

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO  
im. Generała Broni Karola Świerczewskiego

INSTYTUT DOWODZENIA

*1-31 str 45*

DO DZYTUKU  
SŁUŻBOWEGO  
Egz. Nr

REFERAT

do zajęć dla kierowniczej Kadry Ministerstwa Obrony  
Narodowej z dziedziny usprawniania dowodzenia  
i zarządzania przy wykorzystaniu elektronicznej  
techniki obliczeniowej na temat:

PRZEGLĄD WSPÓŁCZESNYCH METOD OPTYMALIZACJI  
DECYZJI

*Pp 538*

*31 arde*

ARCHIWUM  
BIBLIOTEKI SZKOLENIOW  
AKADEMII SZTABU GENERALNEGO  
im. gen. broni K. Świerczewskiego  
*336783*



# AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO

im. Generała Broni Karola Świerczewskiego

INSTYTUT DOWODZENIA

DO UŻYTKU  
SŁUŻBOWEGO

1-31 str 4

Egz. Nr .....

## REFERAT

do zajęć dla kierowniczej Kadry Ministerstwa Obrony  
Narodowej z dziedziny usprawniania dowodzenia  
i zarządzania przy wykorzystaniu elektronicznej  
techniki obliczeniowej na temat:

### PRZEGLĄD WSPÓŁCZESNYCH METOD OPTYMALIZACJI DECYZJI

538

31.12.69

ARCHIWUM  
BIBLIOTEKI SZKOLENIOWEJ  
AKADEMII SZTABU GENERALNEGO  
im. gen. broni K. Świerczewskiego

36783

WARSZAWA

LUTY

1969

Zal.	Do pisma	wychodz.	Nr	P/657
		wchodz.		
Nr 2	z dnia	6.11.	1969.	r.

INSTYTUT DOWODZENIA

DO BRYTYKI  
SĄDOWEJ

Egz. Nr: ... 1

*Inekl. prot. 12677.*

R E F E R A T

do zajęć dla kierowniczej kadry Ministerstwa  
Obrony Narodowej z dziedziny usprawniania  
dowodzenia i zarządzania przy wykorzystaniu  
elektronicznej techniki obliczeniowej

na temat:

PRZEGLĄD WSPÓŁCZESNYCH METOD  
OPTIMALIZACJI DECYZJI



Opracował:

plk dr Mieczysław CIECHANOWICZ

ARCHIWUM  
BIBLIOTEKI SZKOLENIOWEJ  
AKADEMII SZTABU GENERALNEGO  
im. gen. broni K. Świerczewskiego

*36783*

2

PRZEGLĄD WSPÓŁCZESNYCH METOD  
OPTYMALIZACJI DECYZJI

1. Zasadnicze pojęcia i kierunki zastosowania badań operacyjnych

W ostatnim czasie intensywnie rozwija się nowa gałąź nauki - badania operacyjne - będąca jedną z ważnych, szczególnie w zastosowaniach praktycznych, działów cybernetyki.

Definicje badań operacyjnych. Badania operacyjne są zbiorem metod służących do podejmowania optymalnych decyzji w zakresie użycia określonych środków dla zrealizowania zamierzonego celu w określonych warunkach działania /W.SADOWSKI/.

Badania operacyjne są naukową metodą przygotowania władzom wykonawczym podstaw o charakterze ilościowym dla decyzji odnoszących się do kierowanych przez nie operacji /MORSE, KIMBALL/.

W dziedzinie wojskowej badania operacyjne stosuje się do uogólniania, analizy i ilościowego opisu procesów walki zbrojnej, zgodnie z wymogami i zasadami prowadzenia współczesnych działań bojowych. Jako dane wejściowe wykorzystuje się doświadczenia z minionych wojen, ćwiczeń dowódczo-sztabowych i ćwiczeń z wojskami, prób poligonowych oraz wyników eksploatacyjnych sprzętu bojowego i uzbrojenia, będącego na wyposażeniu wojska. W okresie wojny tego rodzaju dane otrzymuje się bezpośrednio z pola walki.

W regulaminach wojskowych podkreśla się, że jednym z zadań sztabów jest studiowanie, uogólnianie i doprowadzenie do wojsk, w formie konkretnych wskazówek, wyników dotychczasowych działań bojowych w celu ulepszenia metod kierowania nimi. Najbardziej efektywnie zadanie to może być realizowane w opraciu o metody badań operacyjnych.

Formalizacja procesów współczesnych działań bojowych stwarza szerokie możliwości zastosowania EMC dla częściowej, a w perspektywie pra-

wie całkowitej ich automatyzacji.

Obecnie prowadzone są intensywne prace w zakresie usprawnienia procesów kierowania wojskami w oparciu o metody badań operacyjnych i elektroniczną technikę obliczeniową.

Liczba problemów rozwiązywanych za granicą metodami badań operacyjnych jest bardzo duża. Wnioski i zalecenia otrzymane na drodze zastosowania badań operacyjnych stanowią podstawy planowania działań bojowych, opracowania doktryn wojennych, rozwiązywania zadań taktycznych i nowych systemów uzbrojenia; a nawet wykorzystuje się je do uzasadnienia różnych planów o charakterze ekonomicznym, militarnym i politycznym.

Pod pojęciem operacja rozumiemy zbiór przedsięwzięć podporządkowanych jednej myśli przewodniej i skierowanych na osiągnięcie jednego celu.

Jako przykłady operacji w dziedzinie wojskowej mogą służyć:

- wykonanie uderzenia bronią masowego rażenia na cele za pomocą lotnictwa, artylerii lub wojsk raketowych;
- pokonywanie przez wojska stref skażonych i zabezpieczenie stanu osobowego podczas działań w tych strefach;
- opracowanie metod prognozowania sytuacji skażeń;
- organizacja i prowadzenie rozpoznania skażeń rejonu działań bojowych;
- zabezpieczenie wojsk w sprzęt chemiczny;
- opracowanie nowego typu maski przeciwigazowej, dostosowanej do współczesnych potrzeb i wymogów;
- doświadczenia na poligonie z nowym typem rakiet itp.

Jak wynika z przytoczonych wyżej przykładów, pojęcie "operacja" nie zbiega się z określeniem "operacja" używanym w sztuce wojennej i jest bardziej ogólne.

Przykłady operacji można znaleźć w przemyśle, rolnictwie i wielu innych dziedzinach.

W dowolnej operacji istotną rolę spełnia działalność człowieka, kierującego procesem i w mniejszym lub większym stopniu wpływającego na jego przebieg oraz wyniki. Kierowanie procesem związane jest z podjęciem decyzji tzn. z wyborem sposobów organizacji operacji.

Każda operacja jest planowana wcześniej, z uwzględnieniem możliwych warunków jej realizacji, w których operacja ta będzie wykonywana i od których zależy jej rezultat, a one nie zawsze będą znane. Większość operacji prowadzi się w warunkach zawierających element niepewności, przypadkowości, zależnej od wielu oddziaływań kontrolowanych i niekontrolowanych czynników, a w dziedzinie działań bojowych - również przeciwdziałania przeciwnika.

Na przykład efektywność zastosowania broni chemicznej zależy od rozmiarów, typu i ilości pocisków chemicznych, sposobu ostrzelania celu i błędów strzelania, warunków meteorologicznych w rejonie celu, zabezpieczenia w sprzęt chemiczny i wyszkolenia wojsk przeciwnika w zakresie przygotowania ich pod względem ochrony przed skażeniami itd. Ilościowa ocena większości wymienionych czynników może być znana tylko w przybliżeniu na podstawie prognozy innych oznak i na podstawie doświadczenia poprzednio prowadzonych działań bojowych. Do chwili wykonania uderzenia przeciwnik może zmienić rejon rozmieszczenia. Część środków przenoszenia broni chemicznej może być zniszczona podczas podejścia do celu. Tak więc w każdym konkretnym przypadku jest niemożliwe wcześniejsze określenie dokładnych wyników planowanego uderzenia chemicznego. Każde wyniki obliczeń dla większości planowanych operacji potwierdzają się tylko jako wartości średnie.

Wykorzystanie metod badań operacyjnych celowe jest szczególnie w tym przypadku gdy warunki posiadają przypadkowy, stochastyczny charakter. Na przykład przy syntezie nowego związku chemicznego, w czasie prób technicznych nowego urządzenia, przy opracowaniu nowej metody prognozowania sytuacji skażeń - napotykamy nieokreśloność warunków wykonania

zadania, co wymaga wyszukania racjonalnych /optymalnych/ decyzji z dużej ilości możliwych wariantów. Celowe jest tu zastosowanie metod badań operacyjnych.

Powtarzalność stanowi ogólną cechę badanych zjawisk i procesów; pozwala ona wykryć i ustalić zależność oraz prawidłowość.

Niektóre operacje posiadają szereg specyficznych i tylko im właściwych cech /na przykład operacja strategiczna na danym teatrze działań wojennych lub operacja mająca na celu sprawdzenie nowych typów uzbrojenia/ co w całości wyklucza powtarzalność. Jednak i w tym przypadku cechę powtarzalności posiadają elementarne operacje, z których składa się cała operacja.

Pierwsze próby praktycznego zastosowania na szerszą skalę metod badań operacyjnych miały miejsce w okresie drugiej wojny światowej. Jednak ta gałąź nauki zrodziła się jeszcze przed wojną - głównie dla rozwiązywania zagadnień wojskowych.

V  
W okresie międzywojennym duże znaczenie dla rozwoju badań operacyjnych miało opracowanie w ZSRR teorii efektywności bojowej zapoczątkowanej w Wojskowej Akademii Lotniczej im. N.E.Żukowskiego oraz innych akademiach wojskowych. Od samego początku teoria efektywności bojowej zawierała wiele pojęć i metod, które obecnie zaliczamy do dziedziny badań operacyjnych. W dobie obecnej ocena efektywności środków rażenia jest najbardziej opracowaną częścią badań operacyjnych.

Należy podkreślić, że w ZSRR nad opracowaniem właściwych metod matematycznych dotyczących oceny efektywności uzbrojenia i sprzętu bojowego zajmowali się tacy wielcy uczeni, jak Kołmogorow, Berg i wielu innych.

W Anglii metody badań operacyjnych zaczęto stosować tuż przed drugą wojną światową, w związku z wprowadzeniem na wyposażenie wojsk stacji radiolokacyjnych. Zastosowanie tych stacji dziesięciokrotnie zwiększyło prawdopodobieństwo przechwycenia samolotów przeciwnika natomiast praca grup badań operacyjnych nad właściwym wykorzystaniem tego sprzętu przy-

czyniła się do zwiększenia tego prawdopodobieństwa jeszcze dwa razy.

W USA grupy badań operacyjnych zostały zorganizowane w 1942 r. i najbardziej efektywnie pracowały w marynarce wojennej. Opracowana przez te grupy teoria poszukiwania pozwoliła udoskonalić metody wykrywania łodzi podwodnych przeciwnika.

W ostatnim czasie w rozwoju badań operacyjnych zarówno w Związku Radzieckim, jak i w innych krajach zachodnich, obserwujemy powstawanie nowych teorii i metod służących do rozwiązywania zagadnień natury taktyczno-operacyjnej, a nawet strategicznej z uwzględnieniem przeciwdziałania przeciwnika, niezawodności urządzeń technicznych itd. Złożoność rozwiązywanych problemów nasuwała potrzebę rozwoju zarówno nowych metod badań operacyjnych jak i elektronicznej techniki obliczeniowej. Obecnie badania operacyjne są tak mocno związane z elektroniczną techniką obliczeniową, że niekiedy określa się je jako zastosowanie naukowych metod i EMC w kierowaniu. Głównie chodzi tu o dostarczenie organom dowodzenia /zarządzania/ niezbędnych i aktualnych danych do podjęcia uzasadnionych decyzji w procesie kierowania.

Warto wspomnieć o dwóch skrajnych ocenach możliwości zastosowania badań operacyjnych do rozwiązywania zagadnień wojskowych, które najczęściej są spotykane w pracach autorów z państw kapitalistycznych.

Pierwsza z nich zawiera fetyszyzację metod badań operacyjnych. Wyraża się to w dążeniach do otrzymywania przy ich pomocy rozwiązań ostatecznych, bezkrytycznie "optymalnych", skomplikowanych zadań bojowych. Błąd zawiera się w tym, że teorię badań operacyjnych sztucznie zastępuje się aparatem matematycznym. Bezwarunkowe, metody matematyczne zajmują ważne miejsce w badaniach operacyjnych. Należy jednak podkreślić, że dane początkowe w badaniach tych otrzymuje się na podstawie praktyki: z doświadczeń wojennych, gier, ćwiczeń, prób poligonowych uzbrojenia i sprzętu bojowego itd. Należy również podkreślić, że wielu czynników mających istotny wpływ na rozwiązanie zadania nie można narazie ująć ilościowo

/na przykład stan moralno-polityczny, doświadczenie bojowe, zdolności organizacyjne dowódców itp./

Druga skrajność polega na niedocenianiu możliwości metod matematycznych, nadmierne ograniczenie ich stosowania jakoby dlatego, że kierowanie wojskami jest procesem twórczym, natomiast walka zbrojna - jest nadzwyczaj złożona i matematyczny opis tego procesu jest po prostu niemożliwy.

Błądność takiego twierdzenia jest oczywista czociażby dlatego, że wykonywanie wielu skomplikowanych obliczeń podczas planowania przedsięwzięć operacyjno-taktycznych stało się częścią składową pracy sztabów.

Obydwie skrajne oceny są dla praktyki wysoce szkodliwe. Należy jeszcze raz podkreślić, że na obecnym etapie rozwoju cybernetyki wojskowej badania operacyjne nie mogą zastąpić dowódcę w podejmowaniu decyzji, a tylko ułatwiają wybrać lepszy wariant decyzji z wielu możliwych.

W wojsku zastosowanie badań operacyjnych rozprzestrzenia się głównie na dwie dziedziny:

1. Studia w zakresie efektywności systemów uzbrojenia i sprzętu bojowego oraz metod jego użycia w walce.
2. Organizacja kierowania działaniami bojowymi wojsk.

Studia prowadzone w dziedzinie efektywności systemów uzbrojenia i sprzętu bojowego oraz metod jego użycia w działaniach bojowych posiadają określony cel: ustalenie skuteczności danego typu broni i najwłaściwszych sposobów jego wykorzystania w walce oraz określenie wskaźników ekonomiczności itp.

W dziedzinie organizacji kierowania działaniami bojowymi zastosowanie badań operacyjnych ma m.in. na celu:

- opracowanie najbardziej racjonalnych metod przygotowania sił zbrojnych i kraju do działań wojennych zgodnie z przyjętą doktryną;
- uzasadnienie najbardziej racjonalnego współdziałania rodzajów sił zbrojnych i rodzajów wojsk;

- określenie optymalnych parametrów różnych rodzajów uzbrojenia i sprzętu bojowego;
- wybór racjonalnej organizacji zaopatrzenia wojsk itp.

W warunkach braku doświadczeń w prowadzeniu działań bojowych z zastosowaniem nowoczesnych środków rażenia badania operacyjne posiadają szczególne znaczenie; bowiem umożliwiają na drodze prób częściowych i obliczeń analitycznych na EMC uzyskanie optymalnych rozwiązań, zagadnień związanych z użyciem broni masowego rażenia, obrony przed nią itp.

Z dużym powodzeniem zaczęto stosować metody badań operacyjnych w czasie ćwiczeń i gier wojennych w celu określenia optymalnych wariantów użycia sił i środków, podziału uderzeń jądrowych na poszczególne cele, oceny efektywności przyjętych decyzji itp.

Już obecnie rozwiązuje się przy zastosowaniu metod badań operacyjnych i EMC szereg zadań z zakresu oceny efektywności użycia broni jądrowej, prognozowania sytuacji skażeń, określenia strat zaistniałych na skutek uderzeń bronią jądrową itd.

Duża liczba bardziej złożonych zadań znajduje się w stadium opracowania, co stwarza perspektywy dalszego rozszerzenia dziedziny zastosowania metod badań operacyjnych i EMC w praktyce szkoleniowej i działalności bojowej wojsk. Istnieją także perspektywy wprowadzenia na wyposażenie wojsk nowoczesnych maszyn cyfrowych.

## 1.2. Kryteria efektywności

Przy ocenie słuszności decyzji zasadniczą rolę odgrywa przyjęte kryterium efektywności, zwane również kryterium optymalności. Zajmuje ono jedno z głównych miejsc w teorii badań operacyjnych.

Pod pojęciem efektywności operacji rozumiemy stopień realizacji stawianych przed nią celów.

Dla oceny efektywności operacji lub porównania z sobą różnych wariantów decyzji wprowadza się pewien wskaźnik ilościowy, który oznaczymy literą W.

Wybór właściwego kryterium efektywności jest najważniejszym i najbardziej twórczym elementem w badaniach operacyjnych. Dla zadań o charakterze taktyczno-operacyjnym kryteria efektywności winni ustalić doświadczeni specjaliści na podstawie głębokiej analizy warunków w jakich mają być prowadzone działania bojowe oraz możliwości sił i środków własnych oraz przeciwnika.

W warunkach braku aktualnych doświadczeń w prowadzeniu działań bojowych zachodzi konieczność opierania się na doświadczeniach z minionych wojen oraz zdobytych w czasie gier, ćwiczeń z wojskami, prób poligonowych a także na wynikach obliczeń uzyskanych przy stosowaniu elektronicznej techniki obliczeniowej i współczesnych metod badań operacyjnych.

Kryterium efektywności powinno odpowiadać co najmniej dwóm zasadniczym wymogom:

Po pierwsze, powinno obiektywnie odzwierciedlać istotną cechę i główny cel planowanej operacji.

Po drugie, przyjęte kryterium powinno zapewniać wybór możliwie najlepszej a więc optymalnej decyzji.

Należy zawsze dążyć do tego, ażeby wielkość liczbowa kryterium efektywności pokazywała nie tylko stopień przybliżenia otrzymanego rezultatu operacji do optymalnego, ale również w sposób istotny zależała od parametrów ulegających zmianie w czasie przebiegu operacji.

W zależności od rodzaju operacji i warunków sytuacji przyjmuje się różne kryteria efektywności.

Zazwyczaj jako kryteria efektywności operacji przyjmuje się wielkości mające określony "sens fizyczny" /prawdopodobieństwo albo wartość oczekiwaną strat zadanych przeciwnikowi lub poniesionych przez własne wojska, czas realizacji systemu na działalność przeciwnika, koszt planowanych przedsięwzięć operacyjnych i spodziewane efekty itp./.

W obecnym czasie najszerzej zostały opracowane zagadnienia charakteryzujące efektywność strzelań. Pod pojęciem "strzelanie" w szerokim

ujęciu rozumiemy strzelanie pociskami , raketami oraz bombardowanie wszystkimi rodzajami bomb. Strzelanie zawiera w sobie najbardziej aktywne oddziaływanie środków rażenia na obiekty przeciwnika i dlatego jest ważną częścią składową każdej operacji.

W związku z tym, że efekty strzelania zależą od wpływu czynników przypadkowych, dokładne określenie wyniku każdego oddzielnego strzału jest niemożliwe. Wszystkie prognozy mogą być tylko wartością średnią dużej liczby strzałów oddanych w tych samych warunkach.

Zazwyczaj obiekty będące celami dzielimy na dwie kategorie: punktowe i powierzchniowe. Obiekty punktowe nie posiadają własności nakładania się strat i mogą być rażone w całości lub nie być rażonymi. Obiekty powierzchniowe posiadają własności nakładania się strat i mogą być rażone tylko częściowo.

Rozpatrzmy niektóre przykłady:

Pierwszy przypadek. Działo przeciwpancerne prowadzi strzelanie do czołgu. Strzelanie to ma na celu zniszczenie czołgu. Oznaczmy fakt zniszczenia czołgu symbolem A. Jeżeli po wystrzale czołg został trafiony, to  $A=1$ ; w przypadku nie trafienia  $A=0$ .

Jako kryterium efektywności przy strzelaniu do obiektu punktowego przyjmuje się prawdopodobieństwo trafienia:

$$W = p / A,$$

przy czym wielkość prawdopodobieństwa jest zawarta w granicach od 0 do 1.

Drugi przypadek. Chodzi tu o zadanie obiektowi maksymalnie możliwych strat. Jako przykłady mogą służyć: strzelanie pociskami odłamkowymi do celu powierzchniowego, wykonanie uderzenia jądrowego na rejon przemysłowy, odpalenie rakiety przeciwlotniczej z ładunkiem jądrowym do grupy samolotów itp.

W porównaniu z pierwszym, cechą charakterystyczną tego przypadku jest to, że strzelanie prowadzi się nie do jednego obiektu punktowego,

lecz do grupy obiektów, dowolnie rozmieszczonych na pewnej powierzchni lub w przestrzeni.

Efektywność strzelania do celów powierzchniowych przyjęto charakteryzować wartością średnią zadanych strat lub inaczej wartością oczekiwaną rażonej części obiektu  $M/U$ , którą zazwyczaj wyrażamy w procentach. Zatem funkcja kryterium  $W$  ma w tym przypadku postać:

$$W = M/U.$$

Wielkość przypadkowa  $U$  - straty poniesione od uderzenia na obiekt - może być wyrażona w różnych jednostkach, np. jednostkach powierzchni, objętości, czasu, utraty zdolności bojowej przez cel, kosztów itd. Straty  $U$  mogą być wyrażone w jednostkach względnych jak również absolutnych. Na przykład przy strzelaniu do celu powierzchniowego pociskami odłamkowymi jako kryterium efektywności przyjmuje się wartość oczekiwaną rażonej części obiektu; podobnie jest w przypadku wykonania uderzenia jądrowego na rejon przemysłowy.

W przypadku strzelania do grupy samolotów kryterium efektywności stanowi wartość oczekiwana liczby rażonych samolotów, która jest równa sumie prawdopodobieństw rażenia każdego z samolotów biorących udział w nalocie.

Oprócz rozpatrzonych dwóch typowych przypadków w praktyce spotyka się przypadki pośrednie. Jako przykład można przytoczyć strzelanie do celu grupowego.

Podane zasady wyboru kryterium efektywności strzelania mogą być przeniesione na bardziej ogólne zadania o charakterze taktyczno-operacyjnym. Jeżeli np. pewna operacja jest planowana celem osiągnięcia pewnego określonego rezultatu  $A/A = 1$  jeśli cel jest osiągnięty i  $A = 0$  w przypadku przeciwnym/, to kryterium efektywności winno być prawdopodobieństwo wykonania zadania  $p/A$ , prowadzące do osiągnięcia celu operacji.

Jeżeli celem operacji jest uzyskanie maksymalnej wartości  $U$  charakteryzującej zakończenie operacji, to kryterium efektywności winna być wartość oczekiwana zadanych strat  $M/U$ .

W operacjach bardziej złożonych, zawierających dużą liczbę różnych czynników, zazwyczaj oprócz zasadniczego /głównego/ kryterium efektywności wprowadza się szereg kryteriów pomocniczych, które charakteryzują istotne, ale nie główne cechy operacji. Najczęściej planowanie operacji odbywa się w oparciu o kryterium główne, natomiast kryteria pomocnicze spełniają rolę ograniczeń.

W każdym zadaniu z reguły istnieją pewne warunki /np. czasy dyrektywne, warunki terenowe, limitowane zasoby środków materiałowych itp./, które ściśle ograniczają zbiór możliwych rozwiązań. Na przykład przy opracowywaniu nowych wzorów uzbrojenia takimi warunkami mogą być: ciężar broni, gabaryty, najniższa granica efektywności, cena itp. Przy badaniu efektywności działań bojowych wojsk ograniczeniami mogą być rodzaje uzbrojenia, ilość sił i środków, zapasy materiałowe, czas itp.

Niektórych czynników zmiennych poddawanych kontroli, ocenie i mających wpływ na rozwiązanie zadania nie podaje się zawczasu. Wartość i zakres możliwych zmian tych czynników określa się na podstawie późniejszych badań. Tak na przykład przy określaniu wymogów taktyczno-technicznych, dla nowej bomby lotniczej bada się: typy samolotów, z których będzie ona zrzucona, rodzaj i wymiary celów, stopień rozbudowy ukryć przeciwnika, warunki i sposoby bombardowania itp.

W końcu istnieje duża ilość czynników, które nie są kontrolowane i nie ocenia się ich dla każdego konkretnego przypadku; jednak mogą one w sposób istotny wpływać na wartość kryterium efektywności. Na przykład odchylenie w wysokości wybuchu rakiety o działaniu czasowym nie wyklucza możliwości rażenia celu, jednak może znacznie zmniejszyć procent strat.

Ogólną postać kryterium efektywności możemy wyrazić w sposób następujący:

$$W = f / a_1, a_2, a_3, \dots, b_1, b_2, b_3, \dots, x_1, x_2, x_3, \dots /,$$

gdzie: a - zadane stałe parametry /warunki ograniczające/ operacji;

b - kontrolowane zmienne /parametry/ operacji;

x - niekontrolowane zmienne /czynniki zmienne/ operacji.

Trudność w znalezieniu rozwiązania racjonalnego /optymalnego/ polega na tym, że choć warunki dla każdego rozpatrywanego wariantu operacji są wiadome, to mogą się one zmieniać niezgodnie z przewidywanymi zasadami. Dlatego wybór najlepszego rozwiązania zazwyczaj sprowadza się nie do matematycznego zadania znalezienia maksimum lub minimum funkcji kryterium, ale do szczegółowej analizy mocnych i słabych stron szeregu wariantów rozwiązań przy obowiązkowym uwzględnieniu przeciwdziałania przeciwnika. Dla znalezienia racjonalnych /optymalnych/ wariantów rozwiązań wykorzystuje się różnorodne metody badań operacyjnych.

## 2. Krótką charakterystyką podstawowych metod badań operacyjnych

Do podstawowych metod badań operacyjnych zalicza się:

- metody matematyczne;
- metody modelowania.

Metody te stosuje się oddzielnie lub łącznie.

### 2.1. Metody matematyczne

Obecnie metody matematyczne odgrywają rolę wiodącą. Najbardziej szeroko wykorzystywana jest teoria prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna. Oprócz tego dość często wykorzystywany jest klasyczny aparat analizy matematycznej, algebry liniowej, logiki matematycznej, oraz metody numeryczne. Prócz wyżej wymienionych działów matematyki, które dość dawno istnieją, wykorzystuje się stosunkowo nowe działy matematyki stosowanej, powstałe m.in. na gruncie badań operacyjnych. Do nich zalicza się: teorię gier, teorię masowej obsługi /teoria kolejek/, progra-

mowanie liniowe, nieliniowe, stochastyczne i dynamiczne, teoria poszukiwania, pościgu i szereg innych. Niektóre z tych metod już teraz znalazły szerokie zastosowanie praktyczne i faktycznie przekształciły się w samodzielne dyscypliny matematyczne.

### 2.1.1. Teoria gier

Rzeczywistość dostarcza niemało przykładów ścierania się przeciwstawnych sił, tendencji i możliwości. Starcia te mogą przyjmować formę konfliktu, w którym uczestniczą dwie strony realizujące przeciwstawne cele.

Jak określić wynik konfliktu, jeżeli wynik działań każdej strony zależy od działań odwetowych strony przeciwnej?

Jakie działania zastosować, żeby wynik konfliktu był najlepszy, bez względu na przeciwdziałanie drugiej strony?

Problemy te wynikają u uczestników konfliktu stojących przed wyborem sposobu działania. Działania bojowe są typowym przypadkiem sytuacji konfliktowej dwóch przeciwstawnych stron.

Teoria gier pomaga oceniać te problemy z ilościowego punktu widzenia, dając odpowiedź na dwa podstawowe pytania: jak działać i jaki jest oczekiwany wynik konfliktu.

Dlatego teorię gier określa się jako matematyczną teorię wyboru decyzji w sytuacjach konfliktowych, jako teorię umożliwiającą znajdowanie optymalnych decyzji w tych sytuacjach.

Teoria gier zajmuje się badaniem tylko takich gier, w których występuje świadoma, planowa działalność człowieka. /Teorię gier nie stosuje się do gier losowych/. Dlatego też teorię gier niekiedy nazywa się teorią gier strategicznych.

Żeby przeanalizować daną sytuację konfliktową przy pomocy teorii gier, należy mieć odpowiednie dane początkowe. Danymi tymi jest ocena oczekiwanych wyników wszystkich możliwych sposobów działań jednej stro-

ny i porównanie ze sposobami działań drugiej strony.

Przykład 1. Przyjmijmy, że własna strona może wykonać nalot na obiekt przeciwnika trzema sposobami. Oceniono, że przeciwnik może osłaniać obiekt według jednego z trzech możliwych wariantów.

Jako kryterium efektywności można przyjąć prawdopodobieństwo zniszczenia obiektu.

Możliwe wyniki działania przy każdym z trzech sposobów nalotu własnej strony i wariantów obrońcy obiektu przez przeciwnika przedstawiono w poniższej tabelicy:

Warianty działań npla

		1	2	3
sposoby				
nalotu	I	0,7	0,2	0,3
	II	0,6	0,7	0,4
	III	0,4	0,5	0,1

Taką tablicę nazywamy macierzą gry.

Każdy wiersz tej macierzy określa wynik, który można uzyskać przy realizacji nalotu odpowiednim sposobem, przy różnych wariantach obrony obiektu przez przeciwnika. Każda kolumna charakteryzuje efektywność poszczególnych wariantów obrony obiektu, przy różnych sposobach nalotu.

Własna strona jest zainteresowana w wyborze takiego sposobu nalotu, aby uzyskać jak największe prawdopodobieństwo zniszczenia obiektu. Natomiast przeciwnik będzie dążył do wybrania takiego wariantu obrony, aby to prawdopodobieństwo było możliwie najmniejsze.

Z analizy macierzy gry wynika, że pierwszy sposób obrony obiektu jest niekorzystny dla przeciwnika w porównaniu z trzecim. Dlatego też macierz gry można zmniejszyć, wykreślając pierwszą kolumnę. Macierz gry przyjmie postać:

	2	3
I	0,2	0,3
II	0,7	0,4
III	0,5	0,1

Z kolei łatwo zauważyć, że dla własnej strony drugi sposób nalotu jest efektywniejszy niż trzeci, stąd też trzeciego sposobu nalotu nie powinno się stosować. Ostatecznie macierz gry będzie miała postać:

	2	3
I	0,2	0,3
II	0,7	0,4

Przy wyborze pierwszego sposobu nalotu musimy liczyć się z uzyskaniem prawdopodobieństwa zniszczenia obiektu równego co najmniej 0,2 zakładając, że przeciwnik może rozpoznać nasz zamiar i zastosować dogodniejszy dla niego wariant obrony /wariant 2/. Analogicznie - przy drugim sposobie nalotu możemy uzyskać co najmniej 0,4.

Dlatego też lepszym sposobem nalotu jest sposób II, gwarantujący uzyskanie prawdopodobieństwa zniszczenia obiektu równe co najmniej 0,4 bez względu na wariant obrony stosowany przez npla.

Można również określić racjonalne postępowanie przeciwnika. Dążąc do zapewnienia możliwie małego prawdopodobieństwa zniszczenia obiektu, przeciwnik powinien liczyć się z gorszym dla siebie sposobem nalotu. Wybierając drugi wariant obrony musi przyjmować, że prawdopodobieństwo zniszczenia obiektu wyniesie co najmniej 0,7, a przy trzecim wariantcie obrony - 0,4.

Zatem trzeci wariant obrony obiektu jest wygodniejszy dla przeciwnika.

Otrzymaliśmy zatem rozwiązanie gry, które określa optymalne sposoby działania stron: własnej strony - II sposób nalotu, przeciwnika - 3 wariant obrony.

Wynik uzyskiwany przy optymalnych sposobach postępowania nazywamy wartością gry  $V$ . W rozpatrywanym przykładzie - prawdopodobieństwo zniszczenia obiektu równe 0,4.

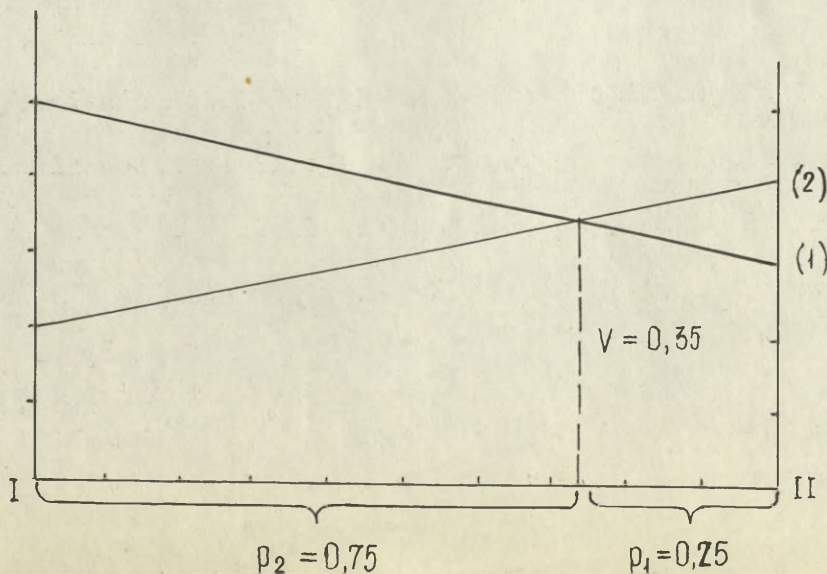
Rozpatrzmy jeszcze jeden przykład.

Przykład 2. W jakim stosunku należy ładować taśmę naboju działka lotniczego pociskami ppanc i zapalającymi, aby otrzymać największą efektywność w walce z samolotami npla, jeżeli nie wiemy, czy samoloty npla będą miały dodatkowe zbiorniki paliwa czy nie.

Niech macierz gry ma postać, w której liczby są prawdopodobieństwa mi zestrzelenia samolotów npla

Przeciwnik

		Samoloty ze zbiornikami dodatkowymi	Samoloty bez zbiorników dodatkowych	
I	Pociski zapalające	0,5	0,2	0,2
II	Pociski przeciwpancerne	0,3	0,4	<u>0,3</u>
		0,5	<u>0,4</u>	



Grę tę można rozwiązać graficznie /patrz rys./ Z rozwiązania gry wynika, że dla uzyskania wartości gry  $V = 0,35$  należy stosować pociski przeciwpancerne trzy razy ciężej niż zapalające. Praktycznie - przy ładowaniu taśmy naboju należy ładować kolejno trzy pociski przeciwpancerne następnie jeden zapalający. Jest to rozwiązanie optymalne.

Sprowadzenie realnej sytuacji do postaci gry:

1. Wyszczególnić wszystkie realne strategie własne.
2. Wyszczególnić wszystkie realne strategie npla.
3. Obliczyć elementy macierzy gry.
4. Sporządzić macierz gry.
5. Sprawdzić istnienie punktu siodłowego.
6. Sprawdzić strategie na dominowanie.
7. Określić częstości stosowania poszczególnych strategii.
8. Określić wartość gry.
9. Sformułować rozwiązanie gry.
10. Otrzymany wynik zastosować w praktyce.

Przy pomocy teorii gier nie można znaleźć rozwiązania, a nawet sformułować zadania, jeżeli nie ma sprecyzowanych możliwości działań przeciwstawnych stron.

W sztuce wojennej - bez konkretnych informacji o wojskach własnych i npla, nie można podjąć racjonalnej decyzji.

Teoria gier wskazuje, że strona stosująca szablonowe rozwiązania ponosi nieuzasadnione straty.

Historia wojen podaje liczne przykłady, gdy szablonowe, mało giętkie działania prowadziły do klęski nawet silniejszej strony.

Teoria gier proponuje uważać npla za bardzo mądrego.

Historia wojen uczy, że nie można nie doceniać npla.

Znalezienie rozwiązania przy pomocy teorii gier jest tym trudniejsze, im więcej wariantów, którymi dysponują strony.

Dlatego zasady sztuki wojennej wymagają utrzymywania inicjatywy nad nplem, krępowania swobody jego działań. Ważność rozpoznania. Maskowanie własnych działań.

### 2.1.2. Programowanie matematyczne

Często trzeba znajdować maximum lub minimum kryterium efektywności  
Metody klasyczne i nieklasyczne.

Klasyczne:           - metoda znajdowania maximum i minimum funkcji  
                          - rachunek wariacyjny

Nieklasyczne:       - programowanie liniowe  
                          - programowanie nieliniowe  
                          - programowanie całkowite  
                          - programowanie stochastyczne  
                          - programowanie dynamiczne.

Metoda znajdowania maximum i minimum funkcji ma bardzo szerokie zastosowanie w zadaniach optymalnego sterowania, w tym i w zagadnieniach wojskowych.

Istota metody polega na tym, że dla znalezienia maximum lub minimum kryterium, będącego funkcją wielu zmiennych, znajduje się pochodne względem wszystkich zmiennych i przyrównuje się je do zera. Z otrzymanego układu równań określa się te wartości zmiennych, przy których uzyskuje się maximum lub minimum kryterium /to określa optymalne sterowanie/.

Jednakże metoda ta nie zawsze może być zastosowana do rozwiązania zadań optymalnego sterowania, szczególnie w odniesieniu do wielu zadań z dziedziny wojskowej.

Należy podkreślić, że w wielu zadaniach z dziedziny wojskowej, nie można obliczyć pochodnych funkcji kryterium, gdyż zmienne niezależne mogą być wielkościami dyskretnymi.

Rachunek wariacyjny pozwala na znajdowanie maximum lub minimum funkcjonalów.

Przez funkcjonal rozumiemy funkcję, która zależy od rodzaju innej funkcji.

Rachunek wariacyjny umożliwia rozwiązywanie złożonych zadań optymalnego sterowania, w których kryterium efektywności zależy nie od zbioru zmiennych, a od zbioru funkcji.

Programowanie nieliniowe jest metodą znajdowania optymalnego rozwiązania zadań, w których kryterium efektywności i ograniczenia są wyrażone w postaci zależności nieliniowych. Wiele zadań związanych z planowaniem użycia środków walki, na przykład - gdy do zwalczania jednego celu używa się kilku środków bojowych, sprowadza się do zadań programowania nieliniowego.

Programowanie całkowite jest metodą znajdowania optymalnego rozwiązania zadań w liczbach całkowitych, tj. gdy poszukiwane rozwiązanie, odpowiadające maximum lub minimum kryterium efektywności, określa się zbiorem zmiennych będących liczbami całkowitymi.

Wiele zadań z dziedziny wojskowej, takich jak na przykład: podział celów między środki rażenia, podział środków walki i inne, wymaga stosowania metody programowania całkowitego.

Programowanie stochastyczne jest metodą znajdowania optymalnego sterowania w operacjach, w których istotną rolę odgrywają czynniki losowe.

W takich operacjach sterowany proces określa się nie tylko początkowym stanem procesu i wybranym sposobem sterowania, lecz zależy on i od przypadkowości, ponieważ niektóre zmienne mają charakter losowy.

Metoda ta daje zadowalające wyniki tylko w tych zadaniach, w których sterowany proces składa się z dostatecznie dużej liczby obiektów /na przykład system obrony przeciwlotniczej składający się z dużej liczby aktywnych środków/.

Programowanie dynamiczne jest metodą znajdowania optymalnego etapowego planowania procesu wielostadialnego, w którym na każdym eta-

pie optymalizuje się tylko jedno stadium.

Istota metody polega na tym, że dla znalezienia optymalnego sterowania planowaną operację dzieli się na szereg kolejnych etapów. Odpowiednio i sam proces planowania staje się wielostadialnym i rozwija się kolejno z etapu na etap, przy czym za każdym razem optymalizuje się tylko jeden etap. Należy mieć na uwadze, że sterowanie na każdym etapie wybiera się z uwzględnieniem wszystkich jego następstw w przyszłości.

Programowanie dynamiczne - to planowanie dalekowzroczne z uwzględnieniem perspektywy. W zastosowaniu do planowania operacji wojennych programowanie dynamiczne pozwala otrzymać ilościowe wskaźniki podziału sił i środków na poszczególne etapy /zadania/ operacji w ten sposób, żeby w końcu operacji uzyskać największy efekt.

Programowanie liniowe jest metodą znajdowania optymalnego rozwiązania, gdy kryterium efektywności jest liniową funkcją zmiennych niezależnych, a ograniczenia nakładane na te zmienne również są zależnościami liniowymi.

Aktualnie ta metoda ma bardzo szerokie zastosowanie przy rozwiązywaniu wielu ważnych zadań taktycznych, operacyjnych i innych przy uwzględnieniu wielu wzajemnie zależnych czynników.

Wielkościami zmiennymi mogą być moce ładunków bojowych, ilości aktywnych środków obrony powietrznej, liczebności wojsk, stan zapasów materiałowych i inne ważne wskaźniki analizowanych zadań.

W wyniku rozwiązania otrzymujemy takie wartości zmiennych wielkości, które zapewniają optymalną efektywność działań bojowych.

W zadaniach programowania liniowego warunki, które nakłada się na zmienne, określa się układem nierówności lub równań pierwszego stopnia. Przy bardzo dużej liczbie zmiennych zadanie może być rozwiązane tylko przy użyciu EMC.

Istotę programowania liniowego prześledzimy na przykładzie.

Przykład 1.

Do wykonania dwóch typów urządzeń obronnych wykorzystuje się 3 rodzaje maszyn inż. Odpowiednie dane ilustruje tablica.

Rodzaj maszyn	Ilość godzin pracy na jednostkę		Czas pracy maszyn /godz/
	I	II	
M <sub>1</sub>	3	6	24
M <sub>2</sub>	8	4	40
M <sub>3</sub>	9	3	27

Ile urządzeń I i II typu wykonać, aby zyskać maksymalną ilość zaoszczędzonych roboczodni, jeżeli na jednym urządzeniu I typu uzyskuje się 9 roboczodni, a na jednym urządzeniu II typu - 6 roboczodni.

Zadanie to można napisać w postaci następujących zależności

$$3x_1 + 6x_2 \leq 24$$

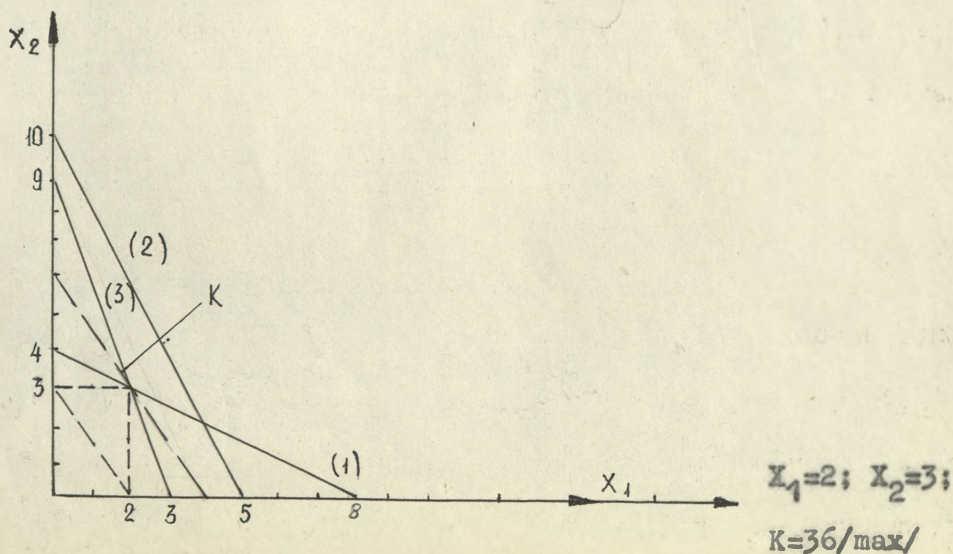
$$K = 9x_1 + 6x_2 / \max /$$

$$8x_1 + 4x_2 \leq 40$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$

$$9x_1 + 3x_2 \leq 27$$

Rozwiązanie zadania można znaleźć metodą graficzną /patrz rys./



Otrzymanie rozwiązania optymalnego wskazuje, że dla uzyskania maksymalnej liczby zaoszczędzonych roboczodni  $/K = 36/$  należy wykonać 2 urządzenia I typu  $/X_1 = 2/$  i 3 urządzenia II typu  $/X_2 = 3/$ .

Zagadnienie transportowe

Metody programowania liniowego pozwalają na rozwiązywanie zagadnień związanych z dowozem różnych środków.

Przyjmijmy, że z trzech składów trzeba dostarczyć amunicję do czterech odbiorców. W składzie pierwszym  $/S_1/$  znajduje się 50 t amunicji, w drugim  $/S_2/$  - 70 t, w trzecim  $/S_3/$  - 30 t. Potrzeby odbiorców, są następujące: pierwszego  $/O_1/$  - 40 t, drugiego  $/O_2/$  - 35 t, trzeciego  $/O_3/$  - 60 t, czwartego  $/O_4/$  - 15 t.

Koszta przewozu amunicji do poszczególnych odbiorców są różne. Jednostkowe koszty przewozu są podane w tabelicy 1. Należy tak zorganizować dowóz amunicji, aby łączny koszt przewozu był minimalny.

Tab. 1.

	$O_1$ 40	$O_2$ 35	$O_3$ 60	$O_4$ 15
$S_1$ 50	80	30	50	20
$S_2$ 70	40	10	60	70
$S_3$ 30	50	90	40	30

Rozwiązania tego zadania metodą programowania liniowego ilustrują tablice 2, 3 i 4.

Optymalny plan dowozu /tabl. 4/ gwarantuje minimalny koszt, który wynosi  $C = 5050$ .

Tab. 2

	$o_1$ 40	$o_2$ 35	$o_3$ 60	$o_4$ 15	
$s_1$ 50	80	(30)	50	(20)	
$s_2$ 70	(40)	10	(60)	70	
$s_3$ 30	50	90	(40)	30	+20
	-40	-30	-60	-20	

Tab. 3

	$o_1$ 40	$o_2$ 35	$o_3$ 60	$o_4$ 15	
$s_1$ 50	40	(0)	-10	(0)	-20
$s_2$ 70	(0)	-20	(0)	50	
$s_3$ 30	30	80	(0)	30	-30
		+20	+30	+20	

Tab. 4

	$O_1$ 40	$O_2$ 35	$O_3$ 60	$O_4$ 15
$S_1$ 50	20	0	0	0
$S_2$ 70	0	0	30	70
$S_3$ 30	0	70	0	20

$$C = 5 \cdot 30 + 30 \cdot 50 + 15 \cdot 20 + 40 \cdot 40 + 30 \cdot 10 + 30 \cdot 40 =$$

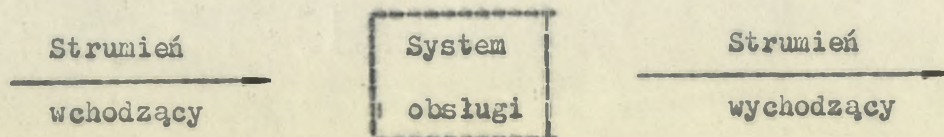
$$= 150 + 1500 + 300 + 1600 + 300 + 1200 = \underline{5050}$$

2.1.3. Teoria masowej obsługi

Teoria masowej obsługi zajmuje się badaniem strony ilościowej procesów, związanym z organizacją obsługi masowej. Przy czym pod pojęciem "obsługi", w szerokim sensie tego słowa, rozumie się funkcjonowanie dowolnego systemu aparatów, przeznaczonych do zaspokajania masowych jednorodnych zapotrzebowań.

Przykłady: centrale telefoniczne, lotniska, porty morskie, stacje benzynowe, szpitale, kasy biletowe, warsztaty naprawcze, systemy obronne itp.

We wszystkich przypadkach teoria rozwiązuje jedno podstawowe zadanie: określa z możliwą dokładnością taką zależność między liczbą aparatów obsługi i liczbą napływających zapotrzebowań, aby zdolność przepustowa systemu odpowiadała zakładanym wymaganiom.



Głównym kryterium ilościowym jakości pracy takiego systemu jest stopień obciążenia /średni procent obciążenia/ systemu obsługi.

Gdy procent obciążenia jest mały - znaczna część aparatów obsługi nie jest wykorzystywana. Taki system nazywa się systemem z rezerwą.

W przypadku, gdy zdolność przepustowa systemu jest niedostateczna, a zapotrzebowanie może oczekiwać na obsługę /np. niesprawny samolot/, strumień wychodzący będzie całkowicie obsłużony, lecz utworzy się duży strumień wchodzący /oczekiwanie na obsługę/.

Taki system nazywa się systemem z oczekiwaniem.

Głównym kryterium ilościowym jakości pracy takiego systemu jest średnia długość strumienia wchodzącego /średnia liczba zgłoszeń oczekujących na obsługę/.

Inne kryterium - średni czas oczekiwania na obsługę.

W niektórych przypadkach zapotrzebowanie nie może czekać na obsługę /np. samoloty wykonujące zadanie bojowe/ i jeżeli zdolność przepustowa systemu /system rakiet plot/ będzie niedostateczna, to w strumieniu wychodzącym będą samoloty obsłużone /zestrzelone/ i samoloty nieobsłużone /te które pokonają system obrony/.

Taki system nazywa się systemem ze stratami.

Kryterium jakości obsługi takiego systemu jest prawdopodobieństwo odmowy obsługi.

W praktyce mogą występować systemy obsługi bardziej złożone.

Jeżeli czas między kolejnymi zgłoszeniami jest stały i czas obsługi jednego zgłoszenia też jest stały, wtedy nie stosuje się teorii masowej obsługi. Zadanie jest bardzo proste.

Teoria masowej obsługi jest przydatna wówczas, gdy czas między kolejnymi zgłoszeniami, lub czas obsługi jednego zgłoszenia, lub obie te wielkości są zmiennymi losowymi.

Przykładowe zastosowanie teorii masowej obsługi:

- ocena systemów obronnych, systemów naprawczych, systemów zaopatrywania, systemów sanitarno-medycznych;

- organizacja kierowania walką - ocena jakości systemów przekazywania i przetwarzania informacji o sytuacji bojowej, co jest szczególnie ważne przy projektowaniu zautomatyzowanych systemów dowodzenia;
- modelowanie procesów działań bojowych.

## 2.2. Metody modelowania

Zastosowanie badań operacyjnych w dziedzinie wojskowej najczęściej sprowadza się do modelowania działań bojowych.

Rozróżnia się trzy grupy metod i sposobów modelowania działań bojowych:

- modelowanie metodą gier;
- modelowanie fizyczne;
- modelowanie matematyczne.

Modelowanie metodą gier działań bojowych w postaci gier wojennych, ćwiczeń dowódczo-sztabowych itp. jest w praktyce szeroko stosowane; ich istota powszechnie znana.

Obecnie modelowanie metodą gier uważa się za jedną z ważnych metod badania operacji. Pozwala ona prawidłowo i zgodnie z celem organizować i skierować wysiłki dużego kolektywu doświadczonych specjalistów wojskowych dla rozwiązania skomplikowanych problemów, których nie można rozwiązać innymi /na przykład matematycznymi/ metodami badań operacyjnych.

W ćwiczeniu modelowanym metodą gier uczestniczą zazwyczaj dwie przeciwdziałające strony. Po ustaleniu zasady gry i postawieniu zadań dla stron, kierownictwo przekazuje określone informacje. Na podstawie analizy otrzymanych informacji strony przyjmują decyzje, o których powiadamiają kierownictwo. Następnie kierownictwo porównuje decyzje i określa rezultat działań stron. Dla możliwie obiektywnej oceny rezultatów działań stron kierownictwo wykorzystuje różne środki i sposoby. Na przykład efektywność zaplanowanych uderzeń jądrowych, które mają wykonywać wojska raketowe i artyleria oraz lotnictwo, można ocenić na podstawie wyników

obliczeń na EMC.

Kierownictwo na każdym etapie podaje ocenę słuszności podjętych decyzji i w miarę potrzeby przedstawia uzasadnienia. Jeżeli gra jest wieloetapowa to proces ten powtarza się.

W modelowaniu metodą gier do opracowania decyzji wykorzystuje się zarówno metody matematyczne, jak i subiektywno-logiczne, stąd wynik gry w zasadniczy sposób zależy od kwalifikacji jej uczestników.

Modelowanie metodą gier pozwala bardziej całościowo rozpatrywać różne aspekty działań bojowych, niż jest to możliwe w przypadku stosowania wyłącznie metod matematycznych.

Mając na uwadze trudności w jednoczesnym uwzględnieniu wpływu wielu czynników na przebieg działań bojowych w modelowaniu metodą gier dąży się do przebadania nie wszystkich lecz pewną ilość ważniejszych czynników. Badania takie powtarzamy kilkakrotnie.

Do fizycznych metod modelowania zazwyczaj zalicza się ćwiczenia doświadczalne z wojskami, programowanie prób laboratoryjnych i poligonowych z nowymi wzorami uzbrojenia i wszelkiego rodzaju urządzeń technicznych itp.

Ćwiczenia doświadczalne mają na celu sprawdzenie wyników teoretycznych i badań eksperymentalnych w warunkach zbliżonych do realnych. Ćwiczenia te, będące pewnego rodzaju eksperymentem naukowym, są w warunkach polowych bodaj najlepszym sprawdzianem jakości nowego rodzaju uzbrojenia i sprzętu bojowego, sposobów wykorzystania jego w walce, oraz zasad działania różnych rodzajów wojsk.

Przeprowadzenie ćwiczeń doświadczalnych wymaga zawsze dokładnych przygotowań w celu maksymalnego zmniejszenia umownych założeń, szczególnie przy braku ogniowego przeciwdziałania przeciwnika. Dlatego poszczególne przedsięwzięcia winny być dokładnie przemyślane. Dla kontroli przebiegu ćwiczeń organizuje się specjalną obserwację.

Modelowanie matematyczne jest metodą badania procesów poprzez studiowanie analogicznych zjawisk, posiadających inną realną treść, lecz opisywanych tymi samymi zależnościami matematycznymi.

Współczesna nauka zna analogie między elektrycznymi, mechanicznymi, termo-hydro-aerodynamicznymi, akustycznymi i innymi zjawiskami fizycznymi.

Filozoficzną podstawą dla modelowania matematycznego jest zjawisko izomorfizmu. Izomorfizm oznacza zbieżność formy przy jakościowej różnicy zjawisk /wzajemnie jednoznaczne odwzorowanie/.

W matematyce badanie jednego systemu izomorficznego w znacznym stopniu sprowadza się do badania innego systemu. W związku z tym pojawia się możliwość modelowania jednego systemu przy pomocy innego systemu.

Izomorfizm wskazuje na jedność, łączność, współzależność i wzajemną zmienną w określonych granicach różnych procesów całego szeregu zjawisk świata materialnego, na zbieżność ich formy i prawidłowości.

Dlatego istnieje możliwość zamiany badania jednego procesu w ściśle określonych granicach i warunkach na badanie innego podobnego w formie i strukturze, lecz bardziej znanego.

Metody modelowania matematycznego już znajdują zastosowanie w wojsku. Ponieważ działania bojowe są procesem dwustronnym, konstrukcja modeli dwustronnych działań bojowych jest nadzwyczaj perspektywicznym zadaniem.

Jednakże konstrukcja ogólnego modelu działań bojowych jest na tyle skomplikowanym zadaniem, że realizacja tego przy współczesnym rozwoju matematycznych i ETO jest praktycznie niemożliwa. Dlatego zachodzi potrzeba podziału ogólnego modelu na cząstkowe modele, opisujące węższe problemy.

Podział ten może być dwójaki:

- według rodzajów sił zbrojnych i wojsk;
- według podstawowych zadań operacyjno-taktycznych, wykonywanych wspólnie przez rodzaje sił zbrojnych i rodzaje wojsk.

Metody modelowania matematycznego rozwijają się w dwóch kierunkach.

- Pierwszy - konstrukcja modeli analitycznych, w których główne parametry ilościowe działań bojowych ujęte są zależnościami analitycznymi w postaci różnego rodzaju równań.

Analityczne modele walki zostały sformułowane po raz pierwszy przez matematyka angielskiego Lanchestera w 1916 r. Opisują one zmianę stanów stron w czasie walki. Metoda ta może być stosowana wyłącznie przy rozpatrywaniu prostych wariantów walki jednorodnych jednostek bojowych.

Drugi - konstrukcja modeli statystycznych.

Działania bojowe zawierają element przypadkowości - nie są w pełni zdeterminowane.

Istota metody modeli statystycznych polega na tym, że zazwyczaj na EMC przy pomocy specjalnych algorytmów wielokrotnie powtarza się formalizowany proces, odzwierciedlający działania bojowe.

Dla imitacji różnych rodzajów przypadków, właściwych działaniom bojowym, wykorzystuje się liczby losowe, generowane na EMC.

Ważną cechą metod modeli statystycznych jest możliwość badania działań bojowych z uwzględnieniem perspektywicznych systemów uzbrojenia.

Modelowanie statystyczne opiera się na wykorzystaniu metody Monte-Carlo.

Idea metody Monte Carlo jest oparta na granicznych twierdzeniach rachunku prawdopodobieństwa, zgodnie z którymi przy powiększeniu liczby niezależnych doświadczeń częstości zdarzeń zbliżają się do prawdopodobieństw tych zdarzeń, a średnie arytmetyczne obserwowanych wielkości zmiennych losowych zbliżają się do wartości oczekiwanej.

Przy badaniu działań bojowych metodą Monte-Carlo stosuje się zazwyczaj wtedy, gdy badany proces jest złożony, gdy uczestniczy dużo różnorodnych środków i gdy występuje wiele czynników losowych, od których zależy powodzenie operacji.

Podstawą metody Monte-Carlo jest pojedyncze elementarne doświadczenie /losowanie/, które powtarzane wielokrotnie zapewnia otrzymanie niezbędnych danych statystycznych.

Modelowanie statystyczne jest metodą perspektywiczną, gdyż stosując je nie trzeba znać analitycznych zależności między parametrami, charakteryzującymi działania bojowe, które zazwyczaj w złożonych procesach bojowych nie są znane.

---

Problemy wojskowe należą do najbardziej złożonych, analiza których wymaga szczegółowej oceny zarówno jakościowych, jak i ilościowych czynników, charakteryzujących procesy przygotowania, prowadzenia i zabezpieczenia działań bojowych.

Aby świadomie usprawniać operatywność i jakość dowodzenia, umiejętnie stawiać zadania wykorzystania współczesnych metod matematycznych i ETO oraz ich doskonalenia, nie można nie interesować się tymi zagadnieniami.

Wydrukowano w 1 egz.

Egz. Nr 1 - Cenzura Wojskowa

Wyk.: plk Ciechanowicz

Druk.: K.M.dn.28.02.69r.

Nr ks.masz. PF 179/ID