największa strzału bezpośredniego do celu latającego o wysokości 1 m przy strzelaniu pociskiem lekkim wynosi 600 m.

Pociski ciężkie. Pociski ciężkie o kalibrze 7 — 9 mm mają w porównaniu z pociskami lekkimi większe obciążenia przekroju, wynoszące około 25 g/cm². Zwiększenie obciążenia przekroju uzyskano tylko dzięki przedłużeniu pocisku do 5 kalibrów; konstrukcja pocisków pozostała bez zmian (rys.202). Ponieważ pocisk ciężki zespалany jest z identyczną łuską, więc ładunek prochu jest mniejszy.



Rys. 202. Pociski o rdzeniu otowianym w płaszczu.

Wskutek zmniejszenia ładunku i zwiększenia ciężaru pocisku jego szybkość początkowa jest mniejsza. Jednak, dzięki większemu obciążeniu przekroju, polepszono warunki lotu, co wyrównuje stratę szybkości początkowej już od odległości 500 m; powyżej tej odległości szybkości końcowe pocisku ciężkiego są już większe niż pocisku lekkiego. Maksymalna donośność pocisku ciężkiego wynosi 5100 m. Szybkość najmniejsza pocisku ciężkiego wynosi 125 m/sek. i ma miejsce przy odległości około 4000 m.

Tabela 20

Czas przelotu pocisków lekkich i ciężkich

Odległość w m	Czas przelotu	
	pocisku lekkiego	pocisku ciężkiego
100	0,10	0,12
400	0,55	0,57
800	1,45	1,45
1000	2,1	2,0
1200	2,8	2,57
2000	6,7	5,72
3000	20	11,0
4000	—	18,6
5000	—	30,6

Pocisk ciężki ma wystarczającą zdolność rażenia na całej długości lotu przy maksymalnej donośności, czyli na 5100 m.

Dla strzelania do załóg samolotów pocisk ciężki ma wystarczającą siłę żywą aż do odległości 1800 m. Odległość strzału bezpośredniego dla pocisku ciężkiego jest ta sama, co i dla pocisku lekkiego, czyli wynosi 600 m przy celu o wysokości 1 m. Dla porównania właściwości pocisków ciężkiego i lekkiego pod względem rażenia przytoczono tu tabelę czasów przelotu.

Przy odległości 800 m czas lotu obu pocisków jest jednakowy, przy dalszych pocisk ciężki zyskuje przewagę.

Tabela 21

Charakterystyki pocisków ciężkich

Wyszczególnienie	Wzory pocisków			
	niemiecki	francuski	angielski	amerykański
Kaliber	7,92	8	7,7	7,62
Ciężar pocisku w g	12,85	12,8	11,27	11,16
Ciężar ładunku w g	2,85	3,0	2,43	3,2
Długość pocisku w m	34,0	39,2	32,5	33,0
Szybkość początkowa w m/sek	785	700	745	825
Obciążenie poprzeczne w g/cm ²	26,2	25,5	24,0	24,6
	Grubość pancerza w mm			
Działanie przebijające ze 100 m		5		
Działanie przebijające z 200 m		4,5		
Działanie przebijające z 400 m		4		
Działanie przebijające z 1000 m		2,2		

Zdolność przebijania w stosunku do płyty pancernej nie może znacznie wzrosnąć, gdyż pocisk ciężki spłaszcza się tak samo przy uderzeniu, jak i pocisk lekki.

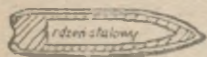
Należy również zauważyć, że w warunkach strzelania ziemnego pocisk ciężki ma mniejszy rozrzut niż pocisk lekki.

Szczyty pocisków ciężkich w armii sowieckiej są malowane na żółto.

Pociski przeciwpancerne. Jak mówiliśmy wyżej, pociski w płaszczu z rdzeniem ołowianym, przy uderzeniu o płytę pancerną ulegają deformacji i napotykają wobec zwiększenia swego przekroju na większy opór; z tego względu zdolność przebijania płyty pancernej jest tu znikoma. Pocisk przeciwpancerny (rys. 203) ma rdzeń stalowy, zawarty w koszulce ołowianej; zewnętrzną powłokę stanowi płaszcz melchiorowy, tombakowy lub melchiorowany.

Przy uderzeniu o twardą przeszkodę płaszcz i koszulka ulegają zniszczeniu, a rdzeń przenika w głąb przeszkody.

Charakterystyki pocisków przeciwpancernych o kal. 7 — 8 mm podane są w tabeli 22. Z tabeli tej widać, że obciążenie przekroju pocisków przeciwpancernych jest w wielu wypadkach zbliżone do obciążenia poprzecznego pocisków ciężkich.



Rys. 203. Pocisk przeciwpancerny.

Duże znaczenie ma kąt, pod którym pocisk uderza w pancerz — widać to z tabeli 23.

Kąt pomiędzy styczną do toru w punkcie uderzenia a płaszczyzną pancerza zowie się *kątem uderzenia*. Kąt pomiędzy styczną do toru w punkcie uderzenia a normalną do powierzchni rażonej zowie się *kątem trafienia*. Przy kątach trafienia przekraczających 15° zdolność przebijania spada dość gwałtownie, przy kątach około 45° zachodzą już odbicia.

Tabela 22

Charakterystyki pocisków przeciwpancernych

Wyszczególnienie	Niemiecki	Francuski	Angielski	Amerykański	Sowiecki wzór 1930
Kaliber w mm	7,92	8	7,7	7,62	7,62
Ciężar pocisku w g	11,55	9,6	9,6	10,9	10,7
Ciężar ładunku w g	2,9	3,2	2,54	3,24	3,05
Długość pocisku w mm	37,3	32,5	—	34,3	33,25
Szybkość początkowa w m/sek	815	800	840	820	825
Obciążenie przekroju w g/cm ²	23,5	19,1	20,6	24,0	25,6
Grubość pancerza w mm					
Działanie przebijające ze 100 m	11	—	5	—	—
Działanie przebijające z 200 m	10,5	10	5	—	—
Działanie przebijające z 400 m	9	5	4	—	7
Działanie przebijające z 1000 m	5,5	—	1,8	—	—

Po przebiciu pancerza pocisk powinien razić cel osłonięty tym pancerzem. Rażenie odbywa się albo rdzeniem pocisku, który przebił pancerz, albo też odłamkami pancerza, jeśli ich siła żywa jest nie mniejsza niż 8 kgm. Przy strzelaniu pociskiem niemieckim Smk do płyty o grubości 7 mm otrzymuje się wyniki podane w tabeli 24.

Szczyt pocisku przeciwpancernej armii. sowieckiej jest malowany na kolor czarny.

Pociski smugowe. Pociski smugowe używane były w czasie wojny światowej, lecz nieznaczna długość smugi (300 — 400 m) i brak niezawodności w działaniu nie pozwoliły na ich szersze rozpowszechnienie. W chwili obecnej konstrukcja ich została udoskonalona na tyle, że dają one już smugę o długości 1000 — 1200 m, a stosunkowo mały procent ich (około 5%) zawodzi. Dzięki tym cechom zyskują one dominujące znaczenie przy strzelaniu na średnie i duże odległości w walce powietrznej.

Większość pocisków smugowych ma konstrukcję przedstawioną na rys. 204. W płaszczu z tombaku lub blachy melchiorowanej wprasowany jest na $\frac{1}{3}$ jego długości rdzeń ołowiany, a za rdzeniem znajduje się miseczek zawierający masę świetlną. W tylnej części miseczki znajduje się podsypka, powodująca zapalenie masy świetlnej. Dno pocisku stanowi krążek z otworkiem o średnicy 1 — 1,5 mm, przez który przechodzi płomień z łuski.

Masa świetlna składa się z substancji łatwopalnych i bogatych w tlen, jak mieszanina soli baru, sproszkowanego glinu,

Tabela 23

Ilość pocisków przebijających 7 mm pancerz przy różnych kątach trafienia oraz różnych odległościach.

Odległość w m	Kąt trafienia		
	0°	15°	30°
	Procent pocisków skutecznie przebijających		
50	100	100	10
100	100	100	10
150	100	100	10
200	100	100	10
250	100	95	0
300	100	75	0
400	100	60	0
500	85	40	0
600	75	30	0
700	63	15	0
800	45	5	0

Tabela 24

Zdolność przebijania rdzenia pocisku przeciwpancernej oraz odłamków płyty pancernej po jej przebiciu.

Odległość w m	Rdzeń przebił	Odłamki płyty przebiły
300	5 desek	3 deski
400	4 deski	1 desekę
500	3 deski	1 desekę
550	3 deski	1 desekę
600	3 deski	1 desekę
700	2 deski	1 desekę

magnezu itp. Waga masy świetlnej wynosi 1 g; zapalenie się następuje w chwili strzału. Szczyt pocisku smugowego w armii sowieckiej malowany jest na kolor zielony.



Rys. 204.
Pocisk smugowy.

Tabela 25 zawiera dane dla kilku typów pocisków smugowych.

Tor pocisku smugowego różni się niewiele od toru pocisku lekkiego, wobec czego przy strzelaniu można posługiwać się tymi samymi tabelami. Skupienie jednak jest znacznie gorsze mniej więcej $1\frac{1}{2}$ — 2 krotnie. Zdolność przebijania pocisku smugowego jest zadawalająca, prawie taka sama, jak pocisku lekkiego.

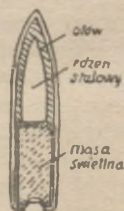
Tabela 25

Charakterystyki pocisków smugowych

Wyszczególnienie	Francuski	Angielski	Amerykański	Sowiecki wz. 1930
Kaliber w m	8	7,7	7,62	7,62
Ciężar pocisku w g	11,2	10,5	9,85	9,5
Ciężar ładunku w g	3,0	2,55	3,05	3,2
Długość pocisku w mm	39,2	36,0	36,08	38,4
Szybkość początkowa w m/sek	750	—	800	825
Największa długość smugi	—	1000	—	1200

Pocisk smugowy ma również własności zapalające i jest w stanie zapalić benzynę w zbiornikach lub gaz w balonach. Kolor smugi w pociskach bywa biały, czerwony lub zielony.

Pociski przeciwpancerno-światłne. Pocisk przeciwpancerno-światłny łączy w sobie własności smugowe i przebijające. Osiąga się to przez zastąpienie rdzenia ołowianego w części przedniej rdzeniem stalowym (rys. 205). Pomiedzy zewnętrznym płaszczem a rdzeniem znajduje się jeszcze koszulka ołowiana. Jakość pocisku tego rodzaju można ocenić na przykładzie pocisku niemieckiego LSP, który jest wzorem dobrze opracowanym. Pocisk LSP daje jaskrawą i równą smugę do 1000 m przy stosunkowo niedużej ilości ślepych (4%). Zdolność przebijania jest następująca:



Rys. 205. Pocisk przeciwpancerno-światłny.

płyte pancerną 7 mm z odległości 300 m przebija 75% pocisków

"	"	400 m	"	5%	"
"	"	450 m	"	5%	"

Porównując jego działanie z działaniem pocisku niemieckiego Smk, możemy zauważyć gwałtowne obniżenie zdolności przebijania. Pocisk Smk z odległości 400 m daje 100% przebić, a z odległości 500 m — 55%. Jednak przy celach latających, gdzie opancerzenie prawdopodobnie nie przekroczy grubości 5 mm, działanie pocisków przeciwpancerno-światlnych jest wystarczające. Pociski przeciwpancerno-światlne mają również i działanie zapalające.

Tabela 26

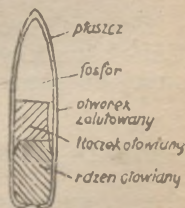
Charakterystyki pocisków przeciwpancerno - światlnych

Wyszczególnienie	Francuski	Niemiecki
Kaliber w mm	7,7 (do k.m. Lewis)*	7,92
Ciężar pocisku w g	9,2	10,34
Ciężar ładunku w g	3,0	3,0
Długość pocisku w mm	33,7	37,5
Szybkość początkowa w m/sek		860
Obciążenie przekroju w g/cm ²	20	21
Działanie przebijające na 400 m — płyta pancerna o grubości mm	6	6
Ditto na 1000 m	3	3

Pociski zapalające. Zadaniem pocisków zapalających jest zapalenie materiałów łatwopalnych, głównie benzyny w zbiornikach samolotów, a ponadto suchego drzewa i słomy. Stosownie do konstrukcji pociski zapalające podzielić można na dwa rodzaje: fosforowo zapalające oraz uderzeniowe.

Pociski fosforowe (rys. 206) składają się z płaszcza, w którym umieszczony jest bezpośrednio żółty fosfor, tłoczka ołowianego z rowkami wzdłuż tworzących oraz rdzenia dennego, nieruchomego, wprasowanego w płaszcz. W bocznej powierzchni płaszcza, na wprost jednego z rowków tłoczka wyciercony jest otwór o średnicy 1 mm, zalutowany następnie łatwopalnym metalem.

Przy strzale lut stapia się dopuszczając powietrze do fosforu. Wyciekający w nieznacznej ilości fosfor spala się; przy uderzeniu o przeszkodę tłoczek wyciska fosfor, który styka się z materiałem łatwopalnym.

Rys. 206.
Pocisk fosforowy.

Drugi rodzaj — pociski zapalające uderzeniowe (rys. 207) składają się z płaszcza oraz rdzenia ołowianego z wywierconą w nim tuleją. W dolnej części tulei znajduje się masa zapalająca, w górnej iglica mosiężna, a nad iglicą spłonka; w bocznej powierzchni iglicy wywiercony jest rowek. Przy uderzeniu pocisku o przeszkodę iglica zbija spłonkę; płomień ze spłonki przez rowek w iglicy przedostaje się do masy zapalającej.



Rys. 207.
Pocisk zapalający uderzeniowy.

Stwierdzono iż pociski zapalające, a zwłaszcza uderzeniowe, mają tę wadę, że przy przebijaniu zbiorników benzynowych nieopancerzonych z bliskich odległości nie powodują zapalenia benzyny, gdyż masa zapalająca nie zdąża rozpocząć działania. Cienkie opancerzenie zbiornika o grubości 3 — 4 mm polepsza warunki zapalenia, gdyż nie będąc w stanie zabezpieczyć przed przebicciem, zatrzymuje pocisk dając mu możliwość zapalenia.

Tabela 27

Charakterystyki pocisków zapalających

Wyszczególnienie	Francuski	Niemiecki	Angielski
Kaliber w mm	8	7,92	7,7
Ciężar pocisku w g	12,8	9,54	10
Ciężar ładunku w g	3,2	—	—
Długość pocisku w mm	39,6	37,2	37
Szybkość początkowa w m/sek	700	870	—
Obciążenie przekroju w g/cm ²	25,5	19,0	27,6

Działanie pocisków k. m. większego kalibru oraz pocisków działek lotniczych. Działanie przebijające tych pocisków w stosunku do pancerzy średniej jakości podane jest w tabeli 28.

Tabela 28

Działanie przebijające pocisków k. m. dużego kalibru przy kącie trafienia równym 0°

Typ k. m.	Odległość od celu w m			
	300	500	1000	1500
grubość przebijanej płyty pancernej w mm				
Browning	22	19	14	10
Hotchkiss	22,5	20	14,5	11
Fiat	24,5	22	15,5	11

Dla wyjaśnienia wpływu kąta trafienia na przebijanie pancerza średniej jakości podajemy w tabeli 29 dane dla c. k. m. Hotchkiss otrzymane w drodze przybliżonych obliczeń.

Tabela 29

Zdolność przebijania pancerza pociskiem k. m. Hotchkiss dużego kalibru przy różnych kątach trafienia

Kąt trafienia (w stopniach)	Odległość od celu w m.			
	300	500	1000	1500
0	22,5	20	14,5	13
10	20,5	18	13	10
20	17	15	11	8
30	12,5	11	8	8

Jak widać z ostatniej tabeli pancerz 8 — 10 mm zabezpiecza tylko w wypadku strzelania z odległości ponad 1000 m.

Konstrukcja pocisków k. m. dużych kalibrów jest analogiczna do konstrukcji pocisków 7 — 8 mm. Pociski te również mają płaszcz melchiorowy lub tombakowy, a rdzeń ołowiany; istnieją pociski przeciwpancerne, smugowe, przeciwpancerno-sświetlne; długość smugi sięga do 2 km.

Pociski działek lotniczych są rodzajów następujących: granaty, pociski przeciwpancerne oraz smugowe. Pociski te dla strzelania do celów latających zaopatrzone są w zapalniki bardzo czułe, działające nawet przy zetknięciu się z płótnem pokrycia samolotu.

Charakterystyki pocisków tego rodzaju ujmuje tabela 30.

Tabela 30

Zdolność przebijania pancerza pociskami działek małokalibrowych

Wzór	Kaliber w mm	Ciężar pocisku w kg	Szybkość początkowa w m/s	Grubość pancerza przebijanego w mm	Kąt trafienia w stopniach	Odległość w m
Oerlikon	20	0,130	700	15	0	700
				20	0	450
				25	0	250
				30	0	100
Vickers-Armstrong	37	0,560	670	10	0	3900
				20	0	980
				25	0	900
				30	0	620
Vickers	47	1,5	488	17	0	1500
				20	0	1000
				26	0	700
				30	0	300

Przyjmuje się, że dla skutecznego rażenia samolotu nie opancerzonego, bez względu na wymiar, wystarczają dwa trafienia pociskami 20 mm lub 1 trafienie pociskiem 37 mm. Pocisk 47 mm ma zatem nawet nadmiar siły rażenia.

§ 43. Opancerzenie samolotów. Rozwój potęgi ogniowej uzbrojenia lotniczego spowodował dążenie do zastosowania środków do podniesienia odporności samolotu. Podniesienie odporności samolotu może być osiągnięte przez przestrzeganie pewnych zasad konstrukcji oraz przez opancerzenie. Jeśli chodzi o konstrukcję, to do podniesienia odporności samolotu zmierza: zastosowanie dwóch lub więcej silników, podwójnego sterowania, takie umieszczenie linek do napędu sterów, by trafienie pociskiem 20 mm lub 37 mm nie unieruchomiło całego mechanizmu sterowego, prowadzenie linek w rurach, nadmiar wytrzymałości w założeniu, by częściowe uszkodzenie jednej lub nawet dwóch podłużnic nie powodowało katastrofy, wyrzucanie zbiorników, przejście na ciężkie paliwo, protegowanie zbiorników i przewodów, zmniejszenie powierzchni czułej przez umiędzynierne rozplanowanie odpowiedzialnych części samolotu, malowanie ochronne itp. Jednym ze środków obrony biernej samolotu jest również duża szybkość.

Wymienione wyżej żądania stawiają konstruktorowi szereg skomplikowanych zadań, które do dziś dnia nie zostały rozwiązane; samolot jest w dalszym ciągu tworem bardzo kruchym, łatwym do uszkodzenia.

Zagadnienie opancerzenia samolotów zapoczątkowane zostało z chwilą użycia samolotów do działań bojowych. Rozpoczęto od opancerzenia siedzenia pilota, później zaś zastosowano opancerzenie z dołu silnika i pilota w samolotach przeznaczonych do lotów niskich.

W dalszym ciągu próbowano stworzyć typ ciężkiego samolotu szturmowego opancerzonego z dołu i z boku.

Mimo wyraźnego dążenia do stosowania pancerzy, zagadnienie to nie zostało pozytywnie rozwiązane, gdyż opancerzenie zmniejsza ciężar użyteczny samolotu oraz obniża jego właściwości lotne.

Rozpatrzmy warunki, jakim winno odpowiadać opancerzenie części samolotu w zależności od przypuszczalnej potęgi ogniowej nieprzyjaciela.

W rozdziale o działaniu pocisków zostało wyjaśnione, że dla obrony przed pociskami przeciwpancernymi kal. 7 — 8 mm potrzebny jest pancerz o grubości około 10 mm. Przed pociskami k. m. dużego kalibru chroni pancerz o grubości 25 mm, a od pocisków 20 mm pancerz o grubości 30 mm.

Trafienia pocisków w kierunku prostopadłym do powierzchni są zjawiskami bardzo rzadkimi; z tego względu możemy poprzestać na założeniu zabezpieczenia przed pociskami trafiającymi pod kątem 20° . Przy takim założeniu trzeba mieć pancerz o grubości 8 mm dla ochrony przed pociskami kal. 7 — 8 mm, a pancerz o grubości około 17 mm dla ochrony przed pociskami k. m. dużego kalibru. Jeśli w dalszym ciągu ograniczymy swe wymagania do zabezpieczenia przed strzałami z odległości ponad 600 m, to wystarczy pancerz 5 mm przeciw pociskom 7 — 8 mm, a pancerz 15 mm przeciw pociskom k. m. dużego kalibru.

Konkretyzując, pancerz 5 mm: może do pewnego stopnia chronić przed pociskami przeciwpancernymi kal. 7 — 8 mm, a pancerz 15 mm przeciw pociskom k. m. dużego kalibru.

Obliczmy teraz ciężar metra kwadratowego pancerza. Objętość arkusza blachy o grubości 1 mm, czyli 0,1 cm o długości i szerokości 1 m wyniesie

$$100 \cdot 100 \cdot 0,1 = 1000 \text{ cm}^3.$$

Przyjmując ciężar właściwy stali równy $7,8 \text{ g/cm}^3$, otrzymamy ciężar takiego arkusza

$$7,8 \cdot 1000 = 7800 \text{ g} = 7,8 \text{ kg}.$$

Mając na względzie, że arkusz blachy pancernej ma nakładki i nity, które zwiększają jego ciężar, przyjmiemy z zaokrągleniem, że 1 m^2 o grubości 1 mm waży 8 kg.

Wówczas:

1 m^2 pancerza o grubości 5 mm waży 40 kg,

1 m^2 „ „ 15 mm „ 120 kg.

Jaką powierzchnię samolotu należałoby opancerzyć?

Miejscami czułymi są: silniki, zbiorniki oraz na samolotach jednomiejscowych pilot.

Wymiary instalacji silnika przyjmujemy:

długość 1,5 m, szerokość 0,7 m, wysokość 1 m.

Powierzchnia równoległoscianu, opisanego dookoła instalacji silnika, wynosi około 7 m^2 .

$$\frac{2 \cdot 0,7 \cdot 1,5}{\text{z góry}} + \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 1}{\text{z boku}} + \frac{2 \cdot 0,7 \cdot 1}{\text{z przodu}} = 6,5 \text{ m}^2.$$

Zbiorniki paliwa przedstawmy jako cylinder o pojemności 600 l cieczy.

Wymiary jego wynoszą:

długość tworzącej — 1,5 m,

średnica — 0,7 m.

Powierzchnia około 4 m^2 :

$$2 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,7^2}{4} + 3,14 \cdot 0,7 \cdot 1,5 \approx 4,1.$$

Przy jednym silniku i jednym zbiorniku powierzchnia całkowita wyniesie

$$6,5 + 4,1 = 10,6 \approx 11 \text{ m}^2.$$

Dla samolotu czterosilnikowego przy czterech zbiornikach powierzchnia wzrośnie do 44 m^2 . Pokrycie blachą 5 mm samolotu jednosilnikowego stwarza dodatkowy ciężar równy $40 \cdot 11 = 440 \text{ kg}$, a czterosilnikowego — 1760 kg . Jak widzimy stosunkowo słaby pancerz przekracza możliwości nośne samolotu. Próby w dziedzinie opancerzenia do dziś dnia mają charakter kompromisów w postaci częściowego opancerzenia najbardziej czułych elementów i zmniejszenia grubości pancerza do 4 a nawet do 3 mm .

§ 44. Przysrzeliwanie k. m. lotniczych. Przysrzelać karabin maszynowy na określoną odległość oznacza to uzyskać na tej odległości przecięcie się toru środkowego z linią celowania.

Przysrzeliwanie może być wykonane:

- 1) z odległości rzeczywistej, czyli wówczas gdy tarcza ustawiona jest na odległość odpowiadającej przysrzeliwaniu, jak na przykład 400 lub 600 m .
- 2) z odległości skróconej, czyli wówczas gdy tarcza ustawiona jest na odległości mniejszej niż odległość przysrzeliwania; na przykład — k. m. przysrzeliwuje się dla 400 m , a strzelanie odbywa się z 50 lub 100 m .

Pierwszy sposób daje niezbity dowód, że przecięcie się toru z linią celowania zaszło rzeczywiście na żądanej odległości. Sposób ten jednak wymaga dużych tarcz o wymiarach nie mniejszych niż $3 \times 3 \text{ m}$, dużej strzelnicy lub też pracy na poligonie przy wietrze nie większym niż 4 m/sek .

Drugi sposób wymaga przeprowadzenia wstępnych obliczeń, lecz za to może być stosowany na małej strzelnicy przy lotnisku w dowolnych warunkach atmosferycznych.

Każde przysrzeliwanie składa się z następujących czynności:

1. przygotowania danych obliczeniowych,
2. regulacji karabinów i celownika,
3. strzelania kontrolnego.

Przysrzeliwanie z odległości rzeczywistej. Tarczę umieszcza się w odległości odpowiadającej przysrzeliwaniu; na tarczy narysowane są dwa koła — górne dla celowania wzdłuż przewodu lufy i dolne dla skierowania weń linii celowania

oraz zebrania punktów trafień pocisków. Z tabel (dodatek 1 i 2) bierze się czas przelotu pocisku dla danej odległości, a ze wzoru na wolny spadek ciał (§ 6) oblicza się wielkość obniżenia pocisku w stosunku do osi lufy. Górne koło tarczy musi leżeć nad dolnym w odległości odpowiadającej obniżeniu (rys. 208).

Lufy k.m. muszą być skierowane w górne koło, a linia celowania w dolne koło. Po dokonaniu tej czynności należy przeprowadzić strzelanie kontrolne, dając 10 strzałów ogniem pojedynczym lub ciągłym.

W razie odchylenia trafień poza ustaloną granicę, należy nie zmieniając położenia broni skierować linię celowania na środek rozrzutu.

Szczegółowy sposób regulacji zależy od systemu samolotu i karabinów maszynowych określa instrukcja szczegółowa.

Przykład 105. Obliczyć obniżenie pocisku dla przystrzeliwania na odległość 400 m.

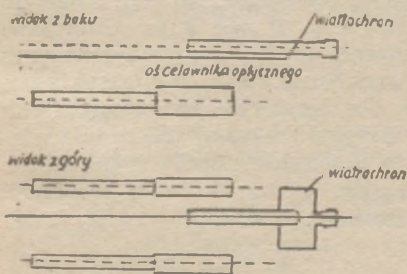
Czas przelotu pocisku (według tabeli dodatku 1)

$$t = 0,55 \text{ sek.}$$

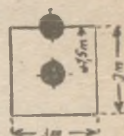
Rozwiązanie.

$$S = \frac{gt^2}{2} = \frac{9,8 \cdot 0,55^2}{2} = \frac{9,8 \cdot 0,3025}{2} = 1,45 \cong 1,5 \text{ m.}$$

Koło górne na tarczy powinno być w odległości 1,5 m nad dolnym.



Rys. 209. Schemat uzbrojenia samolotu (k. m. pilota uzgodnione).

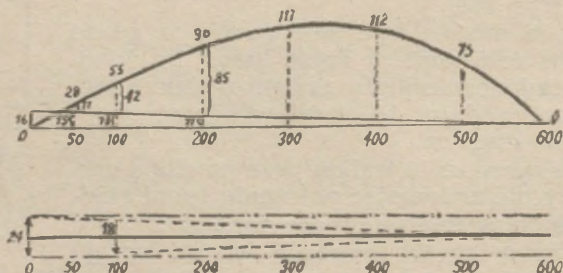


Rys. 208. Tarcza do przystrzeliwania k. m. z odległości rzeczywistej 400 m.

Przystrzeliwanie z odległości skróconej. Dla przystrzeliwania należy sporządzić schemat uzbrojenia z uwidocznieniem wzniesienia muszki lub osi celownika optycznego ponad oś lufy k.m. oraz odległości pomiędzy osiami k.m., jeśli ich jest dwa lub więcej (rys. 209).

Następnie należy wykonać schemat przystrzeliwania. Jeśli na samolocie mamy dwa lub kilka k.m., trzeba zrobić schematy przystrzeliwania poziomego i pionowego, a jeśli jeden, to tylko schemat przystrzeliwania pionowego. Schemat ten wskazuje wzajemne położenie linii celowania i toru pocisku; wykonuje się go tak, jak wskazano w § 14.

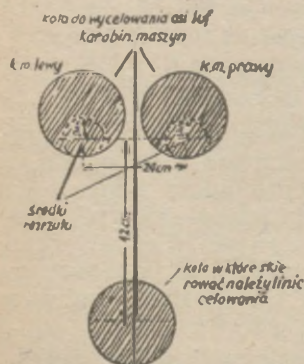
Z tego schematu znaleźć można wysokości toru ponad linią celowania dla każdej odległości leżącej w granicach odległości przystrzeliwania. Schemat przystrzeliwania poziomego wskazuje kierunki luf przy zbieżnym i równoległym ustawieniu (rys. 210).



Rys. 210. Schemat przystrzeliwania pionowego i poziomego na odległość 600 m.

Wychodzi się tu z założenia potwierdzonego zresztą całkowicie praktyką, że jeśli dla pewnej odległości otrzymamy położenie toru zgodne ze schematem, to i na pozostałej drodze lot pocisku będzie zgodny ze schematem.

Ze schematu bierzemy odległość między torem i linią celowania, a na tarczy umieszczamy koła rozstawione na tę odległość, koła te służą do skierowania w nie k.m. oraz linii celowania. Jeśli odległość skrócona nie przekracza 50 m, to obniżenia pocisku nie bierzemy pod uwagę, jeśli zaś odległość wynosi 100 m lub więcej, to obniżenie należy uwzględnić, podnosząc górne koło o wielkość obniżenia



Rys. 211. Schemat tarczy do strzelania kontrolnego z odległości 100 m przy przystrzeliwaniu.

$$S = \frac{gt^2}{2}$$

(czyli wówczas koło, w które skierowana będzie oś lufy, umieszczone będzie ponad torem).

Po wykonaniu regulacji odpowiadającej danemu typowi broni należy wykonać strzelanie kontrolne.

Dla otrzymania środka rozrzutu wystarczy dać z każdego k. m. po 4 strzały pojedyncze.

Przykład 106. Przygotować tarczę do przystrelania dwóch k.m. pilota dla odległości 600 m, korzystając ze strzelnicy 100 m. Wzniesienie muszki ponad oś lufy wynosi 16 cm, odległość między osiami k.m. — 24 cm.

Rozwiązanie. Wykonujemy schemat przystrelania pionowego na 600 m (rys. 210). Wzniesienie toru nad linią celowania dla odległości 100 m wynosi 42 cm. Obniżenie pocisku dla odległości 100 m

$$S = \frac{gt^2}{2} = \frac{9,8 \cdot 0,1^2}{2} = 0,049 \text{ m} \approx 5 \text{ cm}.$$

Na podstawie tych danych sporządzona jest tarcza (rys. 211).

Jeśli mamy 2 k.m., to dla każdego należy dać osobno koło górne, przesunięte względem środka tarczy o wielkość oddalenia osi k.m. od płaszczyzny symetrii samolotu.

Schemat przystrelania poziomego wskazuje, że odległość pozioma pomiędzy środkami rozrzutu nie powinna przekraczać 24 cm oraz nie powinna być mniejsza od 18 cm.

Strzelanie na strzelnicy i na poligonie. Strzelanie na strzelnicy lub na poligonie powinno dawać gwarancję bezpieczeństwa dla wykonawców oraz dla ludności okolicznej.

Na strzelnicy, której wał ma wysokość 5 m może się odbywać strzelanie szkolne z odległości nie większej niż 25 m, bowiem przy 50 m stwierdzono wypadki przelatywania pocisków ponad wałem. Strzelanie z odległości 50 m może być prowadzone przez dobrze wyszkolonych strzelców i to tylko dla kontroli k.m.

Strzelanie ziemne z k.m. pilota ustawionych na samolocie jest bardzo dokładne; trafienia nie wychodzą poza koło o średnicy 0,005 D, lecz przy przystreliwaniu z odległości powyżej 50 m w razie błędnego wycelowania mogą zajść odbicia.

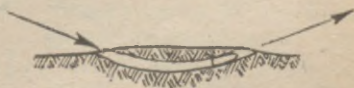
Po napotkaniu na opór gruntu pocisk traci ruch obrotowy z tej samej przyczyny, co w wypadku lotu w powietrzu, a następnie doznaje działania pary sił, dążącej do przewrócenia go. Jeśli kat upadku jest dość duży, to pocisk draży bruzdę (rys. 212) i wychodzi szczytem do przodu. Jeśli kat upadku jest bardzo mały, to może zajść odbicie.

Odbijanie się zależy od właściwości gleby; im gleba stawia słabszy opór przy wnikaniu pocisku, tym odbijanie się jest lepsze.

Grunt gliniasty, zorany i czarnoziem stawiają mniejszy opór niż grunty piaszczyste, a zwłaszcza pokryte zwirem lub kamieniste. Grunt twardy, suchy i równy sprzyja odbiciom.

Przy gruncie równym i twardym:

1. 100 % pocisków wystrzelonych z 200 m odbija się, przy czym 60 % z nich leci do 1000 m, a 15 % do 2000 m;
2. 90 % pocisków wystrzelonych z 600 m odbija się, a 15 % z nich leci do 1900 m;



Rys. 212. Odbicie pocisku.

3. 80 % pocisków wystrzelonych z 1400 m odbija się, a połowa ich leci do 2000 m;
4. 50 % pocisków wystrzelonych z 2000 m odbija się, a 10 % z nich leci do 2700 m; przy dalszej odległości strzału odbicia już na ogół nie zachodzą.

Przy strzelaniu w miejscowości wilgotnej i miękkim gruncie już poznaczając od 1400 m odbija się tylko połowa pocisków, a od 1800 m odbić prawie że nie ma.

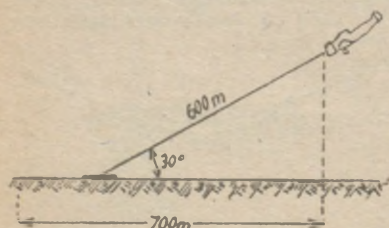
Przy strzelaniu na lodzie lub gruncie zamrożonym kule odbijają się nawet wówczas gdy padają pod kątem 30° , czyli przy największej donośności.

Największa wysokość jaką osiąga pocisk po odbiciu w miejscowości równej nie przekracza 15 m, przeważnie jednak pociski nie idą wyżej niż 10 m.

Powyżej 2500 m odbicia pocisku lekkiego zachodzą bardzo rzadko. Pocisk ciężki może odbić się do odległości 3000 a nawet 3500 m.

Po odbiciu pocisk odchyła się przeważnie w prawo nie dalej niż o 250 m; odchylenia w lewo są znacznie radsze i nie przekraczają 70 m. Z tego względu szerokość stref bezpieczeństwa przy strzelnicach wynosi 350 m w prawo i 150 m w lewo.

Przy strzelaniu z samolotu należy pamiętać, że pocisk zachowuje prawidłowy lot, czyli że leci sztywnym naprzód na całej swej drodze niezależnie od kąta podniesienia. Jedynie przy strzelaniu pionowo w górę lub pod kątami odchylonymi o $5 - 10^\circ$ od pionu prawidłowość lotu powrotnego jest naruszona, a więc pocisk nie ma już dostatecznej siły rażenia. Pocisk, zachowujący prawidłowy lot mimo straty szybkości w punkcie wierzchołkowym toru, w miarę zbliżania się do ziemi przy upadku zwiększa swą szybkość do 100 m/sek, co wystarcza w zupełności do ciężkiego zranienia.



Rys. 213. Pole do strzelania z nurkującego samolotu.

Przy strzelaniu w górę oraz na dużych wysokościach wskutek długotrwałości lotu pocisku odchylenia jego spowodowane wiatrem mogą dochodzić do 0,5 km w stosunku do punktu początkowego.

Donośność maksymalna pocisku wystrzelonego z samolotu może pod wpływem wiatru i szybkości własnej wzrosnąć o 1 km.

Donośność pocisku lekkiego przy strzelaniu z samolotu może osiągnąć 5000 m, ciężkiego zaś 6000 m.

Strzelanie z k. m. pilota do ziemi może się odbywać na ograniczonych powierzchniach, których wymiary określa się w zależności od kąta nurkowania i odległości strzału.

Przy kącie nurkowania 30° i odległości 600 m długość pola przeznaczonego do strzelania powinna wynosić 500 m, gdyż

$$600 \cdot \cos 30^\circ = 600 \cdot 0,87 = 522 \cong 500 \text{ m.}$$

Należy mieć również strefę bezpieczeństwa za tarczą, nie krótszą niż 200 m na wypadek strzałów opóźnionych i nie dopuszczać do strzelania pod kątami mniejszymi niż 25° , aby nie było odbić (rys. 213).

§ 45. Fotokarabin. Fotokarabin jest to przyrząd wyszkoleniowy do nauki celowania przy strzelaniu w locie.

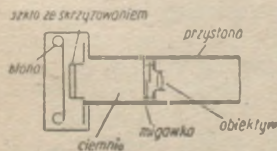
Jest to aparat fotograficzny długoogniskowy przystosowany do utrwalania na błonie położenia celu względem siatki; siatka ta ze swej strony zajmuje określone położenie względem przyrządu celowniczego.

Główne charakterystyki fotokarabina są następujące:

1. ogniskowa — 280 mm,
2. szybkość migawki około — 1/100 sek,
3. wymiar zdjęcia — 50×54 mm,
4. długość błony — 70 cm,
5. ilość zdjęć — 12.

Przed błoną znajduje się siatka ze skrzyżowaniem oraz kilka kołami koncentrycznymi. Zdjęcie celu otrzymuje się na tle tej siatki.

Fotokarabin (rys. 214) składa się z korpusu cylindrycznego, ciemni mechanizmu przymocowanego do korpusu ze strony tylnej, obiektywu, migawki i przysłony, uniemożliwiającej wejście promieni bocznych. Przesuwanie błony oraz nakręcanie migawki dokonuje się jednym ruchem ręki za pomocą dźwigni ładowniczej. Przesuwanie błony musi być wykonane przed każdym zdjęciem. Dźwignia spustowa, na którą naciska strzelec dla wykonania zdjęcia, połączona jest z migawką za pomocą linki Bowdena.



Rys. 214. Schemat fotokarabina.

Fotokarabin zaopatrzony jest w licznik ilości zdjęć oraz dźwignię do otwierania migawki.

Montaż fotokarabina. Fotokarabin może być używany jako ruchomy dla wyszkolenia obserwatorów i strzelców lub jako nieruchomy dla wyszkolenia pilotów.

Przy użyciu go jako fotokb. ruchomego jest on przymocowywany zwykle ze strony prawej do k. m. lub makiety k. m. Fotokarabin musi być zamontowany tak, by strzelec miał łatwy dostęp do dźwigni ładowniczej. Spust fotokarabina łączy się za pomocą linki Bowdena z językiem spustowym k. m. lub makiety.

Przy użyciu fotokb. do wyszkolenia pilota (jako nieruchomego) mocuje się go zwykle na specjalnym wsporniku. Spust fotokarabina łączy się z dźwignią spustową na drążku sterowym.

Fotokarabin nie powinien utrudniać dostępu do części płatowca i silnika, nie powinien zmniejszać pola widzenia pilota oraz przeszkadzać przy wsiadaniu do kabiny; zamocowanie jego powinno być dostatecznie sztywne.

Regulacja fotokarabina. Fotokb. powinien być wyregulowany tak, by jego oś optyczna przechodząca przez oś siatki była równoległa do linii celowania.

Przed regulacją należy zdjąć ładownik. By w trakcie dalszych czynności nie naruszać regulacji, należy obiektyw mieć przez cały czas otwarty. Przy regulacji fotokb. ruchomego należy ustawić go na specjalnym trójnogu, naprowadzić oś celownika sprzężonej z fotokb. broni na punkt odległy o, co najmniej, 400 m i w tym położeniu całość unieruchomić. Przy regulacji fotokb. nieruchomego należy skierować na odległy punkt linię celowania pilota.

Następną czynnością jest taka zmiana położenia osi optycznej fotokarabina przechodzącej przez środek siatki, by oś tę skierować na ten sam odległy punkt.

Przy użyciu fotokarabina do szkolenia można przez wykonanie zdjęcia kontrolnego wyeliminować wpływ ewentualnego rozregulowania się położenia fotokarabina na ocenę wyniku. W tym celu strzelec wykonuje zdjęcie jakiegoś przedmiotu odcinającego się wyraźnie na tle nieba; zdjęcie robione jest przy bezpośrednim skierowaniu linii celowania broni na cel. Określony w ten sposób błąd w ustawieniu uwzględnia się przy odczytywaniu zdjęć szkolnych.

Z warunku równoległości osi optycznej przechodzącej przez środek siatki fotokb. do osi celownika wynika, że wyprzedzenie kątowe wzięte przez celownik przedstawione będzie przez odpowiedni kąt na zdjęciu.

Należy pamiętać, że przy celowaniu można posługiwać się tylko muszką stałą, a nie muszką wiatrową.

Ładowanie i rozładowanie fotokarabina. Dla załadowania fotokarabina należy:

1. wyjąć ładownik;
2. wstawić pustą szpulę między czopki, z których jeden może być połączony z mechanizmem przewijającym błonę;
3. wstawić między drugą parę czopków (nieruchomych) szpulę z błoną w taki sposób, by taśma z papieru czarnego szła za szpulą z błoną, a następnie po ścianie tylnej ładownika do pustej szpuli;
4. otoczyć czarną taśmą pustą szpulę, a koniec taśmy przeciągnąć przez szczelinę w szpuli;
5. obracając pustą szpulę nawinąć na nią czarną taśmę do chwili ukazania się miejsca podklejenia błony;
6. wstawić ładownik do fotokarabina w ten sposób, by mechanizm przewijający błonę zażębił się z pustą szpulą; zamknąć pokrywkę ładownika;
7. licznik zdjęć ustawić na 0.

Przy wykonywaniu zdjęć fotokarabinem należy:

1. unieruchomić muszkę wiatrową (jeśli broń muszkę taką posiada);
2. wykonać zdjęcie kontrolne przedmiotu dostatecznie oddalonego odcinającego się wyraźnie na tle nieba;
3. przed każdym następnym zdjęciem przeładowywać fotokarabin za pomocą dźwigni ładowniczej;
4. kontrolować położenie dźwigni ładowniczej, pracę mechanizmu spustowego oraz ilości pozostałych zdjęć;

Rozładowywanie fotokarabina oraz ponowne załadowanie może być wykonywane na starcie, należy przy tym:

1. w razie wykonania już 12 zdjęć, wykonać jeszcze 6 przeładowań i spuszczeń mechanizmu, w celu nawinięcia czarnej taśmy na szpulę z wykonanymi już zdjęciami, dla zabezpieczenia filmu przed działaniem światła;
2. otworzyć pokrywkę i, podtrzymując palcem koniec taśmy papierowej (aby nie pozwolić na rozluźnienie jej), wyjąć szpulę z ładownika;
3. przewiązać szpulę nitką;
4. napisać nazwisko strzelca oraz datę wykonania ćwiczenia.

Odczytywanie zdjęć. Odczytywanie zdjęć polega na określeniu stopnia prawidłowości celowania na podstawie wy-

miarów, kształtu oraz położenia sylwetki samolotu względem środka siatki.

Podstawowe warunki celowania dla większości celowników są następujące:

1. kulkę muszki pokryć środkiem pierścienia celowniczego,
2. ustawić pierścień tak, by ruch celu był skierowany do środka,
3. wziąć odpowiednie wyprzedzenie kątowe,
4. trzymać oko na właściwej odległości od pierścienia celowniczego,
5. przestrzegać założeń zadania co do odległości walki.

Przez odczytanie zdjęcia można stwierdzić czy warunki te zostały spełnione.

Jeśli warunki 1. i 2. nie zostały spełnione, to kierunek lotu celu nie przechodzi przez środek siatki, a przy dużych błędach cel oddala się od środka zamiast tego, by się przybliżać.

Przy niespełnieniu warunków 3. i 4. otrzymane wyprzedzenie nie odpowiada założonej szybkości, lecz jest mniejsze lub większe.

Przy nieprzestrzeganiu warunku 5. wymiar celu na zdjęciu będzie niezgodny z wymiarem obliczonym lub też wziętym z tablic.

Wszystkie dane otrzymane ze zdjęcia można dokładnie uwzględnić, a za pomocą obliczeń określić wielkość i kierunek popełnionych błędów.

Aby wziąć dane ze zdjęcia, należy zdjęcie uprzednio opracować, czyli wykonać niezbędne pomiary, a następnie postępując się wielkościami z pomiarów wykonać obliczenia opisane niżej.

Przy oglądaniu błonę należy trzymać tak, by widziany obraz odpowiadał temu obrazowi, jaki widział strzelec w chwili wykonywania zdjęcia. W fotokarabinie błona umieszczona jest emulsją naprzód i w taki sam sposób należy trzymać rozwiniętą błonę, a więc emulsją od siebie; w takim położeniu to co było po stronie prawej pozostanie po prawej stronie zdjęcia, a góra i dół na zdjęciu odpowiadać będą górze i dołowi rzeczywistego obrazu.

Fotokarabin przy użyciu go dla strzelca lub obserwatora umieszcza się zwykle po stronie prawej k. m., a ruch filmu od-

bywa się w kierunku pionowym. Dlatego też przy oglądaniu filmu należy trzymać jego początek na górze, a koniec na dole.

Fotokarabin dla pilota umieszcza się zwykle tak, że film przesuwają się w kierunku poziomym, wobec czego przy oglądaniu filmu należy trzymać początkiem na lewo, a końcem na prawo.

Początek i koniec błony łatwo można odróżnić według wielkości odstępów między zdjęciami. Przy początku zdjęć błona nawija się na pustą szpulę, wobec czego dzięki małej średnicy przewija się tylko tyle błony, ile rzeczywiście potrzeba i zdjęcia idą bezpośrednio jedno za drugim. W miarę przewijania błony średnica szpuli wzrasta, przy zwiększeniu ilości zwojów przewiniętej błony. Ilość obrotów szpuli do przeładowania pozostaje stała, lecz wobec zwiększenia średnicy długość przesunięcia filmu będzie większa, niż jest to potrzebne do wykonania zdjęcia. Dlatego też odstęp między zdjęciami się powiększa.

Dobre, ostre zdjęcia można przeglądać podkładając pod błonę biały papier. Jeśli na białym tle nie widać dobrze, to błonę należy oglądać pod światło trzymając ją w ręku lub też podkładając pod nią szkło.

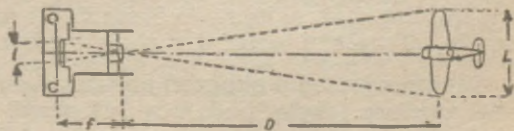
Określenie odległości na podstawie zdjęcia. Dla określenia odległości do celu należy posługiwać się pomiarami liniowymi lub kątowymi.

Przy pomiarze liniowym, dokonywanym za pomocą cyrkla i podziałki, należy brać pod uwagę jeden z wymiarów samolotu, którego rzeczywista wielkość jest znana, jak np. długość skrzydła, kadłuba lub statecznika. Oznaczając wymiar pewnego elementu celu na zdjęciu przez l , wymiar tego elementu w rzeczywistości przez L , odległość ogniskową przez f , a odległość D , z warunku podobieństwa trójkątów (rys. 215) otrzymamy

$$\frac{l}{L} = \frac{f}{D}$$

skąd

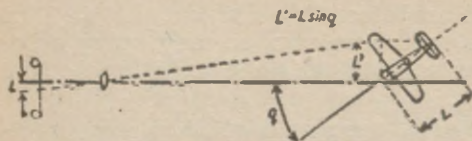
$$D = \frac{f \cdot L}{l} \quad (112)$$



Rys. 215. Obraz celu na zdjęciu fotokarabina.

Wzór ten jednak ma zastosowanie tylko w tym wypadku, jeśli element celu, którego długość była wzięta pod uwagę, jest równoległy do płaszczyzny obrazu; jeśli natomiast

element ten oglądamy z boku w pewnym skrócie, to wymiary jego na zdjęciu wypadną mniejsze.



Rys. 216. Zależność wymiaru kadłuba na zdjęciu od kursu celu.

Przerzutujemy wymiary części samolotu na płaszczyznę obrazu, czyli na kierunku prostopadły do linii celowania.

Rzuty części skierowanych zgodnie z kierunkiem ruchu celu, jak

np. rzut kadłuba (rys. 216) określimy ze wzoru

$$L' = L \cdot \sin q, \quad (113)$$

gdzie L' — wielkość rzutu danego elementu, L — rzeczywista wielkość danego elementu, q — kurs celu.

Rzut części celu prostopadłej do kierunku ruchu celu, jak np. skrzydeł (rys. 217) określimy ze wzoru

$$L' = L \cdot \cos q. \quad (114)$$

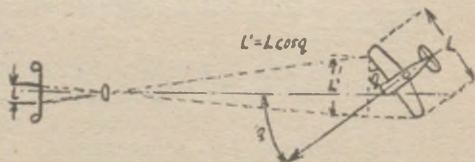
Wzór (112) możemy przekształcić:

a) dla części równoległych do ruchu celu

$$D = \frac{f \cdot L \cdot \sin q}{l}, \quad (115)$$

b) dla części prostopadłych do kierunku ruchu celu

$$D = \frac{f \cdot L \cdot \cos q}{l}, \quad (116)$$



Rys. 217. Zależność wymiaru skrzydeł na zdjęciu od kursu celu.

Jak wiadomo z § 27 $\sin q$ określa skrót sylwetki, w praktyce wielkość tę zaokrąglamy do ćwierci, jak np. dla ruchu celu przy kursie 50° należy wziąć $L \cdot \sin q = \frac{3}{4} L$.

Dla uproszczenia obliczeń dodatek 6 do niniejszego podręcznika zawiera tabelę, podającą odległości w zależności od rzeczywistego wymiaru i wymiaru na zdjęciu.

W rubryce pionowej znajdujemy rzuty rzeczywistych wymiarów, a mianowicie $L \cdot \sin q$ oraz $L \cdot \cos q$; w rubryce poziomej cyfry 1, 2, 3 itd. odpowiadają ilości mm zawartej w długości obrazu celu na zdjęciu.

Przykład 107. Określić odległość do celu na podstawie zdjęcia; wymiar kadłuba na zdjęciu wynosi 5 mm. Skrót sylwetki wynosi $1/2$. Rzeczywisty wymiar kadłuba 11 m.

Rozwiązanie.

$$\begin{aligned} \text{Dane: } L &= 11 \text{ m}, \\ l &= 5 \text{ mm}, \\ f &= 280 \text{ mm}, \\ \text{skrót} &= 1/2. \end{aligned}$$

Stosujemy wzór (115)

$$D = \frac{f \cdot L \cdot \sin q}{l} = \frac{280 \cdot 11 \cdot 1/2}{5} = 308 \text{ m}.$$

Wielkość tę można znaleźć również i za pomocą tabeli

$$L \cdot \sin q = 11 \cdot 1/2 = 5,5 \text{ m}.$$

W rubryce pionowej znajdujemy liczbę 5,5 w poziomej — 5, a na przecięciu ich liczbę 308, która daje nam odległość do celu.

$$D = 308 \text{ m}.$$

Przy pomiarze kątowym należy zawczasu przygotować siatkę, której podziałki odpowiadałyby wielkościom kątowym na zdjęciu.

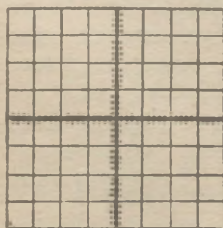
Obliczmy ile mm na zdjęciu odpowiada kątowi o wielkości 1 tysięcznej. Posługujemy się wzorem (10)

$$Y = \frac{S}{D} \cdot 1000.$$

Y powinno tu być równe 1 tysięcznej. $D = f$ odległość ogniskowa obiektywu, czyli 280 mm; S jest niewiadomą. Rozwiązujemy równanie względem S , podstawiając znane wielkości

$$S = \frac{Y \cdot D}{1000} = \frac{1 \cdot 280}{1000} = 0,28 \text{ mm}.$$

Należy więc wykonać siatkę, gdzie odległość między podziałkami wynosić będzie 0,28 mm. Ponieważ jednak tak drobna podziałka byłaby bardzo trudna do wykonania, więc ograniczamy się do podziałki co 5 tysięcznych, a wówczas odstęp wynosił $0,28 \cdot 5 = 1,4 \text{ mm}$.



Rys. 218. Siatka dla pomiaru wielkości katowych na zdjęciach fotokarabinie.

Rys. 218 przedstawia siatkę, w której odległości między drobnymi kreskami odpowiadają 5 tysięcznym (co 1,4 mm), a między większymi 25 tysięcznym (co 7 mm).

Nakładając siatkę na zdjęcie możemy określić wielkość kątową pewnej części samolotu, której wymiar rzeczywisty znamy. Za pomocą wzorów (113) i (114)

$$L' = L \cdot \sin q \text{ oraz } L' = \cos q$$

obliczamy wielkość rzutu wziętego wymiaru na kierunek prostopadły do linii celowania. Znając wielkość liniową odcinka oraz jego wartość kątową otrzymaną ze zdjęcia, możemy ze wzoru (10) określić odległość

$$Y = \frac{L'}{D} \cdot 1000.$$

Rozwiązujemy ten wzór względem D i podstawiamy wartości L' , wówczas otrzymamy

$$1. \quad D = \frac{L \cdot \sin q}{Y} \cdot 1000, \quad \dots \quad (117)$$

gdy wzięto wymiar równoległy do kierunku ruchu lub

$$2. \quad D = \frac{L \cdot \cos q}{Y} \cdot 1000, \quad \dots \quad (118)$$

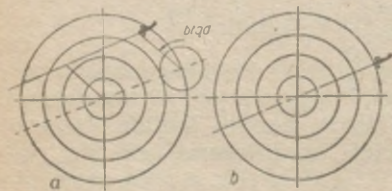
gdy wzięto wymiar prostopadły do kierunku ruchu.

Przykład 108. Cel porusza się pod kątem dającym skrót $\frac{1}{4}$; wielkość kątową wyznaczona ze zdjęcia wynosi 12 tysięcznych. Wymiar rzeczywisty — 12 m. Obliczyć odległość.

Rozwiązanie.

$$D = \frac{L \cdot \sin q}{Y} \cdot 1000 = \frac{12 \cdot \frac{1}{4}}{12} \cdot 1000 = 250 \text{ m.}$$

Dodatek 7 zawiera tabelę podającą odległości zależnie od wielkości kątowych zmierzonych na zdjęciu. Lewa rubryka pionowa podaje rzeczywiste wymiary celu (lub też rzuty tych wymiarów w wypadku, gdy cel porusza się pod kątem mniejszym niż 90°). Rubryka pozioma wskazuje ilość tysięcznych odpowiadającą temu wymiarowi (5, 10, 15 itd.).



Rys. 219. a) Celowanie błędne, b) celowanie prawidłowe.

Określenie błędów celowania. Przy wyznaczaniu

błędu za pomocą wielkości liniowych kolejność odczytywania jest następująca:

1. nałożyć błonę emulsyjną do góry na arkusz białego papieru, ustalić oś samolotu celu, następnie za pomocą prostej przedłużyć tę oś; wykreślona prosta wskazywać będzie kierunek ruchu (rys. 219);
2. przez skrzyżowanie przeprowadzić prostą równoległą do kierunku ruchu samolotu (osi samolotu);

3. nałożyć na zdjęcie płytkę celuloidową lub szklaną z kołami koncentrycznymi, odpowiadającymi kątoowo pierścieniowi celownicemu oraz $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$ i $\frac{1}{4}$ tego pierścienia;
4. wybrać koło odpowiadające właściwej dla danego skrótu poprawce celu oraz wyznaczyć punkt przecięcia się tego koła z prostą równoległą do kierunku ruchu; punkt ten odpowiada prawidłowemu położeniu celu względem linii celowania;
5. z punktu tego zatoczyć koło o średnicy 11 mm, które będzie odpowiadało kołu rozrzutu o średnicy 0,04 odległości;
6. połączyć ten punkt z obrazem celu na zdjęciu (przód kadłuba); otrzymany w ten sposób odcinek daje nam wielkość błędu;
7. odcinek ten mierzymy podziałką milimetrową, a otrzymaną ilość mm mnożymy przez 0,7; otrzymana wielkość da błąd wyrażony w uchyleniach prawdopodobnych.

Omówmy jeszcze konstrukcję siatki pierścieniowej oraz znaczenie koła o średnicy 11 mm i mnożnika 0,7 stosowanego przy wyznaczaniu błędu w uchyleniach prawdopodobnych. Jak wspomnieliśmy wyżej siatka przedstawia w odpowiedniej skali celownik pierścieniowy oraz jego zredukowane wymiary w stosunku $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$ oraz $\frac{1}{4}$.

Wyprzedzenie kątoowe, jakie daje celownik, musi być równe wyprzedzeniu wyznaczonemu przez siatkę. Wielkość kąta obliczyć możemy ze stosunku wielkości odcinka poprzecznego do odległości tego odcinka od wierzchołka kąta.

Te stosunki muszą być równe. Przy celowniku pierścieniowym jest to stosunek jego promienia do oddalenia normalnego, a przy siatce z kołami koncentrycznymi stosunek promienia zewnętrznego do odległości ogniskowej.

$$\frac{R \text{ pierścienia}}{d} = \frac{R \text{ siatki}}{f}$$

skąd

$$R \text{ siatki} = \frac{R \text{ pierścienia} \cdot f}{d} \quad (119)$$

Ze wzoru tego określamy promień koła zewnętrznego. Następnie dzielimy ten promień przez 4 i wykreślamy dalsze 3 koła koncentryczne wewnętrzne.

Omówmy teraz skąd się wziął wymiar średnicy = 11 mm. Przyjmujemy iż rozrzut wynosi przeciętnie 0,04 D, czyli średnica koła rozrzutu $8U = 0,04 D$. Napiszmy stosunek

$$\frac{8U}{D} = \frac{x}{f}$$

gdzie x — żądany promień koła rozrzutu w skali zdjęcia, f — odległość ogniskowa obiektywu, $8U$ — osiem uchyień prawdopodobnych, D — odległość.

$$\text{Ponieważ } \frac{8U}{D} = 0,04, \text{ więc } i \frac{x}{f} = 0,04;$$

podstawiając wartość $f = 280 \text{ mm}$, otrzymamy

$$\frac{x}{i} = \frac{x}{280} = 0,04,$$

skąd $x = 280 \cdot 0,04 = 11,2 \cong 11 \text{ mm}$.

Jeśli punkt celowania (piasta śmigła) jest poza granicami koła rozrzutu o promieniu 11 mm , oceniamy to jako chybienie, jeśli zaś wewnątrz tego koła, to traktujemy to jako trafienie.

Jeśli $8U$ w skali wynosi 11 mm , więc 1 mm odpowiada

$$\frac{8U}{11} \cong 0,7 U.$$

Jeden milimetr na zdjęciu odpowiada $0,7$ uchylenia prawdopodobnego, wobec czego dla wyrażenia błędu w uchyleniach prawdopodobnych należy jego wielkość liniową odczytaną ze zdjęcia pomnożyć przez $0,7$.

Jeśli na przykład błąd liniowy odczytany ze zdjęcia wyniósł 4 mm , to błąd wyrażony w uchyleniach prawdopodobnych wypadnie

$$4 \cdot 0,7 = 2,8 U.$$

Ocena jakości celowania wyraża się w uchyleniach prawdopodobnych zawartych w wielkości błędu. Jest rzeczą zrozumiałą, że przy wyniku dostatecznym błąd nie powinien przekroczyć 4 uchyień prawdopodobnych, czyli $4 U$.

Przy wyznaczaniu błędu za pomocą wielkości kątowych kolejność odczytywania zdjęcia jest następująca:

1. trzymając film emulsją od siebie określić typ samolotu, kierunek jego ruchu, skrót sylwetki oraz położenie jednej z części samolotu, której wymiar rzeczywisty jest znany;
2. podłożyć pod zdjęcie (od strony emulsji) siatkę z podziałką kątową, określić wymiar kątowy w tysięcznych znanej części samolotu oraz określić odległość sposobem opisanym wyżej;
3. obliczyć wyprzedzenie kątowe w tysięcznych, jakie powinien był dać pierścień dla danego skrótu sylwetki;

4. umieścić siatkę z podziałką kątową, tak by jej oś pozioma pokryła się z kierunkiem ruchu celu, a pionowa przeszła przez skrzyżowanie na zdjęciu; określić odległość od obrazu celu do środka zdjęcia w tysięcznych (w dwóch kierunkach); jako punkt celowania przyjąć należy piastę śmigła;
5. odjąć od odchylenia zmierzonego w kierunku ruchu wielkość wyprzedzenia; otrzymana wielkość wraz z odchyleniem prostopadłym do tego kierunku (odchylenie wzwyż) da nam błąd w celowaniu.

Jeśli odległość od celu do środka zdjęcia jest większa od wyprzedzenia, to błąd określa się znakiem $+$ (plus), jeśli zaś mniejsza, to znakiem $-$ (minus). Błędy na wysokość: przy górowaniu oznaczane są plusem, przy dołowaniu minusem.

Wynik jest zadawalający, gdy błędy nie przekroczą wielkości rozrzutu odpowiadającego danej odległości.

Przykład 109. Długość kadłuba zmierzona na zdjęciu za pomocą siatki katowej wynosi 18 tysięcznych; skróć $\frac{3}{4}$. Odchylenie sylwetki samolotu od środka zdjęcia w górę 15 tys., w bok 40 tys. Pierścień celownika ma promień równy 42 mm, oddalenie normalne wynosi 420 mm. Jako cel służy samolot rozpoznawczy. Należy obliczyć błędy celowania.

Rozwiązanie. Określamy wyprzedzenie katowe w tysięcznych, jakie daje pierścień celowniczy

$$Y = \frac{S}{D} \cdot 1000 = \frac{R}{d} \cdot 1000 = \frac{42}{420} \cdot 1000 = 100 \text{ tysięcznych.}$$

przy skrócie $\frac{3}{4}$ wyprzedzenie katowe

$$Y \cdot \frac{3}{4} = 100 \cdot \frac{3}{4} = 75 \text{ tysięcznych.}$$

Określamy odległość do celu. Rzeczywista długość kadłuba $L = 12$ m. Rzut kadłuba na prostopadłą do kierunku celowania

$$L' = L \cdot \sin q = 12 \cdot \frac{3}{4} = 9 \text{ m.}$$

Wielkość katowa kadłuba ze zdjęcia wynosi 18 tysięcznych. Odległość:

$$D = \frac{L' \cdot \sin q}{Y} \cdot 1000 = \frac{9}{18} \cdot 1000 = 500 \text{ m.}$$

Błąd wzwyż $+ 15$ tys.

Błąd w kierunku $40 - 75 = -35$ tysięcznych.

W wyniku odczytywania, stwierdzimy że celowanie wykonane zostało z odległości 500 m.

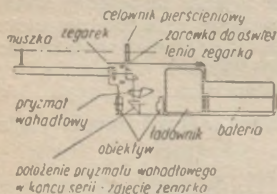
Jeśli przyjmiemy, że dopuszczalny rozrzut wynosi $8 U = 0,04 D$, to odchylenia od środka zdjęcia nie powinny przekraczać 0,02 D.

Maksymalny dopuszczalny błąd kątowy celowaniu nie może zatem przekroczyć

$$\gamma = \frac{S}{D} \cdot 1000 = \frac{0,02 D}{D} \cdot 1000 = 20 \text{ tysięcznych.}$$

Jak widzimy błąd przekroczył tę wielkość, czyli wynik ćwiczenia jest niezadowalający, gdyż 35 tys. > 20 tys.

Fotokarabin maszynowy (w skrócie—foto k. m.). Foto k. m. jest to aparat kinematograficzny służący do wyszkolenia strzeleckiego, o kształcie zewnętrznym karabina maszynowego (rys. 220). Chwile wykonywania zdjęć są ściśle określone, a włączenie odbywa się za pomocą urządzenia spustowego. Foto k. m. Fairchild stosowany jest szeroko w lotnictwie amerykańskim. Cały mechanizm zawarty jest wewnątrz komory, a część przednia w kształcie rury imitująca lufę wraz z obsadą służy jedynie do osadzenia muszki.



Rys. 220. Schemat konstrukcji foto k. m. Fairchild.

Charakterystyka foto k. m. Fairchild jest następująca: jasność obiektywu 1 : 3; ogniskowa—35 mm; szybkość migawki — 1/160 i 1/120 sek; wymiar zdjęcia 7,5 × 12 mm; pole widzenia — 20°; długość bez tylc — 920 mm; długość z tyłcami—940 mm; szerokość bez tylc — 73 mm; szerokość z tyłcami — 145 mm; wysokość — 165 mm; ilość zdjęć w ładowniku — 1000 sztuk; długość filmu —

7,5 m; ciężar — 9,1 kg; oddalenie normalne pierścienia celownika — 500 mm; średnica pierścienia celownika — 70 mm.

Szybkość wykonywania zdjęć jest regulowana i może wynosić 16 na sekundę lub 12 na sekundę, odpowiednio do szybkostrzelności będących w użyciu współczesnych k. m.

Uruchamianie mechanizmu odbywa się przez naciśnięcie na dźwignię spustową znajdującą się przy tyłcach. Film znajduje się w ładowniku zabezpieczonym przed dostępem światła, co pozwala na łatwą jego wymianę.

Dokładna chwila wykonania zdjęcia celu jest utrwalona przez zdjęcie zegarka.

Fotografowanie zegarka odbywa się raz jeden pod koniec każdej serii zdjęć celu. Zegarek umieszczony jest w przednim górnym rogach komory.

Fotografowanie zegarka odbywa się następująco. Przed zegarkiem umieszczone są żarówki oraz pryzmat prostokątny odchylający promienie w dół. Pomiędzy obiektywem i błoną znajduje się pryzmat wahadłowy, również prostokątny. Przy naciśnięciu na spust pryzmat wahadłowy podnosi się i przepuszcza promienie, które przechodzą swobodnie od obiektywu do błony, a jednocześnie działać zaczyna mechanizm przewijający film oraz migawka.

Gdy strzelec przestaje cisnąć na spust, pryzmat wahadłowy powraca do położenia opuszczonego i następuje na chwilę zapalenie żarówek. Promienie światła od zegarka padają na górny pryzmat, odbijają się w dół, trafiają na pryzmat wahadłowy, a po odbiciu wchodzi do obiektywu i oświetla film. Ostatnie zdjęcie w serii daje obraz zegarka, dzięki czemu zostaje utrwalona chwila ukończenia serii. Na podstawie ilości zdjęć w serii oraz znanych odstępów czasowych między zdjęciami można obliczyć chwilę rozpoczęcia zdjęć.

Przy wyszkoleniu w walce powietrznej można ściśle ustalić, który z uczestników pierwszy oddał serię trafną do nieprzyjaciela.

Do foto k. m. dołączony bywa aparat projekcyjny; rzutując zdjęcia w powiększeniu na ekran (powiększenie może być np. 50-krotne) ma się możliwość dokładnego wyznaczenia błędów celowania. Metoda odczytywania zdjęć podobna jest do metody stosowanej przy fotokarabinie.

Pytania z rozdziału szóstego

1. Do jakiej granicy szybkości kątowej możliwe jest prowadzenie ognia z samolotu?
2. Od czego zależy wielkość rozrzutu przy strzelaniu w locie?
3. Jaki ogień nazywamy towarzyszącym, a jaki zaporowym? Co to jest seria krótka, średnia, długa?
4. Czym należy się posługiwać przy określeniu odległości celu na oko?
5. Jak obliczyć kąt widzenia celu?
6. Jak zrobić schemat pierścienia do pomiaru odległości na oko?
7. Jakie są właściwości samolotów myśliwskich. Wymienić najbardziej istotne.
8. To samo dla samolotu bombowego i rozpoznawczego.
9. Jak się otrzymuje obraz pół widoczności i ostrzału w rzutach kulistych?

10. To samo w rzutach prostokątnych.
11. To samo sposobem sześciątów.
12. Zależność szybkostrzelności od synchronizacji. Kiedy szybkostrzelność jest największa?
13. Charakterystyki i konstrukcje pocisków kb. — zwykłego, ciężkiego przeciwpancerneho, smugowego, pancerno-światelnego i zapalającego.
14. Działanie pocisków k. m. większego kalibru i pocisków działek małokalibrowych.
15. Jak należy ustawić fotokb.; sposoby odczytywania zdjęć.
16. Na czym polega przystrzeliwanie k. m. lotniczych, z jakich czynności składa się przystrzeliwanie? Jak wykonać szkic dla przystrzeliwania pionowego?
17. Jakie właściwości ma pocisk przy upadku z góry. Maksymalne odległości lotu pocisku przy strzelaniu z powietrza.

DODATKI

Tabela strzelnicza k. m. wz. P. W. 1 (strzelanie ziemne)

Pocisk wzór 1908 r.

Donośność w m	Rzędne toru w cm dla odległości												Kąt rzutu		Kąt upadku		Czas przelotu pocisku w sek	Szybkość końcowa w m/s	Energia końcowa w kgm
	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	w stopniach i minutach	w stopniach i minutach				
100																	0,10	780	305
200	7	9	0	30	74									6 1,7	7 2,0	0,25	710	245	
300	11	18	19	0	37	101								8 2,5	11 3,2	0,40	645	205	
400	16	27	37	28	0	55	150	280	480	780	1180			11 3,3	16 4,6	0,55	580	165	
500	22	39	59	61	44	0	84	218	400	680	1070			15 4,4	23 6,7	0,75	525	135	
600	28	53	87	103	100	70	0	120	305	560	930			20 5,8	33 9,6	0,95	475	110	
700	36	70	120	150	170	160	100	0	170	420	760			26 7,5	46 13,4	1,20	430	90	
800	46	90	170	220	250	260	230	150	0	230	570			33 9,6	1°02 18,1	1,45	390	75	
900	56	110	210	290	360	390	380	330	210	0	310	740		42 12,1	1°22 23,8	1,75	355	60	
1000	72	140	270	390	480	550	570	550	460	280	0	390	900	52 15,1	1°46 30,8	2,10	325	50	
1100	—	180	350	500	620	730	790	800	740	600	360	0	490	1°04 18,6	2°14 39,0	2,45	300	45	
1200	—	220	430	620	790	930	1030	1080	1070	970	770	450	0	1°18 22,7	2°47 48,6	2,80	280	40	

Tabela strzelnicza k. m. wz. D. A. (strzelanie ziemne)

Donośność w m	Rzędne toru w cm dla odległości												Kąt rzutu		Kąt upadku		Czas przelotu pocisku w sek.	Szybkość końcowa w m/sek	Energia końcowa w kgm	
	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	w stopniach i minutach	w stopniach i minutach					
200	8	10	0	30	85	—	—	—	—	—	—	—	—	6	1,7	7	2,0	0,25	710	245
300	13	19	20	0	46	122	—	—	—	—	—	—	—	9	2,6	12	3,5	0,40	645	205
400	18	30	42	34	0	66	170	320	550	850	1290	—	—	13	3,7	17	5,0	0,55	580	165
500	25	44	69	74	53	0	9	233	440	736	1140	—	—	17	5,0	25	7,3	0,75	525	135
600	33	60	100	120	114	76	0	127	322	590	990	—	—	22	6,5	36	10,5	0,95	475	110
700	42	80	130	170	180	170	110	0	180	430	810	—	—	28	8,3	50	14,6	1,20	430	90
800	52	100	180	240	270	280	240	160	0	240	590	—	—	36	10,5	107	19,6	1,45	390	75
900	62	120	230	320	380	410	400	340	220	0	320	760	—	45	13,2	128	25,6	1,75	355	60
1000	77	150	290	410	510	570	590	570	470	290	0	410	96	56	16,4	154	33,2	2,10	325	50
1100	—	190	370	530	660	760	820	830	770	620	370	0	520	109	20,1	226	42,5	2,45	300	45
1200	—	230	450	650	830	970	1070	1130	1110	1010	80	47	0	124	24,4	304	53,6	2,80	280	40

Dodatek 5 (dalszy ciąg)

S	p	S	p	S	p	S	p	S	p	S	p
U		U		U		U		U		U	
0,11	0,059	0,61	0,319	1,11	0,546	1,61	0,722	2,11	0,845	2,61	0,922
0,12	0,065	0,62	0,324	1,12	0,550	1,62	0,725	2,12	0,847	2,62	0,923
0,13	0,070	0,63	0,329	1,13	0,554	1,63	0,728	2,13	0,849	2,63	0,924
0,14	0,075	0,64	0,334	1,14	0,558	1,64	0,731	2,14	0,851	2,64	0,925
0,15	0,081	0,65	0,339	1,15	0,562	1,65	0,734	2,15	0,853	2,65	0,926
0,16	0,086	0,66	0,344	1,16	0,566	1,66	0,737	2,16	0,855	2,66	0,927
0,17	0,091	0,67	0,349	1,17	0,570	1,67	0,740	2,17	0,857	2,67	0,928
0,18	0,097	0,68	0,354	1,18	0,574	1,68	0,742	2,18	0,859	2,68	0,929
0,19	0,102	0,69	0,358	1,19	0,578	1,69	0,746	2,19	0,860	2,69	0,930
0,20	0,107	0,70	0,363	1,20	0,582	1,70	0,748	2,20	0,862	2,70	0,931
0,21	0,113	0,71	0,368	1,21	0,586	1,71	0,751	2,21	0,864	2,71	0,932
0,22	0,118	0,72	0,373	1,22	0,589	1,72	0,754	2,22	0,866	2,72	0,933
0,23	0,123	0,73	0,378	1,23	0,593	1,73	0,757	2,23	0,867	2,73	0,934
0,24	0,129	0,74	0,382	1,24	0,597	1,74	0,759	2,24	0,869	2,74	0,935
0,25	0,134	0,75	0,387	1,25	0,601	1,75	0,762	2,25	0,871	2,75	0,936
0,26	0,139	0,76	0,392	1,26	0,605	1,76	0,765	2,26	0,873	2,76	0,937
0,27	0,145	0,77	0,396	1,27	0,608	1,77	0,767	2,27	0,874	2,77	0,938
0,28	0,150	0,78	0,401	1,28	0,612	1,78	0,770	2,28	0,876	2,78	0,939
0,29	0,155	0,79	0,406	1,29	0,616	1,79	0,773	2,29	0,878	2,79	0,940
0,30	0,160	0,80	0,411	1,30	0,619	1,80	0,775	2,30	0,879	2,80	0,941
0,31	0,166	0,81	0,415	1,31	0,623	1,81	0,778	2,31	0,881	2,81	0,942
0,32	0,171	0,82	0,420	1,32	0,627	1,82	0,780	2,32	0,882	2,82	0,943
0,33	0,176	0,83	0,424	1,33	0,630	1,83	0,782	2,33	0,884	2,83	0,944
0,34	0,181	0,84	0,429	1,34	0,634	1,84	0,785	2,34	0,886	2,84	0,945
0,35	0,187	0,85	0,434	1,35	0,637	1,85	0,788	2,35	0,887	2,85	0,945
0,36	0,192	0,86	0,438	1,36	0,641	1,86	0,790	2,36	0,889	2,86	0,946
0,37	0,197	0,87	0,443	1,37	0,645	1,87	0,793	2,37	0,890	2,87	0,947
0,38	0,202	0,88	0,447	1,38	0,648	1,88	0,795	2,38	0,892	2,88	0,948
0,39	0,207	0,89	0,452	1,39	0,652	1,89	0,798	2,39	0,893	2,89	0,949
0,40	0,213	0,90	0,456	1,40	0,655	1,90	0,800	2,40	0,895	2,90	0,950
0,41	0,218	0,91	0,461	1,41	0,658	1,91	0,802	2,41	0,896	2,91	0,950
0,42	0,223	0,92	0,465	1,42	0,662	1,92	0,805	2,42	0,897	2,92	0,951
0,43	0,228	0,93	0,470	1,43	0,665	1,93	0,807	2,43	0,899	2,93	0,952
0,44	0,233	0,94	0,474	1,44	0,669	1,94	0,809	2,44	0,900	2,94	0,953
0,45	0,239	0,95	0,478	1,45	0,672	1,95	0,812	2,45	0,902	2,95	0,953
0,46	0,244	0,96	0,483	1,46	0,675	1,96	0,814	2,46	0,903	2,96	0,954
0,47	0,249	0,97	0,487	1,47	0,679	1,97	0,816	2,47	0,904	2,97	0,955
0,48	0,254	0,98	0,491	1,48	0,681	1,98	0,818	2,48	0,906	2,98	0,956
0,49	0,259	0,99	0,495	1,49	0,685	1,99	0,820	2,49	0,907	2,99	0,956
0,50	0,265	1,00	0,500	1,50	0,688	2,00	0,822	2,50	0,908	3,00	0,957
3,01	0,958	3,11	0,964	3,21	0,970	3,31	0,974	3,50	0,982	4,50	0,998
3,02	0,958	3,12	0,965	3,22	0,970	3,32	0,975	3,60	0,985	4,60	0,998
3,03	0,959	3,13	0,965	3,23	0,971	3,33	0,975	3,70	0,987	4,70	0,998
3,04	0,960	3,14	0,966	3,24	0,971	3,34	0,976	3,80	0,990	4,80	0,999
3,05	0,960	3,15	0,966	3,25	0,972	3,35	0,976	3,90	0,991	4,90	0,999
3,06	0,961	3,16	0,967	3,26	0,972	3,36	0,977	4,00	0,993	5,00	1,000
3,07	0,962	3,17	0,967	3,27	0,973	3,37	0,977	4,10	0,994		
3,08	0,962	3,18	0,968	3,28	0,973	3,38	0,977	4,20	0,995		
3,09	0,963	3,19	0,969	3,29	0,974	3,39	0,978	4,30	0,996		
3,10	0,963	3,20	0,969	3,30	0,974	3,40	0,978	4,40	0,997		

Tabela do odczytywania zdjęć fotokb.

Wyznaczenie odległości w zależności od wymiarów obrazu celu na zdjęciu

Wymiar celu w m	Wymiar samolotu lub rzutu samolotu na zdjęciu w mm																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	280	140	93	70	56	47	40	35	31	28	25	23	21	20	19	17	16	16	15	14
1.5	420	210	140	105	84	60	60	52	46	42	38	35	32	30	28	26	25	24	22	21
2	560	280	187	140	112	93	80	70	62	56	51	47	43	40	37	35	33	31	29	28
2.5	700	350	233	175	140	117	100	87	77	70	64	58	54	50	47	44	40	39	37	35
3	840	420	280	210	168	140	120	105	93	84	77	70	65	60	56	53	49	47	44	42
3.5	980	490	327	245	196	163	140	122	108	98	90	82	75	70	65	61	58	54	51	49
4	1120	560	373	280	224	187	160	140	124	112	100	94	86	80	75	70	66	62	55	53
4.5	1260	630	430	315	252	210	180	157	140	126	115	100	97	90	84	79	74	70	66	63
5	1400	700	487	350	280	239	200	175	145	140	117	116	108	100	94	88	83	78	74	70
5.5	1540	770	513	385	308	247	220	192	171	154	140	129	118	110	103	96	91	86	81	77
6	1680	840	560	420	336	280	240	200	187	168	153	140	129	120	112	105	99	93	88	84
6.5	1820	910	607	455	364	303	260	227	202	182	165	152	140	130	121	116	107	101	96	91
7	1960	980	633	490	392	325	280	245	218	196	178	163	150	140	131	123	115	109	103	98
8	2240	1120	747	560	448	373	320	280	249	224	203	187	172	160	149	140	130	124	117	112
9	2520	1260	840	630	504	420	360	315	280	252	210	194	180	167	158	148	140	133	126	120
10	2700	1408	933	700	570	470	400	350	311	280	214	233	205	200	187	175	165	156	147	140
11	3080	1540	1027	770	616	517	440	380	342	308	280	257	237	220	205	193	181	171	166	154
12	3360	1680	1120	840	672	560	480	400	373	336	305	280	258	240	224	210	198	180	177	168
13	3640	1820	1273	910	724	607	520	445	404	346	331	303	280	260	243	228	204	207	200	182
14	3920	1960	1367	980	784	633	560	490	435	392	356	327	302	280	262	245	231	222	206	196
15	4200	2100	1400	1050	840	700	600	525	467	420	382	350	323	300	280	263	247	238	220	210

Dodatek 7.

Tabela do wyznaczania odległości na podstawie wielkości kątowej przy odczytywaniu zdjęć fotokb.

Rzeczywisty wymiary w m	Wymiar sylwetki na zdjęciu w tysięcznych																		
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
5	1000	500	330	250	200	160	140	120	110	100	90	80	80	70	70	60	60	50	50
6	1200	600	400	300	240	200	170	150	130	120	110	100	90	80	80	70	70	60	60
7	1400	700	460	350	280	230	200	170	160	140	130	110	100	100	90	80	80	80	70
8	1600	800	530	400	310	260	230	200	180	160	150	130	120	110	100	100	90	90	80
9	1800	900	600	450	360	300	260	220	200	180	160	150	140	130	120	110	100	100	90
10	2000	1000	680	500	400	330	290	250	220	200	180	160	150	140	130	120	120	110	100
11	2200	1100	730	550	440	360	310	270	240	220	200	180	170	160	150	130	130	120	110
12	2400	1200	800	600	480	400	340	300	270	240	220	200	180	170	160	150	140	130	130
13	2600	1300	860	650	510	430	370	320	290	260	240	210	200	180	170	160	150	140	140
14	2800	1400	930	700	560	460	400	350	310	280	250	230	220	200	180	170	160	160	150
15	3000	1500	1000	750	600	500	430	370	330	300	270	250	230	210	200	180	170	170	160

Dodatek 8.

Tabela sinusów kątów wyrażonych w tysięcznych

Kąt w ty- sięcznych	Sinus	Kąt w ty- sięcznych	Sinus	Kąt w ty- sięcznych	Sinus	Kąt w ty- sięcznych	Sinus
0-05	0,005	2-00	0,21	7-00	0,67	12-00	0,95
0-10	0,010	2-20	0,23	7-20	0,69	12-20	0,96
0-15	0,016	2-40	0,25	7-40	0,70	12-40	0,96
0-20	0,021	2-60	0,27	7-60	0,71	12-60	0,97
0-25	0,026	2-80	0,29	7-80	0,73	12-80	0,97
0-30	0,031	3-00	0,31	8-00	0,74	13-00	0,98
0-35	0,037	3-20	0,33	8-20	0,76	13-20	0,98
0-40	0,042	3-40	0,35	8-40	0,77	13-40	0,99
0-45	0,047	3-60	0,37	8-60	0,78	13-60	0,99
0-50	0,052	3-80	0,39	8-80	0,80	13-80	0,99
0-55	0,058	4-00	0,41	9-00	0,81	14-00	1
0-60	0,063	4-20	0,43	9-20	0,82	14-20	1
0-65	0,068	4-40	0,45	9-40	0,83	14-40	1
0-70	0,073	4-60	0,46	9-60	0,84	14-60	1
0-75	0,078	4-80	0,48	9-80	0,86	14-80	1
0-80	0,084	5-00	0,50	10-00	0,87	15-00	1
0-85	0,089	5-20	0,52	10-20	0,88	—	—
0-90	0,094	5-40	0,54	10-40	0,89	—	—
0-95	0,099	5-60	0,55	10-60	0,90	—	—
1-00	0,105	5-80	0,57	10-80	0,91	—	—
1-20	0,13	6-00	0,59	11-00	0,91	—	—
1-40	0,15	6-20	0,61	11-20	0,92	—	—
1-60	0,17	6-40	0,62	11-40	0,93	—	—
1-80	0,19	6-60	0,64	11-60	0,94	—	—
2-00	0,21	6-80	0,65	11-80	0,94	—	—

Tabele trygonometryczne

Sinusy

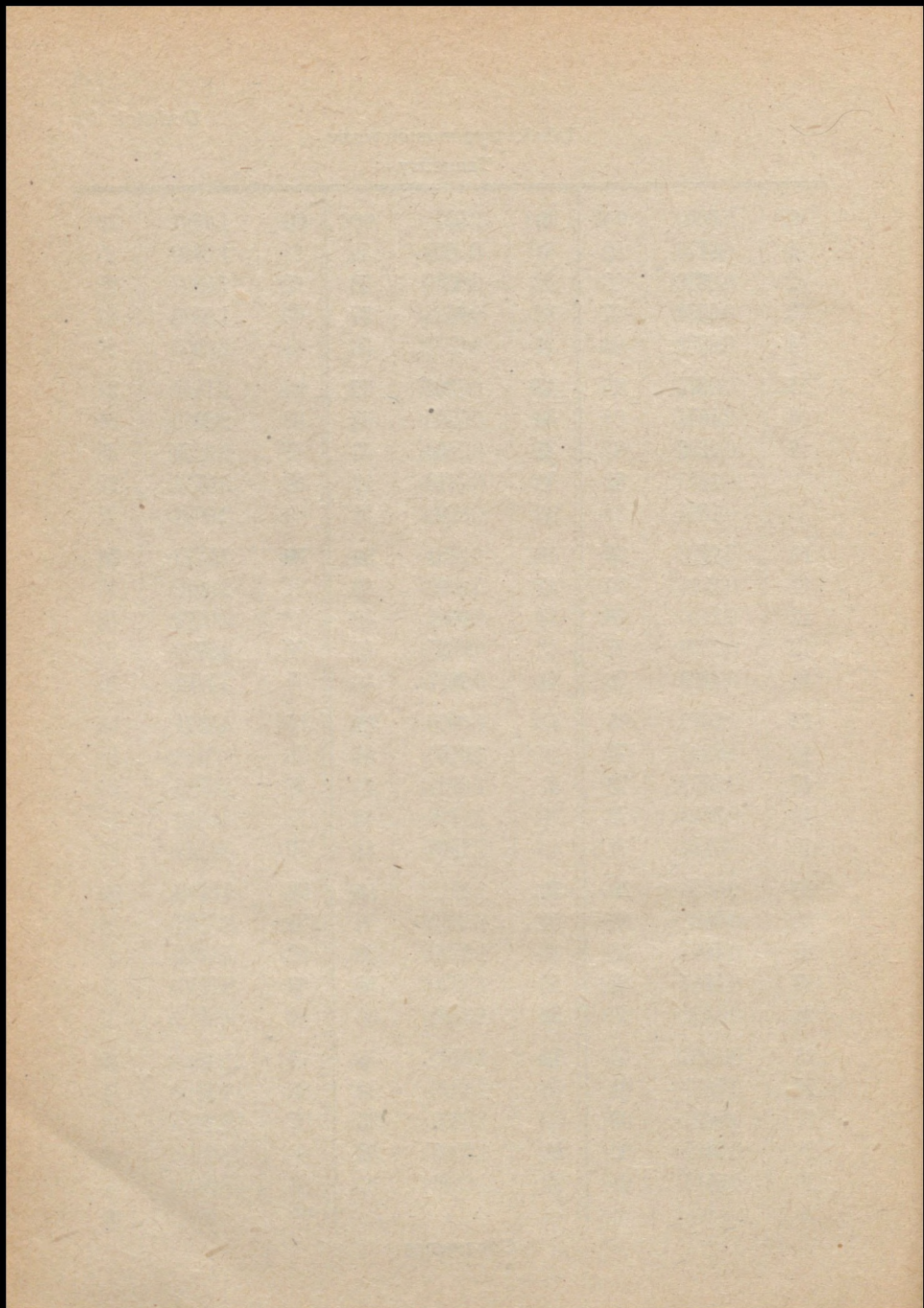
0°	0.0000	90°	30°	0.5000	60°	60°	0.8660	30°
1	0.0175	89	31	0.5150	59	61	0.8746	29
2	0.0349	88	32	0.5299	58	62	0.8829	28
3	0.0523	87	33	0.5446	57	63	0.8910	27
4	0.0698	86	34	0.5592	56	64	0.8988	26
5	0.0872	85	35	0.5736	55	65	0.9063	25
6	0.1045	84	36	0.5878	54	66	0.9135	24
7	0.1219	83	37	0.6018	53	67	0.9205	23
8	0.1392	82	38	0.6157	52	68	0.9272	22
9	0.1564	81	39	0.6293	51	69	0.9336	21
10	0.1736	80	40	0.6428	50	70	0.9397	20
11	0.1908	79	41	0.6561	49	71	0.9455	19
12	0.2079	78	42	0.6691	48	72	0.9511	18
13	0.2250	77	43	0.6820	47	73	0.9563	17
14	0.2419	76	44	0.6946	46	74	0.9613	16
15	0.2588	75	45	0.7071	45	75	0.9659	15
16	0.2756	74	46	0.7193	44	76	0.9703	14
17	0.2924	73	47	0.7314	43	77	0.9744	13
18	0.3090	72	48	0.7431	42	78	0.9781	12
19	0.3256	71	49	0.7547	41	79	0.9816	11
20	0.3420	70	50	0.7660	40	80	0.9848	10
21	0.3584	69	51	0.7771	39	81	0.9877	9
22	0.3746	68	52	0.7880	38	82	0.9903	8
23	0.3907	67	53	0.7986	37	83	0.9925	7
24	0.4067	66	54	0.8090	36	84	0.9945	6
25	0.4226	65	55	0.8192	35	85	0.9962	5
26	0.4384	64	56	0.8290	34	86	0.9976	4
27	0.4540	63	57	0.8387	33	87	0.9986	3
28	0.4695	62	58	0.8480	32	88	0.9994	2
29	0.4848	61	59	0.8572	32	89	0.9998	1
						90	1.0000	0

Cosinusy

Tabele trygonometryczne
Tangensy

0°	0,0000	90°	30°	0,5774	60°	60°	1,7321	30°
1	0,0175	89	31	0,6009	59	61	1,8040	29
2	0,0349	88	32	0,6249	58	62	1,8807	28
3	0,0524	87	33	0,6494	57	63	1,9626	27
4	0,0699	86	34	0,6745	56	64	2,0503	26
5	0,0875	85	35	0,7002	55	65	2,1445	25
6	0,1051	84	36	0,7265	54	66	2,2460	24
7	0,1228	83	37	0,7536	53	67	2,3559	23
8	0,1405	82	38	0,7813	52	68	2,4751	22
9	0,1584	81	39	0,8098	51	69	2,6051	21
10	0,1763	80	40	0,8391	50	70	2,7475	20
11	0,1914	79	41	0,8693	49	71	2,9042	19
12	0,2126	78	42	0,9004	48	72	3,0777	18
13	0,2309	77	43	0,9325	47	73	3,2709	17
14	0,2493	76	44	0,9657	46	74	3,4874	16
15	0,2679	75	45	1,0000	45	75	3,7321	15
16	0,2867	74	46	1,0355	44	76	4,0108	14
17	0,3057	73	47	1,0724	43	77	4,3315	13
18	0,3249	72	48	1,1106	42	78	4,7046	12
19	0,3443	71	49	1,1504	41	79	5,1446	11
20	0,3640	70	50	1,1918	40	80	5,6713	10
21	0,3839	69	51	1,2349	39	81	6,3138	9
22	0,4040	68	52	1,2799	38	82	7,1154	8
23	0,4245	67	53	1,3270	37	83	8,1443	7
24	0,4452	66	54	1,3764	36	84	9,514	6
25	0,4663	65	55	1,4281	35	85	11,43	5
26	0,4877	64	56	1,4826	34	86	14,30	4
27	0,5095	63	57	1,5399	33	87	19,08	3
28	0,5317	62	58	1,6003	32	88	28,64	2
29	0,5543	61	59	1,6643	31	89	57,29	1
						90	∞	0

Cotangensy



SKOROWIDZ

SKOROWIDZ RZECZOWY

Akomodacja	131
Amunicja lotnicza	19—20—58
Atak szturmowy	223—224
B	
Balistyczna fala	23
Balistyczny wiatr	64
Błąd prawdopodobny przeciętnej wartości pomiaru	191—192
Błędy celowania	300—303
Bojowe właściwości samolotów	258—264—265
Bojowe właściwości uzbrojenia lotniczego	267—274
Browning k. m.	272—273
Bruzdy lufy	16—17
C	
Całkowite pole rażenia	47—48
Cel latający	7
Cel ziemny	7
Cele powierzchniowe	219—223—226
Cele punktowe	219—223
Celowanie według sylwetki	118—120
Celowniczy przyrząd	43—45
Celowniki optyczne	44—139—142—215—229
Celowniki pierścieniowe	110—127—211—228—256—257
Celowniki pierścieniowe (konstr.)	120—127
Celowniki przeziernikowe	229
Celowniki samoczynne	87—96—100
Celowniki synchroniczne	246—247
Celownik świetlny	141—142
Ciśnienie gazów wylotowych	11, 13, 14
Ciężar pocisku	12, 13, 24, 25
Ciężar właściwy powietrza	52
Ciężkie pociski	278—279
Czas przelotu pocisku	36, 49, 50, 55, 84, 103, 104, 105—107, 109, 113, 230, 246, 275
Część opadająca toru	37, 38
Część wznosząca się toru	37, 38
Częstotliwość zdarzenia (trafiania)	172—174
Czołowa fala	22—23

- Denna fala** 22—23
Derywacja patrz — zboczenie
Dioptria 128
Długość linii celownika 86, 89, 123, 124, 218
Długość serii 238—240, 242—243, 252—253
Donośność pocisku 21, 25, 26, 27, 36, 37, 38, 39, 40, 48, 53
 55, 56, 75, 80
Donośność wstrzelana 38
Droga wypadkowa pocisku 83
Drogi ruchu samolotów 248—254
Działanie gazów wylotowych 11, 13
Działanie pocisków karabinowych
 i działowych 275—286
Działka lotnicze 8, 9, 15, 264, 265, 266, 273—274, 285
- Elementy toru pocisku** 32—39
Energia odrzutu 14—15
Energia wylotowa broni 12
Eulera krzywa 182, 188, 189, 205, 206
- Fala balistyczna** 23, 24
Fala czołowa 22, 23
Fala denna 22, 23
Fotokarabin 293—304
Fotokarabin maszynowy 304—305
- Gausa liczby** 188—191, 208, 209
Gausa prawo 182, 183, 201—206
Gazów wylotowych ciśnienie 11, 13, 14
Gazów temperatura 11
Gęstość trafiania 200
Gwintów konstrukcja 16,—17, 31
Gwinty o skręcie postępowym 31
- Hamulce wylotowe** 14
- Kaliber** 7, 9, 16, 25, 26, 55
Kąt celowania 43, 44, 49, 224
Kąt celownika 34, 35, 43, 44, 49, 54, 55, 56, 60—62.
 97, 98, 139, 214, 215—216, 224, 249
Kąt depresji 34
Kąt nachylenia płaszczyzny przenie-
 sienia 75, 77, 78—79, 94
Kąt nachylenia toru 38
Kąt nachylenia w punkcie uderzenia 38
Kąt nurkowania 220, 221, 223
Kąt osiowy 74, 75, 77, 79, 81, 92—94, 217, 218
Kąt podniesienia 20, 21, 34, 35, 75—79, 81, 82, 86, 88,
 91, 94—96, 98
Kąt podrzutu 34, 35, 49, 146
Kąt położenia celu 33, 35, 48, 49, 59—62, 97, 98, 216, 217,
 220, 221

Kąt przejścia śmigła	f8
Kąt rzutu	35, 36, 49, 53, 54, 62, 215, 216, 224
Kąt trafienia	38, 49, 281
Kąt upadku	38, 49
Kąt widzenia	133, 134, 141
Kąt wychylenia broni	73, 75—82, 91, 94—97, 250
Kątowa szybkość względna celu	244—246
Kątowe elementy toru	33—36
K. m. przedni uzgodniony	8, 9, 18, 224, 225, 238—240, 250, 251, 268
K. m. ruchomy	9, 223, 231, 252, 253
K. m. zdwojone	16, 251, 252—253
Kompletne urządzenie strzeleckie	8
Konstrukcja gwintów	16, 17, 31
Krzywa Eulera	182, 188, 205, 206
Krzywa pogoni	249—250
Kształt pocisku	22, 23, 24, 28
Kurs względny celu	107, 109, 110,, 112, 115—116, 117, 123, 212—213, 230, 240, 241—244, 249, 251
L ekkie pociski	275—278
Liczby Gaussa	188, 189—191, 208, 209
Linia celowania	43, 44—49, 88, 106, 107, 111, 215, 221, 239—242, 246
Linia celownika	43—44, 86, 126
Linia osi lufy	33,, 35, 74, 77
Linia przezierania	106, 110, 115, 116, 121, 213
Linia położenia celu	33, 35, 45, 46, 62
Linia ruchu celu	107
Linia rzutu	19, 33, 35, 68, 74
Linijowe elementy toru	33
Loksodroma ogniowa	250
Lornetka	142—143, 257, 258—259
Lot pocisku przy strzelaniu z samolotu	52—101
Luneta	133—137
M artwe pole ostrzału	258, 259
Martwe pole widoczności	258, 259
Muszka	43
Muszka pierścieniowa	90—96, 216, 217—218—219
Muszka wiatrowa	75, 85—90
Muszka wiatrowa ze skalą szybkości	87—88, 121, 126—127, 212, 213
N astawienie przyrządu celowniczego	43
O brotnik	9, 97, 98, 250
Obciążenie przekroju pocisku	24, 25, 26, 36, 105, 275, 278—280
Obiektyw	133
Obliczenie prawdopodobieństwa trafienia za pomocą tabel	205—206—209
Obniżenie pocisku	19, 20, 49, 55, 58, 60, 214, 215—217
Obraz pozorny	128
Obraz rzeczywisty	12, 9

Odchylenia pocisku	30, 35, 58—62, 145—146, 153—157, 223
Odchylenia pocisków spowodowane jednostronnym oświetleniem	59
Odchylenia pocisków spowodowane przekręceniem broni	58—59
Odchylenia pocisków spowodowane wiatrem	63—65, 66, 67, 221, 224
Odczytywanie zdjęć fotokarabina	295—297
Oddalenie celownika	122
Oddalenie normalne celownika	113, 114, 117
Odległość całkowitego pola rażenia	47
Odległość celownika	39
Odległość podstawowa	104
Odległość przyszła	107, 113, 117
Odległość strzału	38, 50, 54, 55, 61, 75, 78, 214—218, 224, 249
Odległość walki	103, 113, 212, 230, 245
Odrzut	13—16
Oerlikon (działko)	8, 264, 265, 273—274
Ogień towarzyszący	252
Ogniove właściwości samolotów bojowych	264, 265—267
Ognisko soczewki	128
Ogniskowa odległość soczewki	128
Oko (budowa, działanie)	130—133
Określenie błędów celowania	301—303
Określenie odległości	252—259, 296—300
Okular	133
Opadająca część toru	37, 38
Opancerzenie samolotów	286—288
Opracowywanie wyników strzelania	195—197
Optyka (podstawowe wiadomości)	127—143
Optyczne celowniki	44, 139—142, 215, 229
Osie optyczne drugorzędne	129
Oślonięte stanowiska strzeleckie	10
Oś optyczna soczewki	128

P aralaksa	139
Pierścieniowe celowniki	110—127, 211—228, 255—256
Płaski tor pocisku	36—38, 49
Płaszczyzna ogniskowa soczewki	129
Płaszczyzna przeniesienia	74, 75, 78
Płaszczyzna rzutu	36
Płaszczyzna strzału	35
Płaszczyzna wyprzedzenia	107
Pociski ciężkie	278—279
Pociski lekkie	275—278
Pociski przeciwpancerne	279—281
Pociski przeciwpancerno-światłne	282—283
Pociski smugowe	281—282
Pociski zapalające	283—285
Pocisku ciężar	12, 13, 24, 25
Pocisku ruch	7—51

Pocisku ruch w przewodzie lufy . . .	10—13
Początkowa szybkość pocisku . . .	12, 13, 19, 24, 25, 55—58, 62, 66, 68—75, 78—84, 89, 91, 92, 108, 275, 278—280
Podstawa przegubowa . . .	9
Podstawa toru . . .	32
Podstawy k. m.	9—10
Podziałki celownika . . .	45—224
Pola lufy . . .	16
Pole ostrzału . . .	258—259—265
Pole rażenia . . .	47, 48, 49
Pole rażenia całkowite . . .	47, 48
Pole rozrzutu . . .	146—149, 152, 197—208
Pole widoczności . . .	256—265
Pole widzenia lunety . . .	135—136
Położenie przyszłe celu . . .	102, 106, 109
Pomiar kątów w tysięcznych . . .	39—43
Poprawka celu . . .	106, 111, 126
Poprawka celu kątowna . . .	106, 107, 211, 215, 216, 240—244
Poprawka celu liniowa . . .	106, 107
Poprawka liniowa na szybkość względna . . .	232—238
Poprawka strzelca . . .	126, 127, 214
Powierzchniowe cele . . .	219, 223, 226
Powiększenie przyrządu optycznego . . .	134
Poziom wylotu . . .	32, 74
Prawdopodobna wartość ilości traień . . .	174—179
Prawdopodobieństwo kilkakrotnego zdarzenia . . .	168—171
Prawdopodobieństwo kombinacji . . .	166—168
Prawdopodobieństwo trafienia . . .	159, 197—199, 222
Prawdopodobieństwo trafienia do ce- lu o dowolnym kształcie . . .	199, 203—206
Prawdopodobieństwo trafienia do ce- lu ruchomego . . .	199—201, 208—209
Prawdopodobieństwo trafienia do ce- lu o kształcie prostokąta . . .	198—199, 202—204, 208
Prawdopodobieństwo zdarzenia . . .	159—166
Prawo błędów przypadkowych . . .	180—183
Prawo Gaussa . . .	182, 183, 201—206
Prawo rozrzutu . . .	147, 153, 156, 157, 182—183
Procentowa ilość traień w prostokąt . . .	156, 157
Prochu spalanie . . .	10, 11
Promień prawdopodobny rozrzutu . . .	152—157
Przyznaty . . .	130
Przekrój poprzeczny pocisku . . .	23, 25, 26
Przeniesiona linia celowania . . .	86, 96, 213
Przeniesiona płaszczyzna strzału . . .	70, 86, 91
Przeniesienie boczne . . .	71, 74—78, 92, 218
Przeniesienie kątowe . . .	71, 79—83, 86, 88, 91, 99
Przeniesienie liniowe . . .	71, 74, 75, 76—79, 84, 85, 86, 89, 126, 212, 235—238
Przenoszenie pocisku . . .	68—83
Przesuw boczny celu . . .	240—244, 248
Przeziernikowe celowniki . . .	229

Przyrząd celowniczy	43—45
Przyszły kurs względny celu . . .	107
Przysrzeliwanie	45, 47, 58, 61, 88, 215, 225, 288—293
Punkt celowania	45
Punkt uderzenia	38
Punkt upadku	38
Punktowe cele	219—223
Rodzaje ognia	252—253
Rozrzut	15, 16, 64, 145—157, 183—191, 193, 197—209, 220, 225, 250—252
Rozrzut kołowy	204, 205
Rozrzut skuteczny	152
Rzędne toru	45, 46, 48—50, 53—54, 55—56, 220
Ruch obrotowy pocisku	27—32
Ruch pocisku (podstawowe wiadomości)	7—51
Ruch pocisku w przewodzie lufy . .	10—13, 17, 18
Samoczynne celowniki	87, 96—100
Samolot bombowy ciężki	267
Samolot dwumiejscowy rozpoznawczy bombowy lekki, szturmowy .	266—267
Samolot myśliwski	264—266
San-Roberta zasada	60
Serii długość	238—240, 243, 252—253
Siatka celownicza	139—140
Siła oporu powietrza	21—27, 28, 29, 31, 32, 37, 49, 52, 55, 69—71, 83
Siła światła przyrządów optycznych	137—139
Skok gwintu	16
Skośniki	28
Słupek stały muszki wiatrowej . .	88, 212, 213, 217—219
Smugowe pociski	281—282
Soczewka	127—130
Spalanie prochu	10—11
Sposób rzutów kulistych	258—264
Sposób rzutów prostokątnych . . .	264
Sposób sześcianów	264
Stanowiska strzeleckie osłonięte .	10
Stromy tor pocisku	36—38, 49
Strzelanie do celów powierzchniowych	223—226
Strzelanie do celów punktowych . .	220—223
Strzelanie do celów ziemnych . . .	219—226
Strzelanie na duże odległości . . .	214—219
Strzelanie na podstawie oceny szybkości względnej	231—247
Strzelanie na strzelnicy i poligonie	291
Strzelanie pociskami smugowymi . .	226—228, 229
Strzelanie przez śmigło	17—19
Sylwetka celu latającego	110, 118—120, 215
Synchroniczne celowniki	246—247

Szczególne wypadki strzelania	211—247
Szturmowy atak	223—224
Szturmowy samolot	266—267
Szybkość celu	102—110, 112—114, 122, 124, 125, 211—213, 234, 235, 241, 245, 246, 249, 251
Szybkość kątowna celu	244—247, 248, 250—253
Szybkość obrotu pocisku	17, 30
Szybkość odrzutu	14
Szybkość pocisku	22—25, 26, 27, 30, 37, 49, 50, 52, 57, 84, 85
Szybkość początkowa pocisku	12, 13, 19, 20, 24, 25, 55—58, 62, 66, 68—71, 72—75, 83, 84, 89, 91, 92, 108, 275, 278, 279, 280
Szybkość średnia pocisku	21, 104, 108, 113, 114, 122, 123, 124
Szybkość względna	231—247, 249
Szybkość względna celu boczna	239, 240—244
Szybkość własna samolotu	66—75, 78—84—87, 89, 90, 92, 108, 231, 234, 235, 241, 242, 245
Szybkostrzelność	14, 238, 239, 264—267, 268—272
Środek optyczny soczewki	129
Środek parcia	27, 28
Środek rozrzutu	147, 149—156, 195—197, 214, 225
Środek wylotu lufy	12, 19, 32, 78
Świetlny celownik	141—142
Tabele strzelnicze	49—50
Technika użycia bojowego broni lot- niczej	248—306
Teoria błędów przypadkowych	179—197
Teoria prawdopodobieństwa	157—179
Tor pocisku	19, 20, 21, 27—30, 32—39, 45—51
Tor pocisku przy strzelaniu z samo- lotu	53—101, 227
Tor przeniesiony	70
Towarzyszący ogień	252
Trójkąt wyprzedzenia	106, 107
Twierdzenie o iloczynie prawdopodo- bieństw	164—166
Twierdzenie o sumie prawdopodo- bieństw	162—163
Typy samolotów bojowych	264—267
Tysięczna	39—43
Tysięczna pomiarowa	39—42
Tysięczna rzeczywista	39
Uchylenie	145—147—149, 150, 153—156, 179—197
Uchylenie kwadratowe	183, 185—187, 196
Uchylenie prawdopodobne	148, 152, 183, 186—187, 191—192, 194—195, 205, 214, 239, 242, 243
Uchylenie przeciętne	183—185, 187
Urządzenia strzeleckie	8—10
Uzbrojenie samolotów	7—10
Uzgodnione k.m.	8, 9, 18, 224, 225, 238—240, 250, 251, 268

Warunki normalne dla broni ręcznej	
i maszynowej	50
Wartość przeciętna ilości trafień	176—177
Wiatr balistyczny	64
Wiatrowa muszka	75, 85—90, 121, 126—127, 212, 213
Wierzchołek toru	37
Wpływ wiatru	62—68
Wpływ wysokości na lot pocisku	52—55, 97, 215, 216, 217
Wydajność ognia	264—266
Wylotowa energia broni	12
Wylotowych gazów działanie	11—13
Wylotowe hamulce	14
Wymiary celów ziemnych	226
Wypadkowa droga pocisku	83
Wyprzedzenie	102—110, 113, 126, 212
Wyprzedzenie kątowe	106—110, 112, 114—117, 121, 123, 124, 141, 142
Wyprzedzenie kątowe względne	245—246
Wyprzedzenie liniowe	102—106, 112—114, 116, 222, 229—231, 232, 235
Wznosząca się część toru	37, 38
Wzniesienie pierścienia lub muszki	
ponad osią lufy	44
Wypadkowa droga pocisku	83
Wysokość celownika	44, 45
Wysokość toru	45—49, 62, 220, 221
Wysokość toru ponad linią celowania	45—46
Założenie San-Roberta	20, 60
Założenie sztywności toru	20, 21
Zapalające pociski	233—285
Zaporowy ogień	248, 253—254
Zapłonnik ładunków	10
Zasady celowania	123, 125, 127, 141, 234—235
Zboczenie	27, 29, 30—32, 63, 70
Zdarzenia proste	160
Zdarzenia przeciwne	161
Zdarzenia niezależne	161—162
Zdarzenia nie wykluczające się	160—161
Zdarzenia wykluczające się	160—161
Zdarzenia zależne	161—162
Zdarzenia złożone	160
Zdolność przebijania pocisków	276
Zerowa linia celowania	44
Zniesienie kątowe	66
Zniesienie liniowe pocisku	66—67
Znoszenie pocisku	66, 221, 224
Zwłoka pocisku	83—85
Żrenice lunety	136—137
Żyroskop	31

SPIS TABEL

Porównanie danych lekkiego i ciężkiego pocisku o kalibrze 7,62	25
1. Odchylenie lekkiego pocisku pod wpływem zboczenia	30
Tabela rzędnych toru	46
2. Zmiana ciśnienia i ciężaru właściwego powietrza ze zmianą wysokości	52
3. Rzędne toru 7,62 mm k. m. lotniczego w zależności od wysokości (dane przybliżone)	54
4. Rzędne toru dla kąta celownika 13' w zależności od wysokości lotu	54
5. Zmiana rzędnych toru w zależności od wysokości lotu samolotu nad ziemią co każde 2000 m	54
6. Zmiany rzędnych toru oraz zmiany donośności przy zmianie szybkości początkowej o 10 m/sek	56
7. Odległości strzału przy różnych kątach położenia i przy stałym kącie celownika 13'	61
8. Wzrost wysokości toru ponad linią położenia celu przy wzroście położenia	62
9. Wysokości toru dla odległości strzału 1000 m przy różnych kątach położenia	62
10. Odchylenia pocisków spowodowane wiatrem o szybkości 5 m/sek przy strzelaniu ziemnym	64
Wyprzedzenie w zależności od odległości	103
11. Wielkości wyprzedzeń oraz błędy powstałe ze stosowania zasady proporcjonalności	104
12. Część promienia pierścienia i odpowiadające im sylwetki	119
Możliwe kombinacje wyciągania gałek	165
Tabela dwumianów	172
Tabela poprawek przy strzelaniu na wysokościach 4000 i 6000 m	216
13. Wysokość toru ponad linią celowania przy wzniesieniu muszki ponad oś lufy równym 20 cm	220
14. Wymiary celów ziemnych	226
Przybliżone wartości wyprzedzenia	230
15. Względne szybkości katowe przy atakowaniu ogniem k. m. pilota samolotu lecącego z szybkością $V = 50$ m/sek	249
16. Kąty widzialności celu o wymiarze 10 m z odległości od 100 do 2000 m	255
17. Zdolność przebijania pocisków o ostrym szczycie	276
18. Najmniejsza potrzebna grubość osłony, chroniąca przed pociskiem lekkim przy wszystkich odległościach strzału	277
19. Szybkości końcowe i siły żywe pocisku sowieckiego wz. 1908 przy różnych odległościach	278

20. Czas przelotu pocisków lekkich i ciężkich	278
21. Charakterystyki pocisków ciężkich	279
22. Charakterystyki pocisków przeciwpancernych	280
23. Ilość pocisków przebijających 7 mm pancerz przy różnych kątach trafienia oraz różnych odległościach	281
24. Zdolność przebijania rdzenia pocisku przeciwpancernego oraz odłamków płyty pancernej po jej przebiciu	281
25. Charakterystyki pocisków smugowych	282
26. Charakterystyki pocisków przeciwpancerno-światlnych	283
27. Charakterystyki pocisków zapalających	284
28. Działanie przebijające pocisków k. m. dużego kalibru przy kącie trafienia równym 0^0	284
29. Zdolność przebijania pancerza pociskiem k. m. Hotchkiss dużego kalibru przy różnych kątach trafienia	285
30. Zdolność przebijania pancerza pociskami działek małokalibrowych	285

Dodatki.

1. Tabelą strzelniczą k. m. wz. P. W. 1 (strzelanie ziemne)	308
2. Tabela strzelnicza k. m. wz. D. A. (strzelanie ziemne)	309
3. Tabela odchyień środka rozrzutu pod wpływem wiatru, tempera- tury i ciśnienia	310
4. Tabela zmiany szybkości przy strzelaniu dla różnych kątów poło- żenia celu	310
5. Tabela prawdopodobieństw trafienia w pas przechodzący przez środek elipsy rozrzutu o granicach odległych od osi o wielkość od 0,01 do 5 uchyień prawdopodobnych	310
6. Tabela do odczytywania zdjęć fotokb.	312
7. Tabela do wyznaczania odległości na podstawie wielkości kątowej przy odczytywaniu zdjęć fotokb.	313
8. Tabela sinusów kątowych wyrażonych w tysięcznych	313
9. Tabele trygonometryczne	314
10. Tabele trygonometryczne	315





2833/
2