



*Piotr Sienkiewicz*

# inżynieria systemów



Książka, którą oddajemy do rąk Czytelników, reprezentuje nurt nowoczesnego myślenia naukowego, traktującego rzeczywistość jako „świat systemów”. Wyrazem tej postawy jest inżynieria systemów, która proponuje ścisłe metody analizy, oceny i syntezy systemów informacyjnych, decyzyjnych, kierowania, walki, techniki itp.

Taką postawę wobec rzeczywistości reprezentuje autor książki, pracownik naukowy Akademii Sztabu Generalnego Wojska Polskiego doc. dr hab. inż. Piotr Sienkiewicz, który jako cybernetyk i informatyk od wielu lat rozwija koncepcje systemowe w obszarze nauk wojskowych.

# inżynieria systemów

inżynieria  
systemów

inżynieria  
systemów

inżynieria  
systemów





BIBLIOTEKA  
WIEDZY  
WOJSKOWEJ

*Piotr Sienkiewicz*

# inżynieria systemów

wybrane  
zastosowania  
wojskowe



WYDAWNICTWO  
MINISTERSTWA  
OBRONY  
NARODOWEJ

Opiniodawca  
Prof. dr hab. ROBERT STANISZEWSKI

Obwolutę, okładkę i stronę tytułową projektował  
WALDEMAR ZACZEK

Redaktor  
JERZY DOMAŃSKI

Redaktor techniczny  
IRENA CHOJDAK-RYBARCZYK

© Copyright by Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej  
Warszawa 1983

Sienkiewicz Piotr. Inżynieria systemów, W-wa 1983 r.  
Wydawn. Min. Obrony Nar. 8°, s. 355, il., tab.

623.763.5  
Badania systemowe

W książce omówiono na przykładach wojskowych metodologię badań systemowych, a także kolejno systemy informacyjne, decyzyjne, kierowania, walki, techniczne oraz zasady ich analizy, oceny i syntezy. Niniejsza książka zainteresuje z pewnością pracowników instytutów naukowych, kadre dydaktyczną wyższych uczelni, kadre kierowniczą i oficerów sztabów. Mimo że adresowana jest przede wszystkim do czytelnika wojskowego, może zainteresować także czytelnika cywilnego, dla którego inżynieria systemów jest postawą wobec przedmiotu działalności poznawczej i praktycznej.

*Rodzicom — Zofii i Wilhelmowi  
oraz ich wnukom  
Maćkowi i Jackowi*

# Spis treści

<b>Przedmowa</b> . . . . .	<b>7</b>
<b>Rozdział I. Metodologia badań systemowych</b> . . . . .	<b>11</b>
1. Wprowadzenie . . . . .	11
2. Rozwój badań systemowych . . . . .	18
3. Zarys systemologii . . . . .	25
4. Modelowanie systemowe . . . . .	39
5. Zakończenie . . . . .	55
<b>Rozdział II. Systemy informacyjne</b> . . . . .	<b>57</b>
1. Wprowadzenie . . . . .	57
2. Informacja i informowanie . . . . .	59
3. Rozwój systemów informacyjnych . . . . .	77
4. Analiza systemowa procesów informacyjnych . . . . .	87
5. Zakończenie . . . . .	106
<b>Rozdział III. Systemy decyzyjne</b> . . . . .	<b>112</b>
1. Wprowadzenie . . . . .	112
2. Decyzje i decydowanie . . . . .	118
3. Analiza systemowa procesów decyzyjnych . . . . .	136
4. Analiza decyzyjna w sytuacjach szczególnie złożonych . . . . .	151
5. Optymalizacja . . . . .	169
6. Zakończenie . . . . .	199
<b>Rozdział IV. Systemy kierowania</b> . . . . .	<b>201</b>
1. Wprowadzenie . . . . .	201
2. Modelowanie systemów kierowania . . . . .	209
3. Analiza systemowa dowodzenia . . . . .	235
4. Zakończenie . . . . .	250
<b>Rozdział V. Systemy walki</b> . . . . .	<b>254</b>
1. Wprowadzenie . . . . .	254
2. Modelowanie systemów walki . . . . .	258
3. Analiza systemowa walki zbrojnej . . . . .	278
4. Zakończenie . . . . .	305
<b>Rozdział VI. Systemy techniczne</b> . . . . .	<b>306</b>
1. Wprowadzenie . . . . .	306
2. Rozwój systemów techniki wojskowej . . . . .	310
3. Analiza eksploatacyjna systemów techniki wojskowej . . . . .	318
4. Analiza systemowa techniki wojskowej . . . . .	333
5. Zakończenie . . . . .	345
<b>Zakończenie</b> . . . . .	<b>348</b>
<b>Literatura</b> . . . . .	<b>351</b>



# Przedmowa

„Doskonalenie środków i pomieszanie celów jest charakterystyczne dla naszej epoki!”

(Albert EINSTEIN)

Stanisław Lem w jednej ze swych znakomitych rozpraw napisał\* : „Istniejąca obecnie równowaga atomowa jest, rozumie się, procesem, a nie stanem; posiada swoistą dynamikę, którą można by studiować, w oderwaniu od zagadnień wielkiej polityki nawet, metodami matematycznymi. Po stworzeniu najsilniejszych środków niszczących przyszła, naturalnym biegiem rzeczy, kolej na skonstruowanie narzędzi, środki owe przenoszących do celu. Tak po atomowym przyszedł wyścig raketowy; gdy ładunki osiągnęły swoiste „optimum” i dalsze ich powiększanie straciło sens jedynie się liczący, strategiczny, gdyż miasto czy kompleks miast, czy cały kraj, można, jak człowieka, zabić (dokładnie) tylko raz — granicę doskonalenia uzyskały i rakiety, przynajmniej w dziedzinie szybkości”.

Do badania tak charakteryzowanych zjawisk wykorzystywane są dziś najdoskonalsze narzędzia, jakie stworzyła współczesna nauka — nauka epoki rewolucji naukowo-technicznej. Sięgnięto też do metod rozwijanych przez nauki interdyscyplinarne, gdyż takiego właśnie ujęcia wymagają współczesne problemy wojskowe. Nadal poszukiwane są skuteczne metody całościowego ujmowania zjawisk i procesów. Najwidoczniej więc zjawiska wojny, walki zbrojnej, funkcjonowania sił zbrojnych itp. wymagają holistycznego, „kompleksowego” spojrzenia na militarne problemy współczesnego świata, gdyż właśnie w nich „wszystko zależy od wszystkiego”. Takie holistyczne ujęcie badanych zjawisk określane jest obecnie mianem „ujęcia systemowego”. Oznacza to, po prostu, że rozpatruje się całość wszystkich aspektów problemu, zamiast skupić uwagę na odosobnionym zjawisku, jak to się przyjęło czynić podczas tradycyjnego, analitycznego podejścia stosowanego powszechnie w badaniach naukowych.

„Ujęcie systemowe” nie budzi już większych emocji i sporów, z czego nie wynika bynajmniej, że wszystko jest tu klarowne i jednolicie rozumiane. Powyższa uwaga dotyczy także wojskowych badań systemowych, prowadzonych zresztą z powodzeniem od wielu już lat.

Nie wierzymy w istnienie jakiegś uniwersalnej „wojskowej” metody naukowej, pozwalającej na rozwiązywanie wszelkich problemów

\* S. Lem: *Rozprawy i szkice*. Wydawnictwo Literackie, Kraków 1975 r.

związanych np. z dowodzeniem, użyciem sił i środków itp. — ogólnie — z przyszłym polem walki. I chyba takiej metody być nie może, mogą natomiast być prowadzone efektywne działania poznawcze i praktyczne według pewnych ogólnych zasad metodologicznych. Zasady te przyjmowane w całej współczesnej nauce wyraża przyjęty przez badaczy paradygmat, którego przemiany mogą, jak sądzi T. S. Kuhn, świadczyć o dokonującej się rewolucji naukowej.

Marszałek Związku Radzieckiego A. Greczko tak pisał o wojskowych badaniach naukowych \*: „Należy dbać o to, by praca naukowo-badawcza nie była krępowana przez jakieś niezmiennie kanony. Nic nie szkodzi wynikom badań naukowych w takim stopniu, jak dogmatyzm. dążenie do przestrzegania zgodności nowych założeń teoretycznych z poprzednio przyjętymi wymogami. Taka praktyka w sposób nieuchronny ogranicza myślenie, zubaża je, prowadzi do nieskończonego powtarzania w różnych wariantach ogólnie znanych założeń. Myśl wojskowo-teoretyczna musi być wolna od przestarzałych postulatów”.

W niniejszej książce starano się nie przejawiać tych zahamowań, o których mowa powyżej, czego wyrazem wydaje się być sięganie do koncepcji i teorii, metod i technik, które nie tworzą jeszcze ugruntowanych tradycji badawczych, chociaż w wielu wypadkach znane są i stosowane od wielu już lat. Są wśród nich i takie, które budują jeszcze niechęć i brak przekonania o ich skuteczności. Nie wydawało się to być wystarczającym argumentem przemawiającym za ich odrzuceniem. Zwłaszcza że argumentów potwierdzających słuszność dokonanych w książce wyborów dostarcza współczesna literatura naukowa takich dziedzin, jak metodologia nauki, cybernetyka, prakseologia czy wreszcie, kształtująca się obecnie, systemologia. Pod niewątpliwym wrażeniem idei leżącej u podstaw ostatniej z wymienionych dziedzin powstał materiał, który złożył się na przedstawianą Czytelnikowi książkę.

Niewątpliwa popularność metody dedukcji oraz chęć zaprezentowania pewnych modeli formalnych spowodowały, że nie unikano w książce języka współczesnej matematyki. Towarzyszyła jednakże temu nieśmiała chęć podzielenia się z Czytelnikami również pewnymi ogólnymi refleksjami, głównie o charakterze metodologicznym. Aby „ubarwić” niejako tok rozważań, przytoczyliśmy pewną ilość przykładów historycznych, które, same w sobie interesujące, chyba trafnie ilustrują bardzo współczesny charakter zasadniczych partii materiału.

Koncepcja struktury książki jest dość prosta, albowiem rozpoczyna ją prezentacja metodologii badań systemowych (systemologii) w ujęciu rozwijanym od lat przez autora, zaś następne partie książki wypełniają rozważania będące egzemplifikacją systemologii w określonych obszarach wojskowej praktyki systemowej. Obszar ten zaś tworzą nastę-

\* A. Greczko: *Sily zbrojne państwa radzieckiego*. Wyd. MON, Warszawa 1975 r.

pujące systemy: informacyjne, decyzyjne, kierowania, walki i techniczne. Prezentacja tych grup rzeczywistych systemów była także okazją do zapoznania się z określonym aparatem formalnym lub do przypomnienia go.

Autor miał także, być może niezbyt skromną, nadzieję nawiązania do książek opublikowanych przed laty przez Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej. Mam na myśli książki: A. Iwaszkiewicza, M. Stolarskiego, W. Żelazowskiego pt. „Automatyka i cybernetyka we współczesnej armii” (1965 r.) i L. Kuleszyńskiego pt. „Dowodzenie wojskami a cybernetyka” (1967 r.). W tym miejscu należy także wymienić oryginalną książkę J. Koniecznego pt. „Cybernetyka walki” — PWN (1970 r.). Były to książki, które przyniosły z pewnością nowe spojrzenie na tradycyjny przedmiot sztuki wojennej. Ponadto książka nawiązuje do wcześniejszych prac i rozpraw autora: „Teoria efektywności systemów kierowania” (ASG WP, 1979 r.) oraz „Badania systemowe w wojsku. Studium metodologiczne” (ASG WP, 1980 r.).

Świadomość niedoskonałości książki idzie w parze z głębokim przekonaniem o konieczności rozwoju badań systemowych w wojsku, jako jednej z dróg prowadzących do rozwoju polskiej myśli wojskowej. Przekonanie to jest niewątpliwie pozytywnym wynikiem pracy naukowo-badawczej i dydaktycznej prowadzonej przez autora w Akademii Sztabu Generalnego WP.

Pewnego wyjaśnienia wymaga jeszcze tytuł książki. Zgodnie z pierwotnym zamierzeniem autora miał on brzmieć: „Badania systemowe w wojsku”, jednak pod wpływem sugestii Recenzenta Profesora Roberta STANISZEWSKIEGO, któremu pragnę w tym miejscu wyrazić podziękowanie za cenne uwagi i życzliwą krytykę, nastąpiła zmiana tytułu pracy. Przyjęty ostatecznie tytuł „INŻYNIERIA SYSTEMÓW. Wybrane zastosowania wojskowe” z pewnością lepiej oddaje podejście systemowe przyjęte podczas omawiania poszczególnych klas systemów, aczkolwiek pojęcie inżynierii systemów przyjęte w tytule obejmuje znacznie szerszy zbiór zagadnień niż pojęcie to, którego zakres określono w rozdziale pierwszym książki. Jeszcze jeden fakt przemawia za przyjęciem tego tytułu, a mianowicie w latach 1976 i 1979 odbyła się w Orzyszu wspaniała impreza naukowa organizowana przez Szefostwo Badań i Rozwoju Techniki Wojskowej. Była nią Szkoła Podstaw Inżynierii Systemów. Trudno byłoby autorowi niniejszej książki nie przeceniać wpływu tej imprezy na treść prezentowanej pracy. Zwłaszcza że autor miał zaszczyt być jednym z uczestników i wykładawców obu Szkół Podstaw Inżynierii Systemów.

Warszawa, grudzień 1981 r.



# Metodologia badań systemowych

„Całość to więcej niż suma jej części”  
(ARYSTOTELES)

„Badania systemowe prowadzą do odkryć, że każde spojrzenie na świat jest ograniczone i dlatego lepiej patrzeć szerzej niż węzlej”.

(C. W. CHURCHMAN)

## 1. Wprowadzenie

O przemianach we współczesnej nauce i technice napisano wiele. Można powiedzieć, że od 1939 roku, kiedy to angielski uczony J. Bernal po raz pierwszy opisał i nazwał zjawisko rewolucji naukowo-technicznej (RNT) zachodzącej w wysoce rozwiniętych społeczeństwach, rozważania na ten temat towarzyszą nieustannie zasadniczemu nurtowi twórczości naukowej. Nauka i technika stały się więc przedmiotem bardzo interesującej refleksji naukowej. Zwraca się przy tym głównie uwagę na burzliwe przemiany, ogarniające nauki przyrodnicze, ale także na sferę techniki i technologii, materialne warunki życia (rozwój uprzemysłowienia, urbanizacji życia), więzi i struktury społeczne (rewolucja antykolonialna, wkraczanie coraz większej liczby państw na drogę socjalizmu), sferę twórczości duchowej oraz uczestnictwa w kulturze (np. rozwój środków masowego komunikowania) itp.

Nie wszystkie z wymienionych zjawisk są bezpośrednio skutkiem RNT, są one jednak elementami przeobrażeń cywilizacyjnych, których istotę stanowią przemiany w nauce i technice. Tę optymistyczną w gruncie rzeczy wizję RNT należy uzupełnić o wizję pesymistyczną, którą tworzą pewne tzw. katastrofizmy, takie jak: kulturowy, nuklearny (wraz ze zjawiskiem alienacji technicznej), ekologiczny i surowcowy\*. Otrzymujemy wtedy

\* J. Borgosz: *Rewolucja naukowo-techniczna i jej ekstremalne inter-*

względnie pełny obraz RNT jako zjawiska społecznego, którego podstawowymi cechami są:

a) głęboka współzależność zmian rewolucyjnych w nauce i technice;

b) rewolucyjne zmiany w systemie „nauka — technika”, tworzące dialektyczną całość;

c) rozwój systemu „nauka — technika — człowiek”, przy czym człowiek reprezentuje tu siłę wytwarzającą i kierującą procesami wytwórczymi;

d) wyraźne przyspieszenie tempa praktycznego wykorzystania odkryć naukowych.

Można zatem określić RNT jako proces jednoczesnego i współzależnego przebiegu dwu rewolucji: ogólnonaukowej i ogólnotechnicznej, przy czym współzależność oznacza, że rewolucja naukowa odbywa się pod bezpośrednim wpływem wewnętrznych praw rozwoju nauki, jak i rewolucji technicznej, a rewolucja techniczna — pod bezpośrednim wpływem zarówno wewnętrznych praw rozwoju techniki, jak i rewolucji naukowej.

W niedawnej jeszcze przeszłości rozwój nauki i techniki przebiegał w sposób względnie niezależny, niekiedy np. technika wyprzedzała naukę, a osiągnięcia nauki długo nie przenikały do techniki. Dopiero dziś związki nauki i techniki są silne i bezpośrednie, co powoduje, że często trudno rozróżnić obszary należące do obu tych dziedzin działalności ludzkiej.

Koncentrując uwagę na skutkach RNT należy mieć na uwadze trzy zasadnicze czynniki:

a) czynnik naukowy — systematyczne i świadome wykorzystywanie osiągnięć nauki w procesie produkcyjnym, a także wzrost wymaganego w związku z tym poziomu kwalifikacji zawodowych wszystkich uczestników procesów produkcyjnych;

b) czynnik techniczny — automatyzacja procesów technologicznych oraz stosowanie środków informatyki w systemach zarządzania, a także masowe wykorzystywanie osiągnięć chemii i fizyki (energia jądrowa) oraz masowe zastosowania elektroniki („elektronizacja”);

*pretacje: faustyczna i ludyczna wizja świata. Studia Filozoficzne, nr 4 (149), 1978.*

Zob. także J. Bańka: *Filozofia techniki*. WNT, Warszawa 1979.

c) czynnik społeczny — nowa aktywna rola człowieka wobec przyrody i świata techniki (postęp cywilizacyjny, wszechstronny rozwój człowieka).

W warunkach RNT wszystkie wyróżnione czynniki powinny stanowić jedność. Nie wyklucza się jednak możliwości pojawiania się sprzeczności i konfliktów, które powinny być łagodzone (usuwane) i rozwiązywane na drodze racjonalnego sterowania procesami RNT\*.

Rodzi się pytanie: kiedy zaczęła się RNT? Zwykle jako początek RNT przyjmuje się połowę lat pięćdziesiątych, kiedy to miały miejsce takie wydarzenia, jak: powstanie pierwszej elektrowni atomowej (1954 r.), odkrycie znaczenia kwasów nukleinowych w biologii, a szczególnie w genetyce (1956 r.), umieszczenie na orbicie okołoziemskiej pierwszego sztucznego satelity (1957 r.). Z innych wydarzeń o pionierskim znaczeniu należy wymienić zbudowanie pierwszej uniwersalnej elektronicznej maszyny cyfrowej i uruchomienie pierwszej zautomatyzowanej linii produkcyjnej. Z pewnością obecne znaczenie elektroniki określały wynalazki tranzystora (1948 r.), układu scalonego (1957 r.) czy też mikroprocesora (1971 r.).

Patrząc na skutki RNT należy dostrzec zmiany jakościowe, nie tylko w nauce, technologii produkcji, energetyce, narzędziach i przedmiotach pracy, ale także w sferze organizacji i kierowania. To z kolei stanowi źródło coraz częściej pojawiającego się poglądu, że w dobie współczesnej — oprócz pracy, środków rzeczowych i nauki — coraz większego znaczenia nabiera organizacja i kierowanie, jako siła twórcza, harmonizująca, modyfikująca oraz zmieniająca funkcjonowanie pozostałych czynników. O różnicy poziomu rozwojowego społeczeństwa decyduje dziś w większym niż kiedykolwiek stopniu różnica w jakości kierowania. Dlatego obok postępu naukowo-technicznego wymienić należy także postęp organizacyjny, jako podstawowy element RNT.

Wszystkie wymienione zjawiska wiążą się, bezpośrednio lub pośrednio, ze sferą działania sił zbrojnych. Niegdyś uważano np., że rozwój techniki wojskowej jest „pożyteczny” dla całego spo-

\* L. Zacher: *Sterowanie procesami rewolucji naukowo-technicznej*. Ossolineum, Warszawa — Wrocław 1977.

łeczeństwa, gdyż powoduje rozwój techniki także w niektórych dziedzinach cywilnych. Obecnie jednak w wielu dziedzinach nastąpiło „oderwanie” tych technik, tzn. rozwój techniki wojskowej wyprzedza rozwój techniki cywilnej, przestając pełnić rolę symulatora.

Związki rozwoju sił zbrojnych z postępem naukowo-technicznym w ogóle charakteryzowane są następująco: „... katalizatorem wszystkich zmian w środkach i sposobach prowadzenia wojny jest postęp naukowo-techniczny, który przyspiesza doskonalenie broni i sprzętu bojowego, bezpośrednio wpływa na potęgę militarną państwa i stan jego sił zbrojnych. Można powiedzieć, że budownictwo wojskowe w najszerszym jego zrozumieniu zawsze było ściśle związane z postępem naukowo-technicznym, a ta więź w miarę rozwoju nauki i praktycznego wykorzystywania jej osiągnięć staje się coraz ściślejsza i wszechstronniejsza”\*.

Pod wpływem postępu naukowo-technicznego zwiększa się tempo zmian w technice wojskowej: rozwój i upowszechnienie broni palnej trwało prawie trzy wieki, motoryzacja wojsk zajęła dziesiątki lat, a wprowadzenie broni raketowo-jądrowej nastąpiło w ciągu kilku lat. Najszybciej przebiega modernizacja tych rodzajów broni, które pojawiły się po II wojnie światowej.

Rzeczony rozwój techniki wojskowej spowodował wzrost skuteczności środków rażenia, wzrost siły ogniowej i ruchliwości wojsk, skutkiem czego nastąpiło zwiększenie manewrowości, zdecydowanego charakteru, aktywności i szybkości przebiegu walki ogólnowojskowej. Dokonały się zmiany wskaźników czasowo-przestrzennych walki i operacji. Zmianie uległy cele i sposoby prowadzenia manewru, nowej treści nabrała zasada zmasowania sił i środków na kierunkach głównego uderzenia, wzrosła rola współdziałania i zaskoczenia w walce, pojawiły się nowe rodzaje zabezpieczenia działań bojowych (walki, operacji). Są to tylko bardziej charakterystyczne skutki postępu naukowo-technicznego. Te z kolei wywarły niewątpliwy wpływ na struktury organizacyjne sił zbrojnych oraz organizację i sposoby działania systemów dowodzenia. Przemiany te trafnie oddaje stwierdzenie, że „Mars

\* A. Greczko: *Sily zbrojne państwa radzieckiego*. Wyd. MON, Warszawa 1975, s. 117.



u schyłku XX wieku — choć nuklearny — ma tranzystorowe zmysły i zespół komputerów w miejsce staroświeckiego mózgu". Z tym natomiast wiąże się spotykane często pojęcie „elektronicznego pola walki”, obejmujące różnorodne elektroniczne urządzenia śledzenia, naprowadzania i wykrywania, maskowania i zakłócania, a także dowodzenia.

Zaspokojenie rosnących potrzeb zarówno gospodarczych, jak i militarnych, stało się możliwe dzięki powstaniu i efektywnemu funkcjonowaniu systemów badań i rozwoju. Systemem badań i rozwoju określać będziemy całokształt sił i środków niezbędnych dla realizacji zamierzonych celów badawczych i rozwojowych wynikających z określonej polityki społeczno-ekonomicznej państwa. Systemy badań i rozwoju realizują badania podstawowe, badania stosowane i prace rozwojowe. Szczególne znaczenie ma proces rozwoju techniki, w którym można wyodrębnić trzy podstawowe etapy:

- powstawanie i rozwój idei naukowych,
- tworzenie inwencji, tj. znajdowanie praktycznych zastosowań dla tych koncepcji,
- tworzenie innowacji, czyli praktyczne wykorzystanie nowych rozwiązań.

Powstanie efektywnych systemów badań i rozwoju należy także uznać za jedną z głównych cech RNT.

Współcześnie pewnym wzorcem działań badawczo-rozwojowych są duże programy, zwłaszcza programy zbrojeniowe, atomowe czy kosmiczne. Prawdopodobnie pierwszym takim programem badawczo-rozwojowym był Manhattan Distric Project — program, którego celem było skonstruowanie bomby atomowej. Przykładami współczesnych programów, w których zachodziło wzajemne przenikanie się nauki i techniki, a także organizacji i kierowania, mogą być Program *Apollo* i Program *Sojuz* — *Apollo*, a także wcześniejsze programy *Polaris* i *ABM* — dobrze opisane w literaturze \*. Innymi charakterystycznymi programami badawczo-rozwojowymi mogą być: radziecki program stworzenia bracko-ilimskiego kompleksu przemysłowego, amerykański pro-

\* Prace nad programem *Apollo* opisuje w sposób niezwykle barwny i interesujący N. Mailer w książce *Na podbój Księżycą*, KiW, Warszawa 1978 r.

gram zagospodarowania doliny Tennessee, japoński projekt szybkiej kolei Shinkansen czy też francuski program przemysłowego wykorzystania energii słonecznej.

Podjęcie dużych programów badawczo-rozwojowych stwarzało zapotrzebowanie na efektywną organizację i sterowanie realizacją tych złożonych przedsięwzięć. Pojawiła się także potrzeba nowej metodologii badań. Wyprzedziła ona znacznie w czasie powstanie współczesnych systemów badań i rozwoju, lecz mogła dopiero zostać zaspokojona w warunkach RNT. Z pewnością zagadnienie można odwrócić i zastanawiać się, czy przemiany w metodologii badań, zapoczątkowane na początku XX wieku, nie były „związkiem” zjawiska RNT? Jesteśmy skłonni odpowiedzieć na to pytanie twierdząco. Postawa ta określa punkt wyjścia do dalszych rozważań.

W warunkach współczesnego rozwoju naukowo-technicznego również sama nauka stała się przedmiotem badań naukowych. Badania te skupiają się bądź wokół działań poznawczych, bądź wokół praktyki poznawczej. Pierwsze z nich określają zakres metodologii nauki (badań), drugie zaś — naukoznawstwa. Jedną z popularnych koncepcji badań rozwoju nauki reprezentowana przez T. S. Kuhna\* wiąże zmiany w nauce ze zmianą tzw. paradygmatu, obejmującego: ogólne prawo czy zbiór praw naukowych, sposób ujmowania określonej grupy zjawisk, zakres szczegółowych problemów możliwych do rozwiązania w świetle prawa ogólnego, modelowe sposoby rozwiązań, ogólne cechy odpowiedniej aparatury badawczej. Rewolucje naukowe są więc zmianami paradygmatów. Przyjmijmy hipotezę, że współczesna RNT przyniosła także zmianę paradygmatu.

Zmiany w nauce według M. Mazura\*\* wyrażają różnice pomiędzy strukturą nauki tradycyjnej i nowoczesnej. Polegają te zmiany na:

- traktowaniu rzeczywistości w całości zamiast we fragmentach, co jest rezultatem wyraźnego nastawienia się na potrzeby społeczne;
- preferowaniu problematyki interdyscyplinarnej (np. w ra-

\* T. S. Kuhn: *Struktura rewolucji naukowych*. PWN, Warszawa 1968 r.

\*\* M. Mazur: *Cybernetyka i charakter*. PiW, Warszawa 1975 r.

mach cybernetyki) oraz multidyscyplinarnej (w zakresie współdziałania monodyscyplin naukowych);

— rozszerzeniu problematyki abstrakcyjnej (w ramach matematyki i logiki matematycznej).

Jest sprawą oczywistą, że rozwój działalności naukowej charakteryzuje się nie tylko rozszerzającym się zakresem tematycznym rozwiązywanych problemów, lecz także poświęceniem coraz większej uwagi sposobom i metodom działalności naukowej. Uzyskanie pozytywnych rezultatów badań zależy bowiem bezpośrednio od przyjętych przez podmiot działania założeń teoretycznych i metodologicznych.

Do tworzenia teorii potrzebne są zawsze — obok faktów, a właściwie przed ich zebraniem — pewne założenia o charakterze teoretycznym, a często i filozoficznym. Założenia te przyjmowane są czasem świadomie, niekiedy zaś podświadomie jako oczywiste. Dopiero znacznie później bywają rekonstruowane, a nieraz kwestionowane. Odnosi się to przede wszystkim do założeń metodologicznych dotyczących charakteru działań poznawczych. Warto przy tym podkreślić, że żadna z wielu istniejących koncepcji metodologicznych nie przedstawiła dotąd jednolitej teorii postępowania badawczego dla nauk formalnych i empirycznych zarazem.

Jest sprawą naturalną, że: „Każda teoria o szerszym zastosowaniu implikuje pewien obraz świata ... każde znaczniejsze osiągnięcie naukowe zmienia widzenie świata i stanowi „filozofię naturalną”\*. Wspominamy o tym również dlatego, że z rozwojem RNT wiąże się powstanie niejednej „ogólnej teorii” i zainteresowanie problematyką interdyscyplinarną. Aczkolwiek zainteresowania te towarzyszyły niemal zawsze rozwojowi cywilizacyjnemu, lecz dotychczas były przedmiotem „czystej”<sup>2</sup> refleksji filozoficznej, nie zaś przedmiotem badań naukowych, w dzisiejszym ich rozumieniu\*\*.

\* L. von Bertalanffy: *Robots, Men and Minds*.

\*\* Wiele interesujących refleksji na temat metodologicznych dylematów nauki można odnaleźć w zbiorze mądrych i błyskotliwych opowiadań fantastycznych prof. J. Kozińskiego pt. *Smutek spełnionych baśni*. (Wydawnictwo Literackie, Kraków 1979 r.). W jednej z opowiadań (*Życie jak ruletka*) autor przypisuje jednemu z bohaterów następujący sąd o filozofach: „...powiedział kiedyś, że przypominają oni (tj. filozofowie — przyp.

Czy zatem pierwsza z wymienionych przez M. Mazura cech przemian w nauce nie stanowi o owej „filozofii naturalnej”? Otóż właśnie cechę tę można utożsamiać z pewnym paradygmatem, który dalej będziemy określać mianem „paradygmatu systemowego” lub mówić, po prostu, o „systemie jako paradygmacie”. Powyższe uwagi służyły konstatacji funkcjonowania paradygmatu systemowego jako jednej z cech współczesnych badań naukowych i zjawiska RNT zarazem.

## 2. Rozwój badań systemowych

Dla każdego okresu w rozwoju nauki charakterystyczna jest określona postawa metodologiczna, wyrażająca stosunek podmiotu badań do charakteru działań poznawczych. „To tylko ludzie, rozwijając swą produkcję materialną i swe materialne stosunki wzajemne, zmieniają wraz z tą swą rzeczywistością również swoje myślenie i wytwory tegoż myślenia”\*. Z powyższego zdania wynika, że wraz ze stopniowym opanowywaniem świata rodzi się potrzeba wiedzy koordynującej coraz to nowe działania ludzkie. Każda nauka zbudowana jest na określonych zasadach logicznych, metodologicznych i filozoficznych. Rozwój nauki jest zatem doskonaleniem tych zasad.

Niekiedy wyróżnia się trzy zasadnicze koncepcje rozwoju nauki\*\*:

a) skrajny kumulatywizm, traktujący rozwój nauki jako zwykłe dodawanie nowych prawd do starych i nie dostrzegający np. potrzeby reinterpretacji starej teorii w świetle nowej;

b) skrajny antykumulatywizm, podkreślający niewspółmierność starej i nowej teorii, ich absolutną odmiennność;

c) koncepcję dialektyczną, wedle której rewolucja naukowa jest dialektyczną negacją, tj. zaprzeczeniem dotychczasowej teorii, ale z zachowaniem jej pozytywnego dorobku.

P.S.) turystów, którzy bez alpinistycznego ekwipunku chcą osiąść na Evereście, i chyba niewiele się pomylił”.

\* F. Engels, *Dialektyka przyrody*. PWN, Warszawa 1979 r.

\*\* W. Krajewski: *Redukcja, idealizacja, korespondencja*. [W]: *Zasada korespondencji w fizyce a rozwój nauki*, PWN, Warszawa 1974 r.

Koncentrując uwagę na koncepcji dialektycznej rozwoju nauki podkreślił kilka faktów. Od końca XVII wieku do początków bieżącego stulecia dominowała w nauce postawa mechanicystyczna, która przede wszystkim zapewniła rozkwit fizyki. Rewolucja naukowa na przełomie XVI—XVII wieku wprowadziła na miejsce opisowo-metafizycznego pojmowania świata (przedstawionego już dawniej w doktrynie Arystotelesa) nową koncepcję matematyczno-pozytywistyczną lub Galilejską. Tak więc wizję świata jako kosmosu teleologicznego (celowościowego) zastąpiono opisem zdarzeń rządzonych prawami przyczynowymi, dającymi się wyrazić w postaci matematycznej. Z kolei ten przyczynowo-skutkowy światopogląd naukowy w XX wieku przekształca się w światopogląd strukturalno-nomologiczny. Ten zaś bliski jest naszemu rozumieniu paradygmatu systemowego. Zanim doszło do jego ukształtowania, nastąpiło wiele różnych przemian. I tak, nie można pominąć faktu, że przez długi okres europejska myśl naukowa znajdowała się pod wyraźnym wpływem dyrektyw kartezjańskich, zwłaszcza drugiej reguły przedstawionej w „Rozprawie o metodzie”, zgodnie z którą „... każdy problem należy rozbić na tyle oddzielnych prostych elementów, na ile to jest tylko możliwe”. Reguła ta, sformułowana w sposób podobny przez Galileusza jako metoda „rozkładania”, stała się — aż do początków rozwoju współczesnych badań prowadzonych metodami laboratoryjnymi — paradygmatem nauki, polegającym na redukowaniu złożonych zjawisk oraz ich rozkładaniu na części i procesy elementarne. Wydarzenia te wyznaczają w zasadzie linię podziału między naukowym redukcjonizmem a holistyczną metafizyką, pomiędzy którymi długo trwał zaciepły spór — spór o metodę. Rozumiejąc metodę naukową, tak jak L. Nowak \*, i utożsa-

\* L. Nowak: *Wstęp do idealizacyjnej teorii nauki*. PWN, W-wa 1977 r. Istota metody naukowej sprowadza się do następujących działań poznawczych:

- a) ustala się zespół czynników istotnych dla czynnika badanego;
- b) dokonuje się hierarchizacji w obrębie tego zespołu (wyróżnia się czynniki główne i uboczne);
- c) przy założeniach pomijających czynniki uboczne ustala się zależności określające wpływ wielkości głównych na wielkość badaną;
- d) znosi się te założenia i modyfikuje owe wyjściowe twierdzenia uwzględniając działanie czynników ubocznych.

mając ją z metodą idealizacji badanych zjawisk, wyróżniamy trzy najistotniejsze przełomy metodologiczne, a mianowicie:

a) w naukach przyrodniczych — za sprawą Galileusza, który zapoczątkował metodę idealizacji, stosując zarazem na szeroką skalę język matematyki;

b) w naukach społecznych — za sprawą K. Marksa, który zapoczątkował metodę idealizacji dla opracowania teorii kapitału;

c) w klasycznych naukach humanistycznych w wyniku językoznawczej teorii N. Chomsky'ego, który zastosował metodę idealizacji i był pionierem metod matematycznych w językoznawstwie.

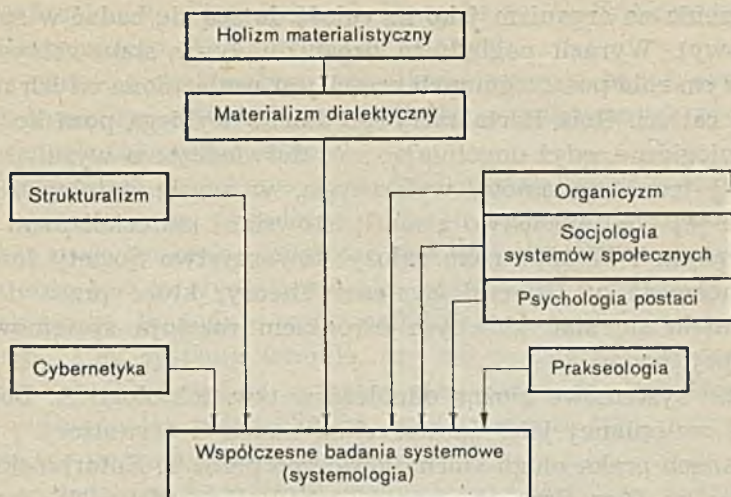
Na podstawie powyższych rozważań można sformułować pewne ogólne wnioski:

— wraz z rozwojem nauki światopogląd naukowy przekształcał się z mechaniczystyczno-redukcyjnego w strukturalno-nomologiczny, zaś holistyczną metafizykę zastępował naukowy redukcjonizm, aby wreszcie przekształcić się w holizm materialistyczny, którym jest współczesny materializm dialektyczny;

— przełom metodologiczny w nauce charakteryzuje dominujące znaczenie metody idealizacji wraz z metodami matematycznymi.

Z wniosków tych wynika zasada systemowości jako paradygmat, który charakteryzuje się materialistyczno-holistycznym widzeniem świata, realizującym się w kategorii całości oraz stosowaniu metody idealizacji realizowanej w postaci matematycznego modelowania całościowo badanych zjawisk. Kategoria całości, która ma postać abstrakcyjno-syntetyczną, prowadzi do kategorii systemu. Natomiast metoda idealizacji prowadzi do wyodrębnienia się metody systemowej.

Współczesne badania systemowe mają więc kilka źródeł, z których zasadnicze przedstawiono na rys. 1.1. Są one wytworem ostatnich kilkudziesięciu lat, lecz dowodzą ciągłości tradycji naukowej interpretowanej zgodnie z dialektyczną koncepcją rozwoju nauki. Wystarczy zwrócić uwagę na kilka faktów, np. w badaniach socjologicznych A. Comte wolał tłumaczyć człowieka przez ludzkość, a nie odwrotnie, zaś E. Durkheim traktował całość społeczną jako coś, co stanowi połączenie jednostek, niczym molekuł złożonych z atomów. Warto również wspomnieć m.in.



1.1. Źródła współczesnych badań systemowych

o koncepcjach systemu społecznego stworzonych przez V. Pareto, F. Znanieckiego i T. Parsonsa. W dziedzinie psychologii szczególnie interesujący kierunek stanowiła tzw. psychologia postaci, znana również pod nazwą psychologii gestaltystycznej, której reprezentantami byli M. Wertheimer, W. Köhler, K. Kofka, K. Lewin. Krytykowali oni przede wszystkim atomistyczny charakter psychologii tradycyjnej, w jej fazie o istnieniu zjawisk elementarnych, łączących się ze sobą przez skojarzenia; przeciwstawiali tezę o zorganizowanym charakterze zjawisk świadomości, zaś prawom skojarzenia — prawa struktury. Wiąże się z tym ściśle wersja strukturalizmu w psychologii, stworzona przez J. Piageta, która przeciwstawia struktury — skupiskom, to jest czemuś, co powstaje z elementów niezależnych od całości\*. I wreszcie idea organicyzmu L. von Bertalanffy'ego sformułowana na gruncie biologii. Jako że przyjmuje się ją często za główne bezpośrednie źródło współczesnych badań systemowych, poświęcimy jej nieco uwagi. Bertalanffy pierwszy traktował obiekty biologiczne jako zorganizowane układy dynamiczne, co stanowiło punkt wyjścia do sformułowania nowej idei całościowości organizmów żywych

\* J. Piaget: *Strukturalizm*. WP, Warszawa 1972 r.

(spojrzenia na organizm jako na całość dającą się badać w sposób naukowy). Wyraził pogląd, że organizm żywy stanowi system, w którym rola poszczególnych części jest uzależniona od ich miejsca w całości. Rola Bertalanffy'ego daleko wybiega poza koncepcje biologiczne, gdyż uogólniając swe doświadczenia wysunął ideę ogólnej teorii systemów, wykazującą, w sensie ontologicznym, bliskie jej pokrewieństwo z marksistowskim materializmem dialektycznym\*. W 1954 roku założył towarzystwo Society for the Advancement of General Systems Theory, które przez długie lata miało się stać głównym ośrodkiem rozwoju systemowych koncepcji badań.

Wątki systemowe można odnaleźć w tzw. tektologii A. Bogdanowa, rozumianej jako „powszechna nauka o organizacji”, oraz w zasadach prakseologii sformułowanych przez T. Kotarbińskiego, a także w filozoficznych rozprawach R. Ingardena. W jawnej postaci idee systemowe odnaleźć można w pracach cybernetyków i matematyków: N. Wienera i J. von Neumanna, R. W. Ashby'ego, R. Ackoffa, R. Bellmana i wielu innych. Oryginalne koncepcje systemowe były rozwijane w pracach O. Langego, H. Greniewskiego, M. Mazura. Na współczesny kształt nauki o systemach wpłynęły z pewnością prace G. Klira, A. Rapoporty, M. Mesaroviča, A. Wymore'a, J. Cornacchio, L. Zadeha oraz H. A. Simona. Wśród radzieckich badaczy szczególną uwagę zwracają prace B. Fleiszmana, B. Judina, W. Sadowskiego, D. Pospielowa, A. Ujemowa, W. Drużynina, D. Kontorowa i innych. Z aktualnie prowadzonych w kraju badań zwracają uwagę prace prowadzone przez J. Jaronia i jego zespół, R. Kulikowskiego,

\* Krytykiem idei Bertalanffy'ego jest wybitny biolog, laureat Nagrody Nobla, J. Monod, który uważa, że: „Całkowicie jałowa jest, według mnie, postawa np. Bertalanffy'ego (nie należy on zresztą do wyjątków), który latami popisuje się na wszystkie strony twierdzeniem, że cała nauka analityczna i biologia molekularna nie doprowadziły, w gruncie rzeczy, do wyników godnych uwagi, a zaleca posługiwanie się kategoriami ogólnej teorii systemów. Otóż, będąc pod wrażeniem tego twierdzenia, odbyłem rozmowy z niektórymi teoretykami systemowymi i informatykami. Wszyscy oni byli zgodni co do tego, że nie istnieje i nie może istnieć coś w rodzaju ogólnej teorii systemów, gdyż jest to niepodobieństwo, a gdyby nawet ona istniała, to byłaby pozbawiona sensu”.

Dodajmy, że J. Monod nie jest odosobniony w swych poglądach, co jednak nie stanowi większej przeszkody w rozwoju koncepcji i teorii systemowych.



K. Mańczaka, W. Findeisena, S. Piaseckiego, R. Staniszewskiego, W. Gasparskiego, J. Koniecznego i innych.

Z pewnością doskonałym miernikiem rozwoju badań systemowych może być wyraźny wzrost liczby publikowanych prac poświęconych tej problematyce.

Wszystko, co dotychczas powiedzieliśmy na temat rozwoju badań systemowych, świadczyć może o znacznej różnorodności, a także może i o braku spójności tego nurtu myślenia naukowego. Być może jest to wynikiem braku jednolitego i spójnego języka systemowego. Powoduje to, że nadal pojawiają się pytania takie, jak np. „Czy systemy istnieją, czy się je tworzy, czy też spozstrzega?”\*. Z pewnością aktualny stan badań daleko odbiega od stanu doskonałej jednorodności, zaś w nurcie tym można wyróżnić, co najmniej, trzy „warstwy”:

— metodologię badań systemowych jako podstawę epistemologiczną,

— różne warianty ogólnej teorii systemów,

— metody systemowe stosowane w działalności preparacyjnej. Znacznie precyzyjniej klasyfikują współczesne badania systemowe autorzy radzieccy\*\*, którzy wyróżniają:

a) wariant wyjściowy ogólnej teorii systemów L. von Bertalanffy'ego charakteryzujący zainteresowanie aspektami ogólnoswiatopoglądowymi i metodologicznymi oraz ograniczony aparat matematyczny;

b) ogólnosystemowe koncepcje formalne i matematyczne Mesaroviča, Klira, Wymore'a, Cornacchio, Zadeha, Langego i innych, dotyczące głównie określonych klas systemów;

c) teoretyczne sformułowania zadań inżynierii systemów — teorii i metodologii konstruowania systemów wielkich;

d) prace o charakterze naukowawczym i metodologicznym, zawierające idee badania systemowego lub nauki systemowej;

e) badania logiczno-metodologicznych aspektów teorii systemów, mających przede wszystkim na celu budowę języka analizy

\* Znamienna może tu być postawa G. Weinberga (*Myślenie systemowe*, WNT, Warszawa 1979 r.), który na pytanie: „Co to jest system?”, odpowiada: „Jak to wie każdy poeta, jakiś system — to jakiś sposób patrzenia na świat”.

\*\* *Problemy metodologii badań systemowych*. WNT, Warszawa 1973 r.

systemowo-strukturalnej oraz form i składowych działalności polegającej na badaniu systemów i struktur;

f) teoretyczne uogólnienia zastosowań idei badań systemowych w poszczególnych dyscyplinach naukowych.

O różnorodności badań systemowych świadczyć może wielość używanych określeń (ruch systemowy, filozofia systemowa, postawa systemowa, teoria systemów, ogólna teoria systemów, analiza systemowa, inżynieria systemów czy systemologia) oraz sposób traktowania istoty badań (teoria formalna, metodologia, sposób myślenia, sposób spojrzenia na świat, poszukiwanie optymalnego uproszczenia, metodyka nauczania, metajęzyk, zawód itp.).

Wszystkie te różnorodne poglądy i postawy musi jednak łączyć jakaś wspólna cecha. Jest nią z pewnością ów paradygmat — zasada systemowości, będąca jedną z naczelnych kategorii myśli marksistowskiej\*. Nie oznacza to bynajmniej, że w przypadku współczesnych badań systemowych mamy do czynienia z nurtem myślenia marksistowskiego. Występują w nich także koncepcje będące w opozycji do marksizmu.

Zwróćmy w tym miejscu uwagę na jeszcze jedną istotną opinię: „... w pismach zwolenników teorii systemów przeważa (...) pogląd, że systemowość jest cechą świata, że rzeczywistość jest po prostu sekwencją systemów, ale można się także spotkać z poglądem (który u przeciwników podejścia systemowego, notabene często się przy tym powołujących na Kanta, jest bardzo rozpowszechniony), że systemowość jest na tyle cechą przysługującą rzeczywistości w naturalny »ontologicznie wrodzony« sposób, ile cechą towarzyszącą naszemu poznawaniu świata, cechą obrazu świata, jaki sobie stwarzamy” oraz „Być może znaczenie podejścia systemowego należy upatrywać nie w teoriach, jakie nam oferuje, ale właśnie w poszukiwaniach języka, który byłby bardziej odpowiedni niż ten, jakiego używamy w przetwarzaniu

\* W. Kuźmin: *Zasada systemowości w teorii i metodologii Karola Marksa*, KiW, Warszawa 1980 r.

Kuźmin tak pisze: „...wiedza systemowa w jej formie naukowej po raz pierwszy pojawiła się w wieku XIX. Jednym z ważniejszych składników teorii i metodologii marksistowskiej jest zasada systemowości” oraz „Systemowość występuje we wszystkich dziedzinach i na wszelkich poziomach świata obiektywnego”.

rosnącej ilości coraz bardziej wielorako ze sobą powiązanych danych. W myśleniu”\*.

Celem powyższych rozważań było przedstawienie zasadniczych dylematów współczesnych badań systemowych oraz kontrowersji, jakie one przyniosły. Nie wyjaśniliśmy przy tym ani samego pojęcia systemu, ani też konkretnych zasad metodologicznych. Zamiast usprawiedliwienia takiego potraktowania tej problematyki posłużymy się słowami C. W. Churchmana \*\*: „Istotą ujęcia systemowego jest wprowadzenie zarówno zamętu, jak i postępu w zrozumieniu otaczającego nas świata. Te dwa zjawiska są nieodłącznymi aspektami życia ludzkiego”.

### 3. Zarys systemologii

Na wstępie uściśliliśmy kilka ogólnych pojęć. Mówiąc o wiedzy systemowej rozumiemy pod tym pojęciem całokształt pozytywnie ocenianych naukowych badań systemowych, realizowanych w różnych dziedzinach współczesnej nauki. Z kolei, badania systemowe obejmują całokształt naukowych i praktycznych problemów i opracowań, które przy całej swej różnorodności są zbieżne w rozumieniu i rozpatrywaniu obiektów jako systemów. Spotykany termin „podejście systemowe” będziemy utożsamiać z metodą systemową, zaś mówiąc o „postawie systemowej” rozumiemy określoną orientację metodologiczną, charakteryzującą podmiot w badaniach naukowych.

Zasada systemowości powstała w nauce jako ujęcie całościowe (integralne) obiektów badania, co znalazło swój wyraz początkowo w pojęciu całości, a później zostało rozwinięte i skonkretyzowane w pojęciach organizacji i systemu. Przyjmujemy, że zasada systemowości wyraża aspekt materialistycznej dialektyki ujmującej założone obiekty jako całości utworzone przez wzajemne związki elementów niejako na tle określonych struktur hierarchicznych \*\*\*. Poszczególne systemowe ujęcia reprezentowane w róż-

\* S. Magala: *Moda w filozofii* (IV). Filozofia angloamerykańska. Miesięcznik Literacki, nr 2, 1981 r.

\*\* C. W. Churchman: *The Systems Approach*. New York 1968 r.

\*\*\* F. Engels w *Dialektyce przyrody* tak pisze: „Cała dostępna nam przyroda stanowi pewien system, pewien układ powiązanych ze sobą ciał,

nych dziedzinach badań naukowych stanowią formy konkretnej systemowej wiedzy metodologicznej. Przyjmowana więc w badaniach postawa systemowa realizuje związek refleksji filozoficznej z naukową, techniczną i praktyczną działalnością poprzez: refleksje nad badaniami pewnych całości jako systemów, określenie miejsca idei systemowych we współczesnej nauce oraz badanie perspektyw rozwoju badań systemowych.

Jako wyróżniki podejścia systemowego przyjęto następujące cechy działania poznawczego i praktycznego:

- traktowanie badanego (tworzonego) obiektu jako systemu,
- traktowanie danego systemu jako obiektu złożonego z wzajemnie powiązanych podsystemów,
- traktowanie danego systemu jako obiektu należącego do większego systemu,
- świadome posługiwanie się modelem systemu o określonym poziomie rozdzielności, wyrażającym określony aspekt działania.

Traktując badania systemowe jako dziedzinę empiryczną i przyjmując metodologiczną hipotezę, iż wszelkie nauki empiryczne mają jednocześnie charakter teoretyczny i praktyczny, możemy uznać, że cele badań systemowych są dwojakie:

- opis i wyjaśnienie rzeczywistości traktowanej całościowo za pomocą pojęcia systemu (języka systemowego),
- projektowanie przyszłych pożądanych stanów określonych systemów.

I wreszcie pojęcie systemu. Podkreślmy, że nie jest to pojęcie nowe\* oraz że spotykanych jest w literaturze bardzo wiele różnych jego określeń i definicji\*\*.

przy czym przez ciała rozumiemy tu wszelkie twory materialne. Już w fakcie, że ciała te pozostają we wzajemnym związku ze sobą, zawiera się również i to, że oddziałują na siebie; to ich wzajemne na siebie oddziaływanie jest właśnie ruchem”.

\* L. von Bertalanffy uznaje pojęcie systemu za równie stare, jak filozofia europejska, wskazując na pojęcie Kosmosu u starożytnych Greków. Powołuje się także na pojęcie „coincidentia oppositorum” Mikołaja z Kuzy, kartezyjskie „bête machine” i „homme machine” de la Mettrie. H. Greniewski uważa, iż co najmniej od czasów powstania Korpusu Hipokratejskiego pojęcie systemu stosowane jest w nauce. M. Sietrow natomiast wskazuje na pojęcie całości organicznej u Schellinga i Hegla.

\*\* Zob. W. Sadowski: *Podstawy ogólnej teorii systemów*. PWN, Warszawa 1978 r.

Proponujemy przyjąć takie określenie, które dobrze oddaje istotę paradygmatu:

*Systemem nazywamy każdy złożony obiekt wyróżniony z badanej rzeczywistości, stanowiący całość tworzoną przez zbiór obiektów elementarnych (elementów) i powiązań (relacji) pomiędzy nimi.*

Powiemy, że coś jest całością wtedy, gdy stanowi zbiór pełny (zamknięty), jest w określony sposób wyróżnione z otoczenia oraz składa się z części, które dadzą się oddzielić, lecz które są związane ze sobą w pewien szczególny sposób. Całość jest zawsze obiektem różnym w stosunku do jej części, nadaje bowiem sens istnieniu (funkcjonowaniu) swoich części. Wynika stąd, że system jako całość przeciwstawiany jest analityczno-sumacyjnemu (mechanicystycznemu) widzeniu rzeczywistości.

Istotną kategorią jest relacja systemotwórcza określona na zbiorze elementów systemu, dzięki której obiekt charakteryzują tzw. cechy systemowe. Są to własności, które przysługują systemowi jako całości, lecz których nie mają elementy systemu. Obiektami elementarnymi (elementami) są obiekty, które występując w określonym układzie relacji bezpośrednio tworzą daną całość (system). Zbiór elementów tworzących system nazywać będziemy też składem systemu, natomiast zbiór relacji pomiędzy nimi — strukturą.

Każdy system charakteryzuje wielkość i złożoność. Ze względu na wielkość możemy wyróżniać:

— systemy małe składające się z obiektów elementarnych, wśród których nie istnieje żaden obiekt, który może być traktowany jako system;

— systemy średnie składające się z obiektów, wśród których istnieje co najmniej jeden taki obiekt, który może być traktowany jako system mały;

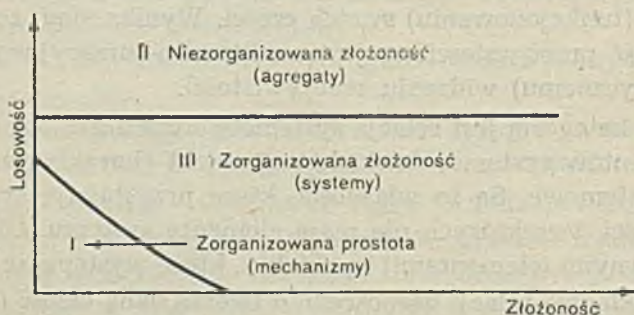
— systemy wielkie, których wszystkie obiekty składowe są co najmniej systemami małymi.

Zatem jako kryterium wielkości systemów przyjęliśmy nie ilość elementów, lecz ich morfologię. Z kolei, ze względu na złożoność będziemy wyróżniać, po prostu, systemy proste i systemy złożone, przy czym za podstawę wyróżnienia przyjęto typ

i charakter struktury, a więc ilość i rodzaj relacji pomiędzy elementami, ilość jednostek hierarchicznych itp.

Zauważmy, że mówienie o systemie, że jest mały, średni czy duży, związane jest z przyjętym poziomem rozdzielności w badaniu, a więc obciążone jest pewną względnością. Jest zrelatywizowane do poziomu rozdzielności, czyli zakresu obserwacji danego obiektu.

Interesujący pogląd na złożoność świata systemów prezentuje G. Weinberg\*, który wyróżnia, ze względu na losowość (różność) i złożoność, trzy obszary (rys. 1.2):



1.2. Podstawowe typy systemów według G. Weinberga

I — obszar „zorganizowanej prostoty” czy też obszar maszyn albo mechanizmów;

II — obszar „niezorganizowanej złożoności” albo populacji lub agregatów;

III — obszar „zorganizowanej złożoności”, czyli systemów.

Obszar III jest zbyt złożony do stosowania metod analitycznych, użytecznych w badaniu obszaru I, a jednocześnie zbyt zorganizowany dla metod statystycznych, użytecznych w badaniu obszaru II. Wymaga zatem nowej metody, „godzącej” niejako postępowanie analityczne i statystyczne. Musi być to więc specyficzna metoda systemowa.

Wszystkie systemy występujące w badaniach tworzą ich zakres, na który składają się:

\* G. Weinberg. wyd. cyt.

— empiryczne obiekty systemowe należące do kategorii przedmiotowych,

— „idealne” obiekty systemowe jako konstrukcje pojęciowe należące do kategorii podmiotowych.

Pierwsze wyrażają stosunki istniejące w świecie materialnym (przyrodniczym i społecznym), drugie zaś stosunki między pojęciami i sądami. Możemy wobec tego mówić o pewnej bazie ontologicznej, czyli zbiorze tych kategorii przedmiotowych i kategorii podmiotowych, które są reprezentowane przez ogólne pojęcie systemu.

Samo pojęcie dziedziny badań jest metateoretyczne, które denotuje pewien niepusty zbiór indywiduów  $U$ , zwany uniwersum dziedziny, oraz relacje  $P$  zwane charakterystyką uniwersum, co symbolicznie przedstawiamy w postaci pary:  $\langle U, P \rangle$ .

W odróżnieniu od nauk szczegółowych, uniwersum badań systemowych obejmuje zarówno obiekty przyrodnicze, jak i obiekty społeczne, obserwowalne i traktowane jako określone systemy rzeczywiste. Charakterystykę tak przyjętego uniwersum tworzą obiektywne i wyrażane za pomocą kategorii systemowych relacje między obiektami społecznymi, relacje między obiektami przyrodniczymi i relacje między obiektami przyrodniczymi a obiektami społecznymi.

Obok rzeczywistości materialnej (badanej przez dialektykę obiektywną — przedmiotową) istnieje dziedzina badana przez dialektykę subiektywną (podmiotową). Dziedzinę tę można przedstawić także jako parę  $\langle M, R \rangle$ , której uniwersum  $M$  składa się z pojęć odzwierciedlających określone przedmioty z dziedziny  $U$ , zaś charakterystykę tworzą relacje  $R$ , zachodzące między owymi pojęciami. W szczególności zbiór  $M$  można utożsamiać z leksyką języka systemowego lub, po prostu, z systemami pojęciowymi. Relacje  $R$  są poznawczymi odwzorowaniami relacji  $P$ , czyli

$$\bigwedge_{u_i \in U} \bigwedge_{u_j \in U} u_i P_{ij} u_j \Rightarrow \varrho(u_i) R_{ij} \varrho(u_j)$$

gdzie:  $P_{ij} \in P$ ,  $R_{ij} \in R$ ,  $\varrho: U \rightarrow M$ , tzn., jeżeli pomiędzy materialnymi obiektami  $u_i, u_j \in U$  zachodzi relacja  $P_{ij} \in P$ , to pomiędzy poznawczymi ich odwzorowaniami zachodzi relacja  $R_{ij} \in R$ .

Pomiędzy dziedziną przedmiotową a dziedziną podmiotową zachodzi stosunek podobieństwa (izomorfizm)

$$\langle U, P \rangle \approx \langle M, R \rangle$$

Możemy przyjąć, że wyróżnione dziedziny są pewnymi systemami, w sensie określonych struktur relacyjnych, a mianowicie: systemem rzeczywistym  $\Sigma = \langle U, P \rangle$  oraz systemem pojęciowym  $S = \langle M, R \rangle$ . Operacyjny charakter badania systemowego można więc przedstawić następująco

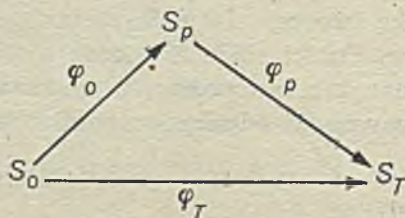
$$\Sigma \xrightarrow{\text{obserwacja}} S$$

Oznacza to, że systemowa działalność badawcza polega na budowaniu reprezentacji symbolicznych (w dziedzinie podmiotowej) dla odpowiednich obiektów (w dziedzinie przedmiotowej). Uzyskiwany w ten sposób opis obiektów rzeczywistych nie jest obiektywny, ale zależny od obserwatora (niekiedy powiemy, że od przyjętego aspektu badań, poziomu rozdzielności). Obserwacja w badaniach systemowych jest swoistą „translacją” rzeczywistości na język systemowy.

W wyniku tej działalności poznawczej uzyskiwane są następujące uogólnienia:

- w postaci opisu uogólnionego badanych obiektów ( $S_0$ ),
- w postaci prawa systemowego ( $S_P$ ),
- w postaci systemowej teorii naukowej ( $S_T$ ).

Proces uogólniania potraktowany jako „odwzorowywanie wewnątrz” dziedziny podmiotowej można zilustrować następująco



gdzie odwzorowania  $\varphi_0$ ,  $\varphi_P$ ,  $\varphi_T$  odpowiadają pewnym procedurom symbolicznym.



Posługiwanie się pojęciem systemu musi być podporządkowane pewnym regułom, do których można zaliczyć następujące:

1) ścisłość, czyli system powinien być ściśle określony, aby dokładnie było wiadomo, jakie elementy należą do niego (tworzą system), a jakie do jego otoczenia;

2) niezmienność, czyli określenie systemu powinno być niezmiennie w toku rozważań (badań systemowych), bowiem niedopuszczalne jest, aby pewne elementy były traktowane jako części systemu, natomiast niekiedy — jako elementy otoczenia systemu;

3) zupełność, czyli podział systemu na podsystemy powinien być zupełny, bowiem system nie może zawierać elementów nie należących do żadnego z jego podsystemów;

4) rozłączność, czyli podział systemu na podsystemy powinien być rozłączny, bowiem system nie może zawierać elementów należących do kilku podsystemów jednocześnie.

W ten sposób nakreśliłmy obszar dziedziny, którą proponuje się określać mianem systemologii. Zajmuje się ona tworzeniem efektywnych opisów obiektów jako systemów, czyli modelowaniem systemowym, stosowaniem ich w procesie rozwiązywania złożonych praktycznych problemów systemowych, wyjaśnianiem „świata systemów” oraz poszukiwaniem w nim ogólnych prawidłowości.

Systemologią nazywać będziemy dziedzinę działalności poznawczej, w której przyjęto system (zasadę systemowości) jako paradygmat, i działalności praktycznej, w której podstawową stosowaną metodą jest metoda systemowa.

Do cech metody systemowej można zaliczyć:

— przedmiotem metody są systemy rzeczywiste charakteryzowane za pomocą zbioru cech systemowych,

— podmiotem metody jest określony system rzeczywisty, czyli pewien zespół interdyscyplinarny,

— wynikiem stosowania metody może być pewien nowy system.

Ponadto metodę systemową cechuje:

— konsekwentne stosowanie w procesie rozwiązywania problemów metodologicznych zasad systemowych,

— przestrzeganie reguł ścisłego stosowania pojęcia systemu,  
— stosowanie procedur analitycznych, ocenowych i syntetycznych,

— stosowanie zarówno procedur programowych (algorytmicznych), jak i heurystycznych,

— świadome dążenie do racjonalnej strukturalizacji, formalizacji i matematyzacji podejmowanych problemów,

— stosowanie zasady optymalności rozwiązań w sensie przyjętego kryterium będącego „odbiciem” realnych potrzeb itp.

Zakres podejmowanych problemów określają problemy teoretyczne (poznawcze) i problemy praktyczne (decyzyjne). Pierwsze z nich zawierają w sobie cel poznawczy, którym jest opis i wyjaśnianie istniejących stanów rzeczywistości, traktowanej w sposób całościowy. Do nich trzeba zaliczyć wszystkie problemy wymagające stwierdzenia faktów, właściwości i związków dotyczących określonych systemów. Problemy drugiego rodzaju zakładają aktywną postawę podmiotu wobec badanej rzeczywistości wyrażaną w celu, którym jest projektowanie określonych stanów rzeczywistości. Do nich zaliczymy problemy wymagające wskazania optymalnych (w określonym sensie) celów, sposobów i środków, szeroko rozumianego działania dla określonych systemów rzeczywistych.

Ze względu na strukturę problemów wyróżniono następujące typy problemów\*:

— dobrze zestrukturalizowane (dobrze określone), czyli dające się sformułować ilościowo, a występujące w nich wielkości zmierzyć;

— nie ustrukturalizowane (nie określone), czyli dające się przedstawić tylko jakościowo ze względu na brak ilościowych zależności między elementami (cechami);

— słabo ustrukturalizowane (słabo określone), czyli mieszane, zawierające zarówno elementy jakościowe, jak i ilościowe, z przewagą jednak tych pierwszych.

Oprócz wymienionych grup problemów systemowych celowe jest wyróżnienie grupy problemów metodologicznych, których

\* A. Newell, H. A. Simon: *Heuristic Problem Solving: The New Advance in Operation Research*. Operation Research, vol. 4, 1958 r.

celem jest tworzenie konkretnych procedur weryfikacji poprawności formułowania i rozwiązywania problemów poznawczych i decyzyjnych oraz doskonalenie istniejących metod i projektowanie metod przyszłych.

Założmy, że dany problem systemowy (lub nad systemem  $S \in \Sigma$ ) można przedstawić w postaci

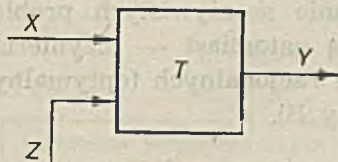
$$\pi(S) \equiv (X, Z, Y, T), \quad S \subset X \times Y,$$

gdzie:  $X$  — początkowa sytuacja problemowa (dane wejściowe);

$Y$  — cel problemu (dane wyjściowe);

$Z$  — stany wewnętrzne (doświadczenia, motywacje, intuicje, warunki);

$T$  — tzw. funkcja przenoszenia (transformacja).



Stosując powyższe pojęcia wyróżnia się trzy podstawowe typy problemów systemowych (tabela 1.1).

Tabela 1.1

Typy problemów systemowych

Typ	Dane	Poszukiwane	Pytanie
I	$X, Z, T$	$Y$	co?
II	$Y, T$	$X, Z$	czym?
III	$Y, Z$	$T$	jak?

Założmy ponadto, że znana jest pewna funkcja  $F : X \times Y \times Z \rightarrow R$ . Sformułujmy dwa problemy systemowe:

**Problem A:**

dane:  $X, Z, Y, T$

należy znaleźć takie  $y^* \in Y$

aby  $F(y^*) = \max_{y \in Y} (\min) F(x, y, z)$

oraz  $y^* = T(x, z)$  dla  $x \in X, z \in Z$ .

**Problem B:**

dane  $y_0 \in Y, Z$

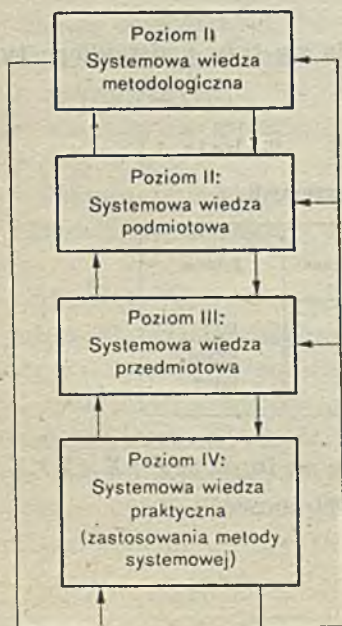
należy znaleźć  $X, T$

aby  $T(x, z) = y_0$

oraz  $\bigwedge_{x,y,z} F(y_0) \geq F(x, y, z)$ .

Powiemy, że problemy A są problemami analizy systemowej, zaś problemy B — syntezy systemowej. Problemami tymi zajmują się dwie dziedziny systemologii, w których odbywa się konkretyzacja ogólnych zasad metodologicznych.

Pierwszą jest analiza systemowa, której celem jest formułowanie i rozwiązywanie rzeczywistych problemów decyzyjnych (problemy A). Drugą natomiast — inżynieria systemów, której celem jest tworzenie racjonalnych (optymalnych) systemów rzeczywistych (problemy B).



1.3. Podstawowe poziomy wiedzy systemowej

Wobec tego powiemy, że systemologia obejmuje cztery poziomy wiedzy systemowej (rys. 1.3):

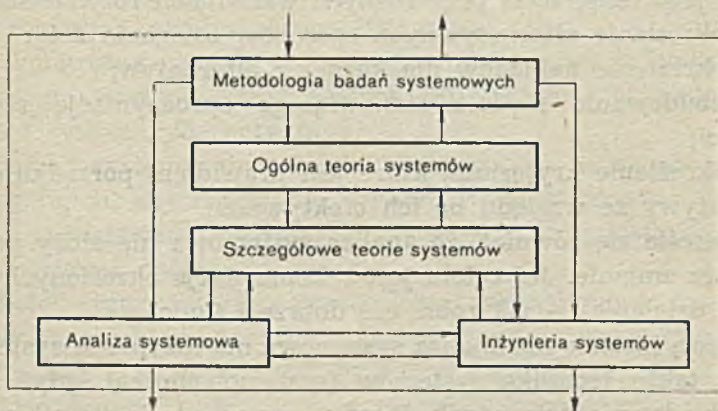
a) poziom wiedzy dotyczącej systemów podmiotowych (pojęciowych);

b) poziom wiedzy dotyczącej systemów przedmiotowych (rzeczywistych);

c) poziom systemowej wiedzy metodologicznej;

d) poziom wiedzy pragmatycznej tworzonej w procesie stosowania metody systemowej do rozwiązywania problemów praktycznych. Dokonując hierarchizacji w obrębie tych poziomów przyjmujemy, że poziom najwyższy zajmuje metodologiczna wiedza systemowa, a najniższy — zastosowania metody systemowej.

Przyjmujemy, że poszczególnym poziomom wiedzy systemowej odpowiadają określone dziedziny — działy systemologii, a mianowicie: (rys. 1.4):



1.4. Struktura systemologii

1) metodologia badań systemowych, w obszarze której bada się całokształt współczesnych naukowych (poznawczych i praktycznych) problemów dotyczących wszelkich obiektów rozpatrywanych jako systemy;

2) ogólna teoria systemów (teoria systemów ogólnych), czyli dziedzina, której przedmiotem są systemy pojęciowe, będące kategoriami podmiotowymi (myślowymi);

3) szczegółowe teorie systemów, czyli obszar wiedzy systemowej obejmujący wszystkie konkretne teorie naukowe, których przedmiotem są systemy rzeczywiste należące do określonych klas obiektów empirycznych;

4) analiza systemowa;

5) inżynieria systemów.

Dużą popularność zyskała analiza systemowa opracowana przez Rand Corporation na zlecenie Departamentu Obrony USA w 1961 r. pierwotnie w postaci tzw. systemu PPB (planowanie — programowanie — budżetowanie). Pierwsze jej zastosowania związane były z wyborem efektywnych wariantów uzbrojenia i w tzw. planowaniu obronnym\*.

Stwierdza się, że klasyczny przebieg analizy systemowej obejmuje następujące etapy:

a) wyjawienie celu, polegające na wskazaniu sposobów mierzenia jego osiągnięcia przy różnych wariantach rozwiązania;

b) określenie alternatywnych sposobów osiągnięcia celu;

c) określenie nakładów dla każdej z alternatyw;

d) zbudowanie modelu stanowiącego aproksymację rzeczywistości;

e) określenie kryterium, które jest prawidłem porządkującym alternatywy ze względu na ich efektywność.

Podkreśla się również, że analiza systemowa nie służy poznaniu, lecz zmianie. Jej celem jest rekomendacja określonych sposobów działania — jak robić coś dobrze i tanio!

Dłuższą historię niż analiza systemowa ma inżynieria systemów zwana także techniką systemów (systemotechniką), gdyż sięga początku lat pięćdziesiątych. Wtedy bowiem w niektórych uczelniach amerykańskich rozpoczęto nauczanie projektowania wielkich systemów technicznych, wykorzystując dotychczasowe, jeszcze „świeże”, doświadczenia cybernetyki, teorii informacji, teorii decyzji i badań operacyjnych. Inżynieria systemów zajmując się racjonalnymi metodami syntezy systemów dostarcza narzędzi projektantom systemów, ale nie tylko systemów technicznych,

\* A. R o g u c k i: *Analiza systemowa w planowaniu obrony*. Wyd. MON, Warszawa 1975 r.

E. Q u a d e: *Analysis for Military Decisions*. Rand Co., Santa Monica 1964 r.

lecz także systemów działania — dowolnych organizacji. Już dziś kształtuje się inżynieria systemów kierowania \*, wiele mówi się o konieczności stworzenia inżynierii systemów działania \*\*. Tę ostatnią wiele łączy z prakseologią. W ogóle związki inżynierii systemów wykazują wiele wspólnego z prakseologiczną nauką o projektowaniu, której podstawy metodologiczne są rozwijane od wielu lat w Polsce. Pomiędzy tymi dziedzinami istnieją określone powiązania, tworzące ogólną strukturę systemologii. Powiązania wynikają z funkcji spełnianych przez dziedziny, tj. uogólnianie, wyjaśnianie, opisywanie, rozwiązywanie, odkrywanie, projektowanie, usprawnianie itp.

Wyjaśnienia wymaga przyjęta klasyfikacja systemów. W klasie systemów pojęciowych (podmiotowych) wyróżnia się dwie grupy obiektów:

a) abstrakcyjne systemy pojęciowe, które są w zasadzie tworami symbolicznymi (np. konstrukcje matematyczne typu: struktura relacyjna, algebra, grupa itp.) oraz

b) konkretne systemy pojęciowe, odpowiadające tylko pewnym rodzajom systemów rzeczywistych (np. system prakseologiczny czy też system cybernetyczny).

Tworząc systemy abstrakcyjne dąży się do uzyskania opisów tak ogólnych, aby mogły być wykorzystane w procesie formalizacji i modelowania dowolnych systemów rzeczywistych na danym poziomie ogólności.

Z kolei, systemy będące przedmiotem szczegółowych teorii systemów są obiektami rzeczywistości społecznej, przyrodniczej lub technicznej. Nie oznacza to, że mamy tu do czynienia z jedną i spójną teorią naukową, lecz raczej z kompleksem pewnych teorii związanych z określonymi klasami systemów rzeczywistych, wykazujących wspólne cechy, wynikające ze stosowania metodologii badań systemowych.

Realizowanie się systemologii odbywa się w pewnej „triadzie”, a mianowicie:

OBSERWACJA —→ GENERALIZACJA —→ APLIKACJA

\* P. Sienkiewicz: *Inżynieria systemów kierowania*. SZW z. 6, WAT 1981 r.

\*\* J. Konieczny: *Inżynieria systemów działania* (w przygot.).

Wydaje się, że szczególnie ważne znaczenie ma tu generalizacja, która realizuje się niejako „dzięki” pojęciu systemu ogólnego.

Dotychczas brak jest pełnej klasyfikacji systemów. Najogólniej możemy przyjąć dwie grupy, a mianowicie: grupę systemów jednorodnych obejmującą systemy fizyczne, techniczne, biologiczne, społeczne i znakowe oraz grupę systemów niejednorodnych obejmującą przede wszystkim tzw. systemy działania. W niniejszej książce koncentrujemy uwagę właśnie na systemach działania. Przyjmijmy więc, że system działania to taki system rzeczywisty, w którym ludzie za pomocą różnorodnych metod i środków (np. systemów technicznych) realizują zamierzone cele działania. Wynika stąd, że do systemów działania zaliczane są zarówno dowolne systemy gospodarcze (ekonomiczne), jak i systemy wojskowe.

Wobec tego system działania to taki obiekt rzeczywisty, który\*:

- realizuje celowe działanie;
- może być współużyteczny z innymi systemami;
- może składać się z innych systemów;
- stwarza warunki działania sobie i innym systemom, będąc zabezpieczony tak przez siebie, jak i inne systemy;
- może zmieniać i doskonalić się, czyli jest systemem rozwijającym się;
- trwa w czasie i ma skończoną trwałość;
- zużywa się i wymaga odnowy itp.

Niewątpliwie systemy działania, które stanowią również przedmiot zainteresowania cybernetyki i prakseologii, są tymi obiektami badań, które wymagają szczególnie złożonych narzędzi badawczych\*\*. Istnieje także największe zapotrzebowanie społeczne na efektywne wyniki badań naukowych w tej dziedzinie.

Reasumując sformułujemy ogólne wnioski i postulaty dotyczące systemologii:

1. Systemologia jest sposobem obserwacji rzeczywistości.
2. Systemologia staje się dziedziną wiedzy naukowej.

\* J. Konieczny, *Myślenie systemowe*. Prakseologia, nr 3 (79), 1981 r.

\*\* P. Sienkiewicz: *Uogólniony model sterowania w systemach działania*. Postępy Cybernetyki, nr 1, 1978 r.



3. Systemologia jest wyrazem integracyjnych przemian wewnętrznych w nauce współczesnej.

4. Systemologia jest wyrazem zmiany myślenia redukcyjno-kausalnego w myślenie strukturalno-nomologiczne.

5. Przedmiotem systemologii są obiekty rzeczywiste i pojęciowe, będące obiektami zintegrowanymi, czyli strukturalnie koniecznymi (tj. istnieją prawa wyjaśniające powstawanie struktur tych obiektów).

6. Systemologia bada zjawiska powstawania, przemian i rozwoju systemów rzeczywistych i pojęciowych.

7. Metodą systemologii jest metoda systemowa będąca konkretyzacją ogólnych zasad metodologii badań systemowych.

8. Język systemologii jest językiem, którego aparat pojęciowy redukuje się do specyficznych terminów systemowych oraz terminów formalnych (logicznych i matematycznych).

9. Systemologia jest dziedziną empiryczną i formalną zarazem.

10. Systemologia stanowi wyraz funkcjonowania w nauce współczesnej paradygmatu systemowego.

#### 4. Modelowanie systemowe

Charakterystyczne dla badań w systemologii są następujące rodzaje działań poznawczych:

a) obserwacja danego systemu rzeczywistego;

b) konceptualizacja, czyli tworzenie przestrzeni istotnych cech systemu;

c) idealizacja, czyli określanie związków pomiędzy głównymi z istotnych cech systemu;

d) konkretyzacja, czyli uwzględnianie podczas określania związków pomiędzy istotnymi cechami systemu kolejnych cech ubocznych;

e) weryfikacja, czyli logiczne i empiryczne sprawdzanie systemowych praw (związków pomiędzy istotnymi cechami systemu, formuł pozwalających określać cechy systemowe itp.);

f) preparacja, czyli podjęcie działań praktycznych (na bazie

przyjętego repertuaru zasad metodologicznych) prowadzących do zaspokojenia konkretnych potrzeb społecznych.

W działaniach tych mamy, na ogół, do czynienia z podstawowym współczesnym narzędziem badawczym, jakim jest modelowanie, czyli odwzorowanie w określonym języku badanego fragmentu rzeczywistości. Model jest zatem przedmiotem złożonym (także abstrakcyjnym) odwzorowującym do celów poznawczych lub praktycznych bardziej od niego złożony istniejący (lub projektowany) obiekt rzeczywisty. Powiemy więc, że model to „... taki dający się pomyśleć lub materialnie zrealizować układ, który odzwierciedlając lub odtwarzając przedmiot badania, zdolny jest zastępować go tak, że jego badanie dostarcza nam nowej informacji o tym przedmiocie”\*. W systemologii uwaga koncentruje się niemal wyłącznie na modelowaniu matematycznym. Nie można jednak zapominać, że „Aby zbadać jakiś problem fizyczny, matematyka najpierw idealizuje go, a przez to oddala się od świata fizycznego, a następnie podaje rozwiązanie. Matematyka w swej skłonności do idealizowania nie dostrzega niektórych pięknych cech świata fizycznego, ale takie już są jej sposoby działania”\*\*.

Analizując wykorzystywane w badaniach systemowych modele stosuje się najczęściej dwa podstawowe rodzaje kryteriów naukowych:

— kryteria zgodności modelu z mniej lub bardziej arbitralnie wybranym fragmentem rzeczywistości;

— kryteria wewnętrznej poprawności logicznej modelu.

Oba wymagania spełniane są raczej rzadko, natomiast preferowanie pierwszego kryterium prowadzi do tworzenia teorii o orientacji przedmiotowej, a drugiego kryterium — do teorii zorientowanej modelowo. Istnieje jeszcze trzecia możliwość, tj. tworzenie teorii zorientowanej podmiotowo, czyli dostosowywanej do możliwości i kwalifikacji jej twórcy\*\*\*.

Ogólnie modele można podzielić na pewne grupy ze względu

\* W. Stoff: *Modelowanie i filozofia*. PWN, Warszawa 1971 r.

\*\* R. Kline: *Matematyka a świat fizyczny*. PWN, Warszawa 1961 r.

\*\*\* J. L. Kulikowski: *Zastosowanie nieklasycznych modeli logicznych w badaniach operacyjnych*. [W:] *Współczesne problemy zarządzania*. PWN, Warszawa 1974 r.

na ich przeznaczenie, formę przekazu i przydatność praktyczną. Ze względu na przeznaczenie celowe jest wyróżnienie:

— modeli badawczych, związanych z tzw. eksplancyjną funkcją nauki, służących do „wydobywania” nowych informacji z badanej rzeczywistości;

— modeli „pragmatycznych”, będących narzędziem, np. decydenta, który przy ich pomocy może sterująco oddziaływać na rzeczywistość.

Ze względu na stosowany język (formę przekazu) wyróżnia się modele: opisowe, formalne (logiczne) i matematyczne. Wreszcie ze względu na przydatność modeli wyróżnia się:

— modele zjawiskowe, pozwalające na precyzyjne wyrażenie sensu zjawisk będących ich przedmiotem;

— modele ocenowe, pozwalające na formułowanie ocen, czyli wypowiedzi wartościujących, wyrażających aprobatę lub dezaprobatę dla stanu przedmiotu badań;

— modele decyzyjne, pozwalające na podejmowanie na ich podstawie decyzji związanych z przyszłym działaniem.

Można także wyróżnić modele systemów wyrażające aspekt badań, tj. ten przejaw istnienia systemu, na którym została skoncentrowana uwaga. Mogą to być:

— morfologia (struktura, budowa) systemu,

— funkcjonowanie (zachowanie, działanie) systemu,

— rozwój (ewolucja, przemiany) systemu\*.

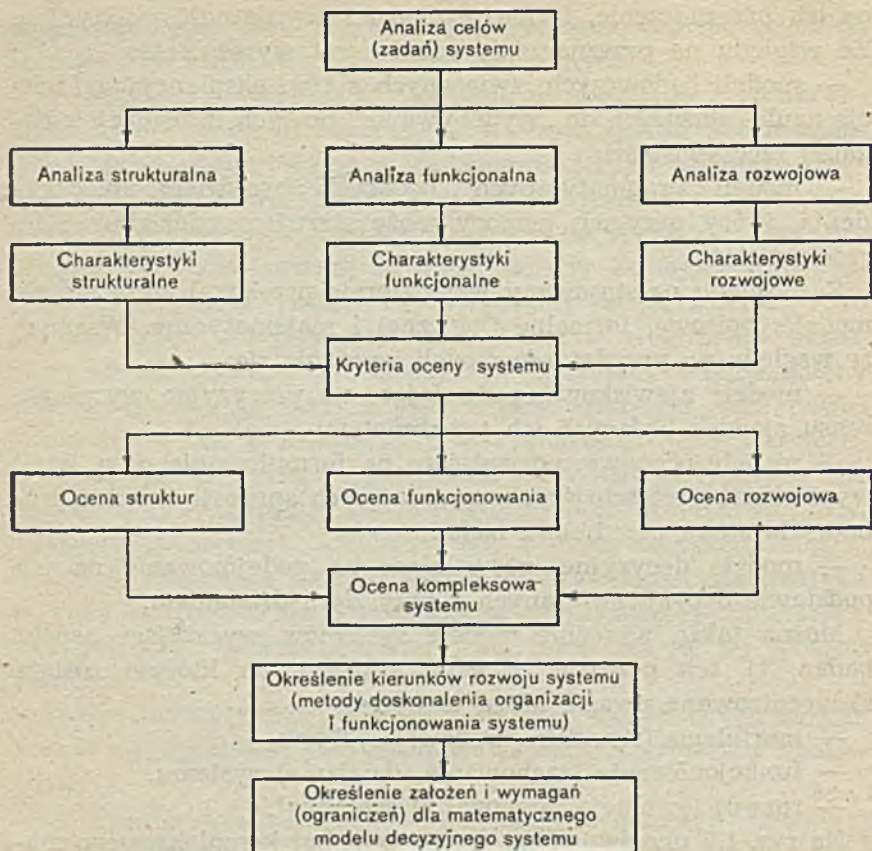
Na rys. 1.5 przedstawiono ogólny schemat kompleksowego modelowania systemowego.

Przejdźmy do prezentacji zasad modelowania systemowego, analizując konkretne przykłady matematycznego opisu systemów, najczęściej spotykane w literaturze.

W pierwszej kolejności rozpatrzmy tzw. system abstrakcyjny, który definiowany jest jako para  $\langle M, R \rangle$ , składająca się ze zbioru  $M$  i ciągu  $R$  określonego jako relacja w zbiorze  $M$ . Zwróćmy uwagę na następujące wnioski wynikające z tej definicji:

— w definicji nic nie mówi się o naturze elementów, ani relacji (sens ten może być zresztą różnoraki);

\* Odpowiadające tym aspektom badań modele (opisy) systemów zostały dokładnie przedstawione w pracy: P. Sienkiewicz: *Teoria efektywności...*, T. 1, wyd. cyt.



1.5. Ogólny schemat kompleksowego modelowania systemowego

— system zdefiniowany jest jako para, a nie jako zbiór, zatem struktura jest ciągiem relacji, a nie zbiorem;

— definicja dopuszcza istnienie systemu „bez struktury”  $\langle M, \Phi \rangle$  oraz systemu „pustego”  $\langle \Phi, \Phi \rangle$  (są to systemy „niewłaściwe”);

— takie ujęcie systemu jest szczególnym przypadkiem bardzo ogólnego pojęcia — algebry, czyli trójki uporządkowanej  $\langle M, \varrho, \sigma \rangle$ , gdzie  $\varrho$  — ciąg operacji na zbiorze  $M$ ,  $\sigma$  — ciąg relacji określonych w zbiorze  $M$ ; jeśli  $\varrho = \Phi$ , to następuje algebra relacji, która pokrywa się z pojęciem systemu.

Rozpatrzmy obecnie pojęcie systemu skończonego\* jako parę uporządkowaną  $S = \langle M, R \rangle$ , w której

$$M = \{M_1, M_2, \dots, M_i, \dots, M_N\}$$

oznacza skończony zbiór elementów  $M_i$ ,  $i \in \overline{\{1, N\}}$ ,  $N = 2, 3, \dots$ , natomiast

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_j, \dots, R_J\}$$

oznacza skończoną ( $J$ -elementową) klasę relacji  $R$ , określonych na zbiorze  $M$ , przy czym  $J \in \overline{\{1, 2^{2^N}\}}$ .

Określenie to można uogólnić na systemy przeliczalne.

Założmy, że każdy element systemu  $M_i$ ,  $i = 1, \dots, N$ , charakteryzuje zbiór cech  $X_i$ . Wtedy system możemy opisać za pomocą relacji  $\bar{S}$ , takiej że

$$\bar{S} \subset X_1 \times X_2 \times \dots \times X_i \times \dots \times X_N$$

Rozpatrzmy przykład:

$$S = \{M_1, M_2, M_3; R_1, R_2\}, \quad R_1 \subset X_1 \times X_2, \quad R_2 \subset X_2 \times X_3,$$

a, więc system można także opisać jako relację

$$\bar{S} \subset X_1 \times X_2 \times X_3$$

W takim przypadku relacje  $R_1, R_2$  określa się za pomocą operacji rzutowania z relacji  $\bar{S}$ , czyli  $R_1 = \text{Pr}_{X_1 \cdot X_2} \bar{S}$ ,  $R_2 = \text{Pr}_{X_2 \cdot X_3} \bar{S}$ , gdzie

Pr oznacza operację rzutowania\*\*.

Z powyższego wynika, że  $S \equiv \bar{S}$ , czyli „teoriomnogościowy” opis systemu równoważny jest opisowi „relacyjnemu”.

Po tych wyjaśnieniach przystąpimy do przedstawienia opisu systemu proponowanego przez M. Mesaroviča\*\*\*. Punktem wyjścia jest pojęcie ogólnego systemu jako relacji między abstrakcyjnymi zbiorami

\* J. L. Kulikowski, wyd. cyt.

\*\* K. Kuratowski: *Wstęp do teorii mnogości i topologii*. PWN, Warszawa 1968 r.

\*\*\* M. Mesarovič: *Rozwój matematycznej teorii systemów ogólnych*. Prakseologia, nr 2 (46), 1973 r.

$$S \subset X \{K_i; i \in I\} \text{ lub } S \subset K_1 \times \dots \times K_N,$$

gdzie  $N = \text{card } I$ .

Ujęcie Mesaroviča łączy dwie koncepcje opisu systemów: koncepcję wejścia-wyjścia (przyczyna-skutek, bodziec-reakcja) oraz koncepcję opartą o poszukiwanie celu (decyzyjna, teleologiczna). Niech dane będą: wejścia (bodźce)  $X = \times \{K_i; i \in I_x\}$  i wyjścia (reakcje)  $Y = \times \{K_i; i \in I_y\}$ , gdzie  $I_x \cup I_y = I$ . System jest zatem relacją  $S \subset X \times Y$ .

Para  $(x, y) \in X \times Y$  należy do systemu  $S \subset X \times Y$  wtedy i tylko wtedy, gdy  $y$  jest rozwiązaniem zadania, którego konkretyzacja następuje po określeniu wartości zmiennej  $x$ . Funkcjonalne określenie systemu  $S$  podaje, że  $S: X \rightarrow Y$ , czyli można uważać, że system zawiera „algorytm” przechodzenia z  $x$  na  $y$ .

Założmy, że oprócz zbiorów  $X$  i  $Y$  dane są: zbiór decyzji  $D$  i zbiór wyników  $V$ , a ponadto: funkcja procesu

$$P: X \times D \rightarrow Y$$

i funkcja realizacji (efektywności)

$$G: D \times Y \rightarrow V$$

Niech  $V$  będzie takie, że każdy podzbiór ma minimum. Wtedy, dla każdego  $x \in X$  i  $y \in Y$ ,  $(x, y) \in S$  wtedy i tylko wtedy, gdy istnieje  $d^* \in D$  takie, że dla każdego  $d \in D$

$$G[d^*, P(x, d^*)] \leq G[d, P(x, d)]$$

$$\text{oraz } y = P(x, d^*).$$

W tym przypadku możemy powiedzieć, że celem systemu jest minimalizacja funkcji  $G$ .

Z ujęcia Mesaroviča wynika, że w zasadzie każdy system może zostać opisany jako system we-wy lub jako system celowy. W tym należy upatrywać możliwości pogodzenia wielu sprzecznych koncepcji, takich jak np. behawioryzm Skinnera \*, czy strukturalizm Chomsky'ego \*\*.

Teoria systemów ogólnych w ujęciu Mesaroviča stanowi z pew-

\* Np. B. Skinner: *Poza godnością i wolnością*. PIW, Warszawa 1976 r.

\*\* Np. *Lingwistyka a filozofia. Współczesny spór o filozoficzne założenia teorii języka*. PWN, Warszawa 1977 r.

nością najbardziej rozwiniętą, w sensie matematycznym, koncepcję systemową\*. Mesarovič wykazał, że każdy tzw. ogólny system czasowy  $S \subset A^T \times B^T$ , gdzie  $A$  i  $B$  są zbiorami abstrakcyjnymi traktowanymi jako alfabet, a  $T$  — liniowo uporządkowany zbiór czasowy, może być przedstawiony jako system dynamiczny.

System dynamiczny\*\* stanowi zbiór wzajemnie powiązanych elementów spełniających następujące warunki:

a) dane są: zbiór chwil czasu  $T$ , zbiór stanów systemu  $X$ , zbiór chwilowych wartości sygnałów wejściowych  $U$  oraz zbiór ich dopuszczalnych wartości

$$\Omega = \{\omega : T \rightarrow U\}$$

zbiór chwilowych wartości wielkości wyjściowych  $Y$  i zbiór ich dopuszczalnych wartości

$$\Gamma = \{\eta : T \times X \rightarrow Y\}$$

b) zbiór  $T$  jest pewnym uporządkowanym podzbiorem zbioru liczb rzeczywistych  $T \subset R$ ;

c) zbiór sygnałów wejściowych spełnia warunki:

— zbiór  $\Omega \neq \Phi$ ,

— sygnały wejściowe  $\omega$  na odcinku  $(t_1, t_3)$  mają własność: jeśli  $\omega_1, \omega_2, \omega_3 \in \Omega$  oraz  $t_1 < t_2 < t_3 \in T$ , to

$$\omega_3 = \omega_1 \quad \text{dla} \quad t_1 < t \leq t_2,$$

$$\omega_3 = \omega_2 \quad \text{dla} \quad t_2 < t \leq t_3;$$

d) istnieje funkcja przejścia stanów

$$\Phi = \{\varphi : T \times T \times X \times \Omega \rightarrow X\},$$

której wartościami są stany systemu

$$x(t) = \varphi[t; t_0, x(t_0), \omega] \in X;$$

e) dane jest przekształcenie wyjściowe

\* Zob. M. Mesarovič, Y. Takahara: *General Systems Theory: Mathematical Foundations*. Academic Press, New York 1975 r.

\*\* R. Kalman, P. Falb, A. Arbib: *Topics in mathematical control theory*. New York 1969 r.

$$\Gamma = \{\eta : T \times X \rightarrow Y\}$$

określające wartości wyjściowych wielkości systemu

$$y = \eta[t; x(t)] \in Y$$

System dynamiczny definiowany jest więc jako „ósemka”

$$S_D = \langle X, U, Y, T; \Omega, \Gamma, \varphi, \eta \rangle$$

W zagadnieniach sterowania optymalnego\* wykorzystywane jest pojęcie systemu liniowego, definiowanego jako zespół trzech rzeczywistych przestrzeni Banacha  $X, Y, Z$  i dwu operatorów liniowych ciągłych: operatora  $A$  odwzorowującego przestrzeń  $X$  w przestrzeń  $Z$  i operatora  $B$  odwzorowującego przestrzeń  $Z$  w przestrzeń  $Y$ , czyli

$$S_L = (X, Y, Z; A, B)$$

gdzie  $X$  — przestrzeń wejść,  $A$  — operator wejścia,  $Y$  — przestrzeń wyjść,  $B$  — operator wyjścia,  $Z$  — przestrzeń przebiegów (stanów, trajektorii).

Załóżmy, że dane są  $V \subset X \times Z \times Y$  i niech  $F$  będzie funkcjonalem ciągłym określonym na  $V$ .

Zagadnienie optymalizacji polega na wyznaczeniu takiego elementu

$$v_0 = (X_0, Z_0, Y_0) \in V, \text{ aby } A(x_0) = Z_0, B(Z_0) = y_0 \text{ oraz} \\ F(v_0) = \inf \{F(u) : u = (x, z, y) \in V, Ax = z, Bz = y\}$$

Uzupełniając powyższe informacje, dodajmy, że znacznie szersza niż klasa modeli liniowych jest klasa modeli nieliniowych, czyli takich, dla których nie obowiązuje zasada superpozycji i jednorodności. Najprostsze systemy nieliniowe można opisać tzw. operatorem Niemyckiego

$$y(t) = F[x(t), t],$$

w którym  $F(x, t)$  — dana funkcja ciągła względem  $x$  dla prawie wszystkich  $t$  oraz mierzalna względem  $t$  dla wszystkich wartości  $x$ .

\* S. Rolewicz: *Analiza funkcjonalna i teoria sterowania*, WNT, Warszawa 1974 r.



Rozpatrując wybrane podstawowe modele systemów ogólnych nie można zapomnieć o takich pojęciach, jak: system rozmyty (opis w konwencji teorii zbiorów rozmytych), system probabilistyczny (opis w konwencji teorii prawdopodobieństwa), system zdarzeniowy lub tzw. cybernetyczny system izolowany (według J. Jaronia) itp.

Powyżej dokonaliśmy krótkiego przeglądu zasadniczych matematycznych modeli systemów określanых niekiedy mianem analitycznych lub normatywnych. Przyjmuje się, że model\*:

- a) umożliwi badaczowi sprawdzenie swoich teoretycznych przekonań o systemie, dokonanie na nim empirycznych obserwacji oraz wyciągnięcie z tych poczynań logicznych wniosków,
- b) ułatwia zrozumienie systemu,
- c) skłania do prowadzenia w przyszłości badań szczegółowych,
- d) przyspiesza wykonanie analizy,
- e) określa metody testowania pożądanych modyfikacji systemu,
- f) pozwala, w porównaniu z rzeczywistym systemem, na łatwiejsze manipulowanie sobą,
- g) umożliwi prowadzenie kontroli o wiele większej liczby źródeł zmienności, niż byłoby to możliwe przy bezpośrednim badaniu systemu,
- h) jest, ogólnie rzecz biorąc, mniej kosztowny.

Zdarza się jednak, że potrzeba szczegółowego odwzorowania zachowania się systemu rzeczywistego czyni z matematycznego (analitycznego) modelu systemu czystą abstrakcją. W takich sytuacjach jedyną racjonalną metodą badania systemu jest symulacja komputerowa.

Przez symulację systemów rozumie się czynność przedstawiania systemu za pomocą modelu symbolicznego, którym można łatwo operować i na podstawie którego otrzymuje się wyniki numeryczne. Komputerowy model symulacyjny jest logiczno-matematycznym przedstawieniem systemu lub działań zaprogramowanym w celu rozwiązania problemu za pomocą maszyny cyfrowej.

\* G. Fishman: *Symulacja komputerowa. Pojęcia i metody*. PWE, Warszawa 1981 r.

Dotychczas zastosowania symulacji komputerowej związane były przede wszystkim z problemami wojskowymi, takimi jak gry wojenne, analiza systemów militarnych i badanie działań wojskowych (walki, operacji). Z pewnością zakres tych zastosowań wzrośnie wraz z rozwojem narzędzi modelowania systemowego. Już obecnie przyniósł on tak efektywne narzędzie, jak gry komputerowe (symulacyjne), np. tzw. komputerowe gry wojenne.

Wobec tego, jeden z podstawowych dylematów modelowania systemowego można sformułować następująco: symulować czy nie symulować? Oznacza to, że należy odpowiedzieć na pytanie: czy rozważany problem systemowy może być rozwiązany analitycznie? Jeśli nie jest to możliwe, to należy opracować model symulacyjny, pozwalający na badanie systemu, np. za pomocą metod cyfrowej symulacji zdarzeń dyskretnych. Do innych podstawowych problemów związanych z symulacyjnym badaniem systemów należą:

- wybór języka programowania i zaprogramowanie modelu,
- analiza danych wejściowych,
- wybór generatora liczb pseudolosowych,
- zaplanowanie eksperymentu,
- wybór metody analizy danych wyjściowych oraz ich prezentacji.

Szczególnie wiele dylematów związanych z modelowaniem systemowym występuje w przypadku badania systemów działania. Wynika to z charakteru działania rozumianego jako takie oddziaływanie, które zmierza do określonego celu z zachowaniem przez system poczucia, że ma swobodę wyboru celu i sposobu jego osiągnięcia\*. Tę ludzką „wolność do wyboru” we wszelkim działaniu wraz z różnorodnymi jego uwarunkowaniami „poza-ludzkimi” należy z pewnością uznać za czynnik zmniejszający stopień adekwatności znanych nam modeli systemów działania, a tym samym zakres ich praktycznego zastosowania. Z powyższym zagadnieniem wiąże się ten aspekt modelowania systemo-

\* J. Zieleniewski: *Podstawowe pojęcia teorii systemów, organizacji, sterowania i zarządzania (Próba systematyzacji pojęć i założeń)*. [W:] *Współczesne problemy zarządzania*, wyd. cyt.

wego, który można określić jako „prognostyczną” funkcję modelu. W związku z tym warto przytoczyć pewne wyróżnienie stopnia spełniania tej funkcji przez modele\*:

„A. Pełna przewidywalność możliwa jest wyłącznie w odniesieniu do zjawisk, które charakteryzują się nieobecnością ludzkiej wolności, a zatem ograniczona jest do sfery pozaludzkiej. Ograniczenia przewidywalności wynikają w tych warunkach jedynie z niedostatków wiedzy i techniki.

B. Względna przewidywalność charakteryzuje sferę zachowań wielkich grup ludzkich. Zachowania te nazwać można normalnymi.

C. Względnie pełna przewidywalność możliwa jest w odniesieniu do działań ludzkich kontrolowanych z góry ustalonym i eliminującym swobodę planem, na przykład w dziedzinie komunikacji kolejowej.

D. Całkowicie nieprzewidywalne są jedynie indywidualne decyzje jednostek”.

Ograniczona przewidywalność stanowi immanentną cechę każdego systemu działania. Powoduje to konieczność takiego doboru języka i narzędzi modelowania systemowego, aby na tę naturalną cechę działania nie „nakładały się” dodatkowo ograniczenia będące z kolei cechą samego modelu. Jest to zagadnienie adekwatności modeli systemów, czyli zgodności opisu systemów z ich rzeczywistym stanem. Ocena adekwatności modelu polega na opracowaniu reguły, która w oparciu o wyniki eksperymentów na badanym systemie rzeczywistym lub sprawdzonych modelach i wyniki uzyskane na podstawie modelu pozwala na wypowiedź wartościującą, wyrażającą aprobatę lub dezaprobatę dla modelu, z punktu widzenia przyjętego kryterium adekwatności modelu i badanej rzeczywistości\*\*.

Obecnie przedstawimy dwa szczególne modele, z rozwojem których należy wiązać duże nadzieje na rozwiązanie niektórych istniejących obecnie dylematów modelowania systemowego.

\* E. F. Schumacher: *Małe jest piękne*. PIW, Warszawa 1981 r.

\*\* Zob. także E. Kołodziński, T. Pietkiewicz: *Adekwatność modeli symulacyjnych*. *Postępy Cybernetyki*, nr 2, 1978 r.

## A. Gra jako model działania

We współczesnej matematyce gra rozumiana jest jako matematyczny model konfliktu. Podstawową cechą rozpatrywanych zagadnień jest fakt, że podjęte w nich decyzje sprowadzają się do decyzji uczestników gry dążących do rozmaitych, nierzadko antagonistycznych celów. Najogólniej zakłada się, że w grze musi uczestniczyć co najmniej dwóch partnerów, a każdy z nich musi mieć co najmniej dwie możliwe decyzje, zwane strategiami. Z każdą decyzją uczestników gry związana jest wartość tzw. funkcji wypłaty, będąca niejako miarą uzyskanych korzyści. Oznacza to, że uczestnicy gry posiadają określone preferencje w stosunku do możliwych wyników gry, które mogą być zmierzone z pewną wymaganą ścisłością.

Ogólnie grę przedstawimy w następującej postaci

$$\Gamma = \{ \mathcal{N}; S_n, H_n, n \in \mathcal{N} \}$$

gdzie:  $\mathcal{N}$  — zbiór uczestników gry,

$S_n$  — zbiór strategii  $n$ -tego uczestnika,

$H_n$  — funkcja wypłaty  $n$ -tego uczestnika.

Ze względu na charakter elementów gry wyróżnia się gry dwuosobowe i gry wieloosobowe, gry skończone oraz gry nieskończone, gry ze stałą sumą wypłat, w tym z sumą zerową, i gry z niestałą sumą wypłat, a ponadto — gry kooperacyjne (istnieje wymiana informacji pomiędzy uczestnikami) i gry niekooperacyjne.

Najbardziej rozwiniętą jest, z pewnością, teoria gier dwuosobowych, skończonych, macierzowych z sumą zerową. Dla gier tych zostały określone warunki istnienia strategii optymalnych (twierdzenie J. von Neumanna)\*.

Rozpatrzmy znany przykład, wzięty z II wojny światowej\*\*. Podczas walk o Nową Gwineę wywiad doniósł, że Japończycy chcą skierować konwój wojska i dostaw do Lae, która leży dokładnie na zachód od Nowej Brytanii w Nowej Gwinei. Konwój ten można było skierować albo na północ od Nowej Brytanii,

\* Np. M. Dresher: *Gry strategiczne. Teoria i zastosowania*. Wyd. MON, Warszawa 1968 r.

\*\* R. D. Luce, H. Raiffa: *Gry i decyzje*. PWN, Warszawa 1964 r.

gdzie zła widoczność była prawie pewna, albo na południe wyspy, gdzie pogoda powinna być dobra. W obu przypadkach podróż trwałaby trzy dni. Gen. Kenney miał do wyboru skoncentrowanie większości swych samolotów albo na jednej trasie, albo na drugiej. W przypadku wykrycia konwoju można by rozpocząć bombardowanie go przed przybyciem do Lae. W tabeli 1.2 podano wyniki oszacowane przez sztab Kenneya (w dniach możliwości bombardowania dla różnych wyborów).

Tabela 1.2

	Trasa północna	Trasa południowa
Strategie Kenneya:	2	2
Trasa północna	1	3
Trasa południowa		

Można zauważyć, że istnieje jeden punkt równowagi (trasa północna, trasa północna), który daje dwa dni możliwości bombardowania. Właśnie tak postąpiono: konwój wykryto w drugim dniu, a Japończycy ponieśli znaczne straty. Jednakże wybór dokonany przez Japończyków był rozsądny w tym sensie, że strategia wyboru trasy północnej była co najmniej tak dobra, jak strategia wyboru trasy południowej w stosunku do obu strategii amerykańskich.

W ujęciu działania w sensie teorii gier duże trudności przynosi określenie strategii partnera. N. Wiener analizuje następujący przykład\*: „Gdy Napoleon walczył we Włoszech z Austriakami, sukces swój zawdzięczał częściowo swemu przekonaniu, że Austriacy ograniczają się jedynie do starych, tradycyjnych metod wojennych. Miał on pełne podstawy do założenia, że Austriacy nie są zdolni do stosowania nowych metod strategii wojennej, wprowadzonych przez żołnierzy francuskiej rewolucji, a wymagających energicznych działań”. Na podstawie tego przykładu, Wiener wyciągnął wniosek o sprzeczności, jaka istnieje między podejściem teorii gier (konieczność rozpatrywania wszystkich

\* N. Worobiew, E. Kofler, H. Greniewski: *Strategia gier*. KiW, Warszawa 1969 r.

możliwych działań przeciwnika) a praktyką Napoleona (ignorowanie niektórych działań i wykorzystywanie błędów przeciwnika).

Wydaje się, że jest to sprzeczność pozorna, zaś z pewnością największe trudności wiążą się z koniecznością ilościowego przedstawienia wyników gry. W wielu przypadkach należy zrezygnować z tezy o możliwości mierzenia dowolnej wielkości z dowolnie z góry zadaną dużą dokładnością. N. Worobiew rozpatrując ten problem przypomina fundamentalną dla współczesnej nauki zasadę nieoznaczoności Heisenberga oraz jej implikacje filozoficzne i metodologiczne. Wynika z nich, że nieoznaczoność jest w nie mniejszym stopniu cechą zjawisk społecznych niż zjawisk fizycznych. W szczególności oznacza to konieczność analizy działań w kategoriach probabilistycznych.

Teoria gier dostarcza ścisłych metod rozwiązywania wielu problemów decyzyjnych związanych z podejmowaniem decyzji w sytuacjach ryzykownych i konfliktowych. Dostarcza matematycznych narzędzi dla analizy systemowej organicznych cech systemów działania.

Gra może jednak stanowić pewien „mikroparadygmat” dla badań organizacji, zachowań organizacyjnych, a także takich działań, jak: kierowanie (dowodzenie) i projektowanie systemów\*. W tym sensie grami określać będziemy model działania, który charakteryzują, między innymi, następujące cechy:

- a) uczestnikami gier są ludzie realizujący zmieniające się cele i wykazujący zmienne preferencje;
- b) pomiędzy uczestnikami gier, a także pomiędzy nimi a otoczeniem systemu zachodzą różnorodne związki i oddziaływania (interakcje);
- c) każda gra musi mieć sprecyzowany cel;
- d) każda gra ma pewną dramaturgię i określone reguły, które mogą być jednak łamane w trakcie gry;
- e) gra musi mieć zasady określania wartości wyników działania;

\* P. Sienkiewicz: *Koncepcje growe w projektowaniu informatycznych systemów zarządzania*. Materiały konferencji „INFOGRYF-80”. Szczecin 1980 r.

- f) uczestników gry mogą cechować określone motywacje, emocje i niekiedy pozornie irracjonalne zachowania;
- g) uczestnicy mogą tworzyć koalicje;
- h) każda gra powinna być realistyczna i wiarygodna.

Gra jako model działania pozwala więc na uwzględnienie tych cech, które w tradycyjnym ujęciu mogą być pomijane lub ich znaczenie „łagodzone”. Ujęcie to umożliwia także racjonalne sterowanie konfliktami, np. usuwanie powstawania przyczyn, dzięki czemu mogą zostać stworzone warunki dla właściwej realizacji przyjętych strategii rozwojowych rzeczywistych systemów działania\*.

Przykładem racjonalnego ujęcia działania w kategoriach gry o sumie niezerowej może być tzw. gra „zapotrzebowanie — przydział”, której uczestnicy zgłaszają zapotrzebowanie lub realizują przydział określonych środków działania. W grze tej przyczyną konfliktu może być nieznanomość rzeczywistych potrzeb i (lub) niemożliwość pokrycia wszystkich potrzeb.

Do innych przykładów growego ujęcia działania powrócimy w dalszej części książki.

## B. „Katastrofa” jako model działania

Od chwili powstania teorii katastrof, opracowanej przez francuskiego matematyka R. Thoma, towarzyszą jej duże nadzieje związane z możliwością rozwiązania problemów, dla których dotychczasowe metody matematyczne raczej zawodzą. Chodzi przede wszystkim o takie dziedziny, jak nauki polityczne, ekonomia, biologia, socjologia\*\*. Teoria katastrof nosi także znamiona pewnej szczególnej teorii systemów. Zwraca się także uwagę na to, że teoria katastrof obejmuje tzw. elementarną teorię katastrof oraz uogólnioną teorię katastrof\*\*\*. Teoria ta dostarcza pewnego

\* A. Koźmiński, A. Zawiślak: *Pewność i gra*. Wstęp do teorii zachowań organizacyjnych. PWE, Warszawa 1979 r.

\*\* T. Poston, I. Stewart: *Catastrophe Theory and Its Applications*. Pitman, 1978 r. (tłum. na j. rosyjski, 1980 r.).

\*\*\* K. Tchóń: *Elementarne wprowadzenie w teorię katastrof*. *Prakseologia*, nr 3 (79), 1981 r.

nowego spojrzenia na wytłumaczenie, w jaki sposób nieciągłość może powstać w wyniku przyczyn zmieniających się w sposób ciągły, np. runięcie mostu lub spaczenie belki, nagłe zadziałanie komórki nerwowej lub różnicowanie się tkanek w rozwoju embrionalnym, nagła utrata samokontroli lub wystąpienie zaburzeń nerwowych, załamanie się rynku lub wybuch buntu itp. Można zatem powiedzieć, że mamy tu do czynienia z nowym „mikroparadygmatem”.

Katastrofa jest zdarzeniem polegającym na gwałtownej (skokowej) zmianie stanu systemu lub sposobu działania, wywołanej przez małą (ciągłą) zmianę parametrów systemu. W modelu polityki wojennej Zeemana \* katastrofą jest wypowiedzenie wojny. W modelu ekonomicznym „katastrofą” może być nagła zmiana struktury produkcji lub inwestycji. Teoria katastrof opierająca się na pojęciu nieciągłości własności jakościowych pozwala wnioskować o morfologii systemów. Ogólna zależność między przyczynami i skutkami jest rezultatem akumulacji wielu lokalnych przemian katastroficznych, dających się wyrazić prostymi zależnościami funkcyjnymi.

Dla prostego przypadku zachowanie systemu określające stan systemu oznaczają zmienne endogeniczne  $x \in R^1$ , a sterowanie — zmienne egzogeniczne  $c \in R^2$ . W każdym punkcie  $m \in R^2 \times R^1$  jest określona pewna ciągła i różniczkowalna funkcja  $f: R^2 \times R^1 \rightarrow R$  zwana funkcją potencjału, która określa zachowanie się systemu w ten sposób, że system osiąga równowagę w punktach ekstremalnych funkcji  $f$ . System wytracony ze stanu równowagi, na skutek procesów homeostatycznych, będzie dążył z powrotem do stanu równowagi zajmowanego przed zaburzeniami. Sterowanie poprzez określenie zmiennych egzogenicznych oddziałuje na zachowanie się systemu dzięki modyfikacji jego funkcji potencjału \*\*.

Teorię katastrof należy z pewnością uznać za jedną z najbardziej twórczych propozycji teoretycznych ostatniego dziesięciolecia o istotnych implikacjach filozoficznych. Wyrażają się one

\* E. C. Zeeman: *Catastrophe Theory*. Addison — Wesley 1977 r.

\*\* J. Zużyński: *Nieciągłość i dywergencja systemów w ujęciu teorii katastrof*. Organizacja i Kierowanie, nr 1 (7), 1977 r.



w próbie pogodzenia dwóch pozornie przeciwstawnych zasad: zasady Leibniza (jeżeli gdzieś parametry ilościowe układu są zależne, to zależność ta jest ciągła) oraz zasady dialektycznej (przejścia skokowe są prawidłowością rozwoju). Pozwala to na nowy sposób spojrzenia na problemy samoregulacji i homeostazy w otaczającym nas świecie\*.

## 5. Zakończenie

Rozwój metodologii badań systemowych wywiera coraz większy wpływ na rozwój metodologicznych podstaw teorii i praktyki systemów wojskowych\*\*. Systemologia proponując ogólne zasady badania dowolnych złożonych obiektów oraz metody ich analizy, syntezy i oceny staje się szczególnie użyteczna w rozwiązywaniu problemów: sterowania rozwojem systemów sił zbrojnych, tworzenia racjonalnych systemów dowodzenia i kierowania ogniem, syntezy systemów „człowiek — technika wojskowa”, komputero- wego wspomaganie planowania działań i operacji, modelowania procesów i systemów walki itp. Szczególną uwagę zwracają takie zagadnienia, jak:

- systemowe ujęcie rozwoju sił zbrojnych,
- badanie związków teorii dowodzenia z systemologią,
- badanie wpływu rozwoju systemów techniki wojskowej na rozwój potencjału bojowego sił zbrojnych,
- modelowanie systemów walki.

Badanie systemowe rozwoju sił zbrojnych może np. obejmować następujące etapy:

- opracowanie ogólnego modelu systemu rozwoju sił zbrojnych;
- opracowanie zbioru modeli odpowiadających ważnym celom sterowania rozwoju;
- opracowanie zbioru scenariuszy odpowiadających różnym wariantom warunków i ograniczeń;

\* J. Geresz: *Zarys podstawowych idei teorii Thoma*. Politechnika Wroclawska 1980 r.

\*\* P. Sienkiewicz, *Problemy rozwoju sił zbrojnych w świetle metodologii badań systemowych*. Myśl Wojskowa, nr 8, 1981 r.

- statystyczne opracowanie danych dotyczących stanu systemu obronnego państwa oraz sił zbrojnych potencjalnego przeciwnika i przewidywanego jego rozwoju w różnych przedziałach czasu;
- komputerowa realizacja modelu;
- analiza i weryfikacja wyników;
- podjęcie decyzji rozwojowych.

Prace nad budową systemowych modeli rozwoju sił zbrojnych muszą być sprzęgnięte z szeroko pojętymi badaniami statystycznymi i prognostycznymi.

Systemologia powinna wnosić do problematyki systemów wojskowych klarowność i ścisłość, wykrywać prawidłowość procesów i zjawisk oraz umożliwiać ich celowe kształtowanie. Dialektyka marksistowska uczy, że nie można przeniknąć w istotę zjawiska bez rozpatrzenia go w całości oraz rozłożenia (jeśli jest to konieczne) na części składowe, próbując odszukać prawdę w każdej z nich. Pozwala to na sprecyzowanie podstawowych sprzeczności określających konkretne sytuacje problemowe. Analiza zjawisk będących przedmiotem nauki wojennej wymaga wykrycia wewnętrznych sprzeczności tych zjawisk, oddzielenia od nich tego co istotne od tego co nieistotne, tego co subiektywne od tego co obiektywne, tego co konieczne od tego co przypadkowe, a także wymaga rozpatrywania zjawisk zarówno od strony jakościowej, jak i ilościowej. Można zatem powiedzieć, że kategorie i prawa dialektyki pozwalają na formułowanie pewnych makrozasad, wytyczających główny kierunek postępowania w działalności poznawczej, czyli metodologii. Poszukiwanie dróg prowadzących do celu w konkretnej działalności badawczej, a więc rozwiązywania konkretnych problemów poznawczych i decyzyjnych, odbywa się już w obszarze poszczególnych nauk lub dyscyplin. Znaczenie integracyjne dla tych poszukiwań na różnych poziomach konkretyzacji problemów wojskowych należy przypisać z całą pewnością systemologii przynoszącej nowy „atrakcyjny” paradygmat.

## Systemy informacyjne

„Mechaniczny mózg nie wydziela myśli, jak wątroba wydziela żółć, zdaniem dawniejszych materialistów, ani też nie wydaje jej w postaci energii, jak to robi mięsień w swoim działaniu. Informacja jest informacją, a nie materią ani energią.”

(Norbert WIENER, *Cybernetyka i społeczeństwo*)

„Ciała oddziałują na siebie materialnie, energetycznie oraz informacyjnie. Rezultatem działania jest zmiana stanu. Jeżeli rzucę się na ziemię, ponieważ ktoś zawołał „padnij”, zmianę mego położenia wywołało przybycie informacji, jeśli upadnę, bo runęła na mnie encyklopedia, zmianę spowodowało działanie materialne. W pierwszym przypadku nie musiałem, w drugim natomiast — musiałem upaść. Działania materialno-energetyczne są zdeterminowane, informacyjne natomiast wywołują tylko zmiany pewnych rozkładów prawdopodobieństwa.”

(Stanisław LEM, *Summa Technologiae*)

### 1. Wprowadzenie

Życie i działać we współczesnym świecie, to znaczy korzystać z informacji. W stwierdzeniu tym zawiera się, w znacznym stopniu, sens przeobrażeń społecznych, cywilizacyjnych i kulturowych, politycznych i edukacyjnych. Człowiek uwikłany w różnorodne procesy społeczne, od najwcześniejszych chwil swego życia styka się, a raczej zostaje poddany strumieniowi różnorodnych informacji. Obok zasobów surowcowych i energetycznych, zasoby informacyjne, obejmujące istotne osiągnięcia nauki, kultury i sztuki, stanowią najistotniejszy czynnik potencjału cywilizacyjnego. Bez racjonalnie ukształtowanej sfery informacyjnej nie może funkcjonować gospodarka narodowa i siły zbrojne. Dziś już otwarcie mówi się, że władzę polityczną posiadają ci, w których rękach znajdują się: wojsko, policja i środki masowego przekazu (komunikowania). Te ostatnie należą do rozległej informacyjnej sfery życia społecznego. Do niej należą także systemy informatyczne, w których zastosowanie komputerów spowodowało

wało rewolucję w technologii informacji. Sformułowane przed laty pojęcie „bomby I” nie straciło swej aktualności i trafnie odzwierciedla jedno z istotnych globalnych zjawisk społecznych. „Bomba I” niesie zagrożenia, np. w postaci zjawiska „informacyjnego zanieczyszczenia środowiska” i powstawania sytuacji stresowych. Dzięki systemom masowego komunikowania społecznego świat jakby nagle zaczął się „kurczyć”.

Odkąd pojęcie informacji stało się pojęciem ogólnospołecznym i ogólnonaukowym, obserwuje się w literaturze różnorodnych dyscyplin dążenie do wielostronnego przedstawienia zarówno samego pojęcia, jak i jego racjonalnego wykorzystania w wielu dziedzinach poza np. telekomunikacją, w której informacja była już tradycyjnym przedmiotem badań. Szczególne znaczenie dla rozwoju naukowego poznania istoty informacji miało powstanie cybernetyki, a przede wszystkim jednego z jej działów — teorii informacji. Rozwój badań w dziedzinie teorii informacji stworzył podstawy naukowe dla rozwoju wielu różnych dziedzin, zapewniając dopływ ścisłych „informacji o informacji”. Dziedziny te związane są z praktyką informacyjną, do której należy działalność w zakresie nauki, sztuki, ideologii, kierowania społecznego itp. Przeciwnością praktyki informacyjnej związanej z oddziaływaniami informacyjnymi na rzeczywistość jest praktyka materialna, która związana jest z oddziaływaniami drugiego rodzaju, tj. oddziaływaniami materialno-energetycznymi. Praktyka informacyjna jest wtórna w porównaniu z podstawowymi formami praktyki materialnej, służy jej (np. wytwarzaniu, upowszechnianiu i stosowaniu wiedzy technicznej), choć istnieją formy praktyki informacyjnej (np. tworzenie i upowszechnianie sztuki), które mają charakter autonomiczny i nie służą praktyce materialnej\*. Sięgając do pojęcia praktyki, jednej z podstawowych kategorii filozofii marksistowskiej, należy dostrzec także następujące zjawisko: pojęcie informacji wywarło wpływ na wzbogacenie dialektycznego pojmowania procesów rozwoju, odbicia, związku przyczynowo-skutkowego itp. Z kolei, istotną wartość mają związki teorii odbicia sformułowanej na gruncie marksistowskiej

\* W. Krajewski: *Cybernetyczny schemat oddziaływania wzajemnego teorii i praktyki*. Człowiek i Światopogląd, nr 7—8 (120—121), 1975 r.

gnozeologii z teorią informacji. Związki te implikują wniosek: „informacja to te aspekty i formy odbicia w przyrodzie ożywionej, technice, społeczeństwie, które wykorzystuje się do celowego działania”<sup>\*</sup>.

Z drugiej strony należy podkreślić pogłębiające się związki pojęcia informacji z pojęciami uporządkowania, organizacji, struktury i systemu oraz rozpatrywanie informacji jako rezultatu procesów informacyjnych realizowanych w systemach informacyjnych. Wynika stąd oczywista konstatacja: informacja jest przedmiotem badań systemowych<sup>\*\*</sup>. Legła ona u podstaw prezentowanych w niniejszym rozdziale.

Na zakończenie uwag wstępnych wyrazimy prawdę oczywistą, że coraz bardziej komplikujący się charakter walki zbrojnej, niosącej kryzys czasu i potrzebę licznych, szybkich i dokładnych kalkulacji, przetwarzania narastającej masy informacji operacyjno-taktycznych, stwarza konieczność racjonalizacji procesów i struktur wojskowych, a przede wszystkim kształtowania efektywności wojskowych systemów informacyjnych, będącej jednym z podstawowych warunków skutecznego dowodzenia na polu walki oraz szkolenia i wychowania wojsk w czasie pokoju.

## 2. Informacja i informowanie

Teoria informacji przenikając do wielu dziedzin, sama przejęła określone metody od tych dziedzin, np. z termodynamiki, probabilistyki, topologii, kombinatoryki, lingwistyki itp. Z pewnością najbardziej frapujące, nie tylko dlatego, że historycznie biorąc pierwsze są powiązania teorii informacji z termodynamiką — głównie dzięki pojęciu entropii. To właśnie znalezienie związków pomiędzy pojęciami informacji i entropii wielki fizyk L. de Broglie określił jako „najpiękniejszą ideę cybernetyki”. Stało się to za sprawą C. Shannona, który w latach 1948—1949 ogłosił swoje fundamentalne prace z „matematycznej teorii komunikacji”, kła-

<sup>\*</sup> E. Kowalczyk: *Człowiek w świecie informacji*. KiW 1974 r.

<sup>\*\*</sup> G. Szczerbickij: *Sistiemnyj charakter informacii*. Nauka i Technika, Mińsk 1978 r.

dac podwaliny współczesnej teorii informacji\*. Należy zwrócić uwagę na równoległe z pracami Shannona prowadzone przez W. Kotelnikowa badania odporności na zakłócenia układów odbiorczych. Przedmiotem analizy Shannona był układ przesyłania wiadomości składający się z: źródła wiadomości, nadajnika sygnałów, kanału przesyłania sygnałów, odbiornika sygnałów i adresata (odbiorcy) wiadomości. Przesyłanie i odbiór wiadomości związał Shannon z informacyjną stroną zjawiska, tj. ze zmianą nieokreśloności u adresata co do tego, która ze zbioru wiadomości potencjalnie możliwych do wysłania została naprawdę wysłana. Nieokreśloność ta maleje po odebraniu sygnału, choć ze względu na obecność w kanale przypadkowych zakłóceń może nie zostać całkowicie usunięta. Podkreślmy, że mówiąc o wiadomości mamy na myśli pewną treść przeznaczoną do utrwalenia lub do przekazania jej adresatowi (odbiorcy), zaś nośnik fizyczny wiadomości, mający charakter energetyczny, będziemy nazywać sygnałem. Z kolei, znakiem może być każdy wyróżniony stan fizyczny odgrywający określoną rolę komunikatywną (informującą), natomiast zbiór łatwych do odróżnienia znaków nazywać będziemy alfabetem. Alfabet wraz ze zbiorem reguł określających sposób łączenia znaków w zbiory uporządkowane, tworzące wyrażenia, będziemy nazywali kodem. Do powyższych uściśleń pojęciowych dodajemy pojęcie komunikatu, zwanego niekiedy meldunkiem, którym będziemy nazywali odpowiednio zakodowaną wiadomość, zawierającą pewną ilość informacji\*\*.

Zanim określimy ilość informacji, zastanówmy się nad tym, czym jest informacja. Informacja przechodziła wiele interpretacyjnych metamorfoz, z których pierwszą było przejście od pojęcia wiadomości i komunikatu do pojęcia ilości informacji i związania go z prawdopodobieństwem określonego zdarzenia ze zbioru zdarzeń. Samo pojęcie informacji nie doczekało się dotąd powszechnie akceptowanej definicji. Do najpopularniejszych ujęć należą:

\* C. Shannon: *The Mathematical Theory of Communication*, New York 1949 r.

Zob. także L. Brillouin: *Nauka a teoria informacji*. PWN, Warszawa 1969 r.

\*\* J. L. Kulikowski: *Informacja i świat, w którym żyjemy*. WP, Warszawa 1978 r.

„Informacja jest informacją, a nie materią ani energią” oraz „Informacja jest nazwą treści zaczerpniętej ze świata zewnętrznego, w miarę jak się do niego dostosowujemy i jak przystosowujemy doń swoje zmysły” (N. Wiener). „W cybernetyce nazywa się informacją wszelkie działanie fizyczne, któremu towarzyszy działanie psychiczne” (L. Couffignal), „Informacją są wszelkie wiadomości o procesach i stanach dowolnej natury, które mogą być odbierane przez organy zmysłowe człowieka lub przez przyrodę” (W. Głuszkow). „Informacją nazywamy wielkość abstrakcyjną, która może być przechowywana w pewnych obiektach, przesyłana między pewnymi obiektami, przetwarzana w pewnych obiektach i stosowana do sterowania pewnymi obiektami, przy czym przez obiekty rozumie się organizmy żywe, urządzenia techniczne oraz systemy tych obiektów” (A. Mazurkiewicz). Do celów praktycznych wygodna jest następująca definicja: Informacje to zbiór faktów, zdarzeń, cech obiektów itp. zawarty w określonej wiadomości, tak ujęty i podany w takiej formie, że pozwala odbiorcy ustosunkować się do zaistniałej sytuacji i podjąć odpowiednie działania umysłowe lub fizyczne.

Informację można klasyfikować według dziedzin wiedzy (np. społeczna, biologiczna, techniczna, ekonomiczna, wojskowa), według fizycznego charakteru wydobywania (np. wzrokowa, słuchowa), a także według właściwości metrologicznych (pomiarowych).

Z technicznego punktu widzenia celowe jest rozpatrywanie następujących form informacji:

— informację parametryczną, występującą najczęściej w postaci wyników pomiarów jako zbiory liczbowych ocen wartości mierzonych wielkości;

— informację topologiczną, dogodną w opisie obrazów i sytuacji, przedstawioną w postaci form geometrycznych, obrazów przestrzennych itp.;

— informację abstrakcyjną, którą stanowią formuły matematyczne, uogólnione obrazy i pojęcia.

W praktyce modelowania matematycznego systemów najczęściej stosowane są informacje parametryczne (rys. 2.1), wśród których wyróżnimy przykładowo następujące rodzaje:

Rodzaje informacji parametrycznych	
Zdarzenie $A$	<p>● TAK</p> <p>○ NIE</p>
Wielkość $X$	
Funkcja $X(T)$	
Przestrzeń $X(T, N)$	

### 2.1. Rodzaje informacji parametrycznych

— typu zdarzenie  $A$  — pierwotnym elementem informacji jest elementarne zdarzenie dwuwartościowe (typu prawda i fałsz);

— typu wielkość  $X$  — uporządkowany jednowymiarowy zbiór zdarzeń, z których każdy odpowiada osiągnięciu przez wielkość określonego poziomu, przy czym wielkość może mieć postać dyskretną lub ciągłą;

— typu funkcja  $X(T)$  — określa relacje między wielkością i czasem, wielkością i położeniem oraz między dwoma wielkościami;

— typu przestrzeń  $X(T, N)$  — opisująca zależność między wartością oraz położeniem i czasem.



Informacja, w wyniku przekształceń, może przyjmować rozmaite struktury, takie jak np.: naturalna, unormowana, kompleksowa, zdekomponowana, uogólniona, dyskretna, bezwymiarowa, kodowana (w postaci cyfrowej). Szczególne znaczenie dla współczesnych systemów informacyjnych ma cyfrowa postać informacji, która z kolei przyjmuje postać sygnału elektrycznego. Ten zaś może mieć reprezentację czasową i widmową\*.

U podstaw teorii informacji leży założenie, że komunikat zawiera tym więcej informacji, im mniejsze jest prawdopodobieństwo jego wystąpienia. Oznacza to, że ilość informacji jest tym większa, im większa była niepewność, że określoną wiadomość możemy znaleźć w komunikacie. Zatem otrzymać informację — znaczy dowiedzieć się czegoś więcej o tym, o czym wiedziało się mniej. Z założeń tych wynika, że informacja związana jest z nieokreślonością danej sytuacji. Przypomnijmy także, że nieokreśloność zdarzenia jest, w ujęciu probabilistycznym, cechą rozkładu prawdopodobieństwa. Pożądane jest także, aby miara nieokreśloności, a więc i ilości informacji zawartej w kilku statystycznie niezależnych wiadomościach, była równa sumie miar nieokreśloności w nich zawartych, czyli by miała cechę addytywności. Dążenie do kwantyfikacji informacji doprowadziło do powstania wielu koncepcji, wśród których należy wymienić:

- pojęcie ilości informacji wg Shannona;
- pojęcie informacji wg Ackoffa;
- nieprobabilistyczne ujęcia informacji (np. R. Ingardena i K. Urbanika);
- pojęcie informacji wynikłe z teorii oszacowania;
- pojęcie informacji związane z jej treścią (np. Bar-Hillela);
- pojęcie informacji związane z jej wartością (np. M. Mazura i K. Szaniawskiego).

Szczególną, nie tylko ze względów historycznych, wagę przywiązujemy do ujęcia C. Shannona. Należy ono do ujęć statystycznych, które reprezentowali wcześniej np. H. Nyquist, R. Hartley, zaś ich prace, z pewnością, wywodzą się od prac fizyka

\* Zob. także T. Batorycki: *Podstawy teleinformatyki*. Skrypt Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1977 r.

W. Gibbisa i matematyków L. Borela, Lebesgue'a i A. Kołmogorowa.

Zgodnie z tymi ujęciami mówi się, że miarą ilości informacji, jaką niesie sygnał, jest różnica pomiędzy niepewnością początkową a niepewnością po otrzymaniu sygnału, czyli niepewnością warunkową ze względu na sygnał

$$I(X, Y) = H(X) - H(X/Y)$$

co oznacza: ilość informacji, jaką przeciętnie przynosi sygnał ze zbioru możliwych sygnałów  $Y$  o zdarzeniu ze zbioru możliwych zdarzeń  $X$ , równa jest różnicy pomiędzy niepewnością bezwarunkową co do zajścia jednego ze zdarzeń ze zbioru  $X$  a niepewnością warunkową co do otrzymania sygnałów ze zbioru  $Y$ .

Przyjęta miara niepewności — entropia

$$H(X) = - \sum_{x \in X} p_i \log_2 p_i$$

gdzie  $p_i$  jest prawdopodobieństwem zdarzenia  $x_i \in X$ ,  $i=1, 2, \dots, \dots, n$ , spełnia następujące postulaty\*:

1) dla zdarzeń jednakowo prawdopodobnych  $H(X)$  ma być rosnącą funkcją liczby możliwych zdarzeń: jeśli  $\text{card } X = k$  i  $\text{card } Y = l$ , to

$$[k > l] \Rightarrow [H(X) = F(k) > H(Y) = F(l)];$$

2) dla zbioru złożonego tylko z jednego zdarzenia możliwego  $H(X)$  powinna wynosić zero

$$[X = \{x\}] \Rightarrow [H(X) = F_x(1) = 0];$$

3) w ogólnym przypadku  $H(X)$  ma być funkcją rozkładu prawdopodobieństw elementów zbioru  $X$

$$H(X) \equiv F_x(p_1, p_2, \dots, p_n);$$

4) niepewność dotycząca kombinacji dwu zbiorów powinna być sumą niepewności dotyczących każdego z tych zbiorów z osobna

$$H(X \times Y) = F(k \cdot l) = H(X) + H(Y) = F_x(k) + F_y(l);$$

5) niepewność co do pewnego zbioru  $X$  powinna być równa

\* J. Ekel: *Decyzyjno-informacyjny model czynności ludzkich*. [W:] *Problemy psychologii matematycznej*. PWN, Warszawa 1971 r.

sumie niepewności co do zbioru  $X'$ , powstałego z połączenia kilku elementów zbioru  $X$  w jedną klasę, i niepewności co do tego, który z elementów tej klasy się pojawi, ważonej przez prawdopodobieństwo tej klasy, tj.:

$$H(X) = H(X') + p_a H(A),$$

gdzie  $X'$  powstał ze zbioru  $X$  przez połączenie elementów  $x_1, x_2, \dots, x_k$  w podzbiór  $A$ , któremu przypisuje się prawdopodobieństwo równe sumie prawdopodobieństw należących do niego elementów  $x_i, i=1, 2, \dots, k, p_A$ ;

6) niepewność powinna być funkcją ciągłą rozkładu prawdopodobieństwa elementów danego zbioru

$$\lim_{p_i \rightarrow p'_i} F_x(p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n) = F_x(p_1, p_2, \dots, p'_i, \dots, p_n)$$

7) wartość  $H(X)$  nie powinna zależeć od kolejności elementów zbioru

$$H(X) = F_x(p_1, p_2, \dots, p_i, p_j, \dots, p_n) = F_x(p_1, p_2, \dots, p_j, p_i, \dots, p_n)$$

Zwróćmy uwagę na to, że jedyną funkcją, która spełnia wszystkie postulaty, jest

$$H(X) = F_x(p_1, p_2, \dots, p_n) = c(-p_1 \log p_1 - p_2 \log p_2 - \dots - p_n \log p_n)$$

gdzie  $c$  jest dowolną stałą i dowolna jest również podstawa logarytmów. Ze względów technicznych przyjmuje się w teorii informacji  $c=1$  oraz 2 jako podstawę logarytmów. Wtedy jako jednostkę ilości informacji przyjmuje się 1 bit\*.

Do powyższych uwag dodajmy, że entropię ciągłego rozkładu prawdopodobieństwa zmiennych losowych  $X_1, X_2, \dots, X_n$  o łącznej funkcji gęstości  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  określa wyrażenie

$$H(X_1, X_2, \dots, X_n) = - \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} f(x_1, x_2, \dots, x_n) \times \\ \times \log f(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 dx_2, \dots dx_n$$

czyli zależy ona tylko od rozkładu prawdopodobieństwa — jednoznacznie jest określana przez funkcję gęstości prawdopodobieństwa  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

\* Stosując naturalne logarytmy wyraża się ilość informacji w jednostkach naturalnych — nitach (1 bit = ln 2 nitów).

Jednocześnie ze ścisłego ujęcia ilości informacji wynikają dodatkowe wnioski:

a) niepewność jest pewną cechą sytuacji (zbioru możliwych zdarzeń), a informacja pewną cechą sygnału, polegającą na tym, że redukuje niepewność — ale nie jest sygnałem;

b) pojęcia niepewności i informacji nie pozostają w żadnym stosunku do sensu (znaczenia) sygnałów (wiadomości);

c) miara ilości informacji nie uwzględnia jej wartości (jakości);

d) niepewność i informacja nie uwzględniają wariacji możliwych zdarzeń, ani „nieoczekiwaności” zdarzenia.

Probabilistyczne ujęcie informacji i miary jej ilości nie jest jedynym. Inne ujęcie zaprezentowali R. Ingarden i K. Urbanik\*, którzy przez informację rozumieją pewną funkcję  $H(X)$  określoną na przestrzeni Boole'a inkluzji\*\*, spełniającą trzy aksjomaty:

— aksjomat monotoniczności: jeżeli  $Y$  jest podpierścieniem  $X$ , to  $H(Y) < H(X)$ ;

— aksjomat addytywności;

— aksjomat nierozróżnialności: izomorficzne  $H$  — jednorodne pierścienie są  $H$  — równoważne;  $H$  jest funkcją regularną określoną na przestrzeni Boole'a inkluzji.

Podobne ujęcie prezentuje J. L. Kulikowski\*\*\*, który rozumie informację jako zmniejszenie nieokreśloności wyboru z pewnego zbioru dopuszczalnych wartości lub potencjalnie możliwych stanów. Informacja dostępna jest pod postacią zmiennych informacyjnych określanych jako uporządkowana trójka:

$$X = \langle S, B_s, \mu \rangle$$

gdzie:  $S$  oznacza zbiór dopuszczalnych elementarnych wartości zmiennej informacyjnej, zwanych jej realizacjami;

\* K. Urbanik: *O definicji pojęcia informacji*, [w:] Prace Polskiego Towarzystwa Matematycznego przy SGPiS, z. 1—2, Warszawa 1975 r.

\*\* Przestrzenią Boole'a inkluzji zwie się klasę skończoną pierścieni Boole'a, która spełnia dwa warunki:

— podpierścień pierścienia należącego do danej klasy też do niej należy;  
— dla każdego pierścienia boolowskiego należącego do danej klasy istnieje pierścień należący do rozważanej klasy, zawierający go jako podpierścień.

\*\*\* J. L. Kulikowski: *Banki informacji jako narzędzia zarządzania gospodarką narodową*. [w:] Materiały I Szkoły Podstaw Inżynierii Systemów. MON—PAN 1976 r.

$B_s$  oznacza przeliczalnie addytywną algebrę podzbiorów zbioru  $S$  ( $B_s = \langle 2^S, + \rangle$ );

$\mu$  oznacza zasadę półporządkowania elementów rodziny  $B_s$  spełniającą postulaty kraty algebraicznej\*, której elementem minimalnym jest podzbiór pusty  $\Phi$ , a elementem maksymalnym — zbiór  $S$ .

Powyższe określenie zmiennej informacyjnej jest uogólnieniem pojęcia zmiennej losowej (pojęcia te są identyczne, jeśli spełniają postulaty rozkładu prawdopodobieństwa).

Przedstawione dotychczas modele informacji wyrażały w zasadzie tylko jeden aspekt, a mianowicie aspekt techniczny związany z pytaniami o miarę informacji, np. dokładność przenoszenia sygnałów. Z nim też wiąże się zagadnienie przepustowości kanałów komunikacyjnych, przenoszących sygnały od nadawcy do odbiorcy. Przepustowość kanału mierzona jest liczbą sygnałów binarnych przenoszonych w ciągu sekundy.

Niech  $X$  będzie ciągiem sygnałów elementarnych, który może być przekazany danym kanałem w jednostce czasu, a  $X'$  — sygnałem odbieranym, który może się różnić od nadawanego. Opierając się na charakterystyce statystycznej kanału, można określić ilość informacji  $I(X, X')$ . Zagadnienie polega na określeniu, przy jakim systemie przesyłania sygnałów  $X$  wielkość  $I(X, X')$  osiągnie wartość największą. Wartość maksymalna  $C = \max I(X, X')$  jest zdolnością przepustową badanego kanału. Podstawowy wniosek Shannona o zdolności przepustowej kanału został sformułowany następująco: przekazywanie informacji kanałem łączności jest możliwe wtedy i tylko wtedy, gdy zachodzi nierówność:  $I < C$ , gdzie  $I$  oznacza średnią informację, zawartą w wiadomości, przekazywaną w jednostce czasu. Oczywiście, wydawać się mogło, wniosek stanowi punkt wyjścia do badań nad systemami przesyłania informacji.

Obok aspektu technicznego wyróżnia się ponadto:

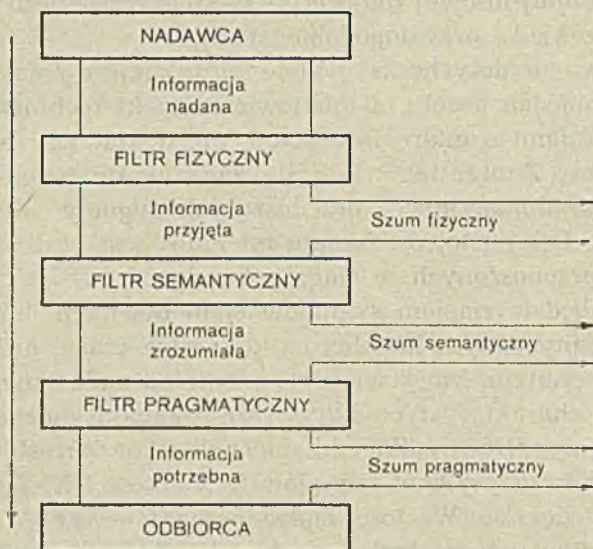
- aspekt semantyczny związany z pytaniem o ścisłość przekazywania znaczenia treści przez sygnały oraz
- aspekt pragmatyczny wiążący się z pytaniem o skuteczność

\* Jest to zbiór z wprowadzonymi operacjami częściowego uporządkowania, w którym każdy podzbiór ma kres górny i dolny.

wpływania otrzymanych treści na zachowanie się odbiorcy w określony sposób.

Wyrażone pytania nie doczekały się dotychczas w pełni satysfakcjonującej odpowiedzi.

Poszczególne aspekty informacji dobrze odzwierciedla koncepcja „fazowego” procesu przesyłania informacji ze stratami w każdej z faz w postaci szumów (rys. 2.2). Przesyłane informacje prze-



2.2. Straty w procesie informacyjnym

chodzą przez filtry: fizyczny, semantyczny, pragmatyczny, a każdy z nich oddziela szumy. Szumy te przyjęto nazywać zgodnie z nazwami filtrów. Informacja, która dotarła do odbiorcy — użytkownika, jest informacją przez niego pożądaną, tj. taką, która powstała po oddzieleniu od informacji nadanej szumów: fizycznego, semantycznego i pragmatycznego\*.

W zbiorze komunikatów wprowadza się trzy podstawowe relacje\*\*:

\* E. G. Jasin: *Ekonomiczeskaja informacija, czto eto takoje*, Moskwa 1976 r.

J. Kisielnicki: *Ekonomiczne problemy zautomatyzowanych systemów zarządzania*. PWE, Warszawa 1981 r.

\*\* J. Jaroń, wyd. cyt.

- równoważność syntaktyczną,
- równoważność semantyczną,
- równoważność pragmatyczną,

które pozwalają określić: kiedy dwa dowolne komunikaty są równoważne w sensie podstawowych aspektów informacji w nich zawartych.

R. Carnap i Y. Bar-Hillel\* podjęli w swych pracach zagadnienie tzw. informacji semantycznej. Założono, że istnieje skończona liczba zdań, które można zbudować, oraz istnieją pewne powiązania logiczne między tymi zdaniami. Informację pewnego zdania  $i$  definiuje się jako odpowiednio wybraną funkcję liczby zdań uwarunkowanych przez  $i$ . Dla tego zdania zakres wyboru  $i$ , oznaczony przez  $R(i)$ , jest zbiorem opisów stanów, w których  $i$  pozostaje słuszne. Konstruuje się pewną miarę informacji spełniającą następujące warunki:

- a) dla każdego opisu stanu  $Z$  istnieje miara  $m(Z)$  taka, że  $0 \leq m(Z) \leq 1$ , którą można interpretować jako prawdopodobieństwo a priori stanu  $Z$ ;
- b) suma  $m(Z)$  rozciągnięta na wszystkie  $Z$  wynosi 1;
- c) dla fałszywego zdania  $f$  jest  $m(f)=0$ ;
- d) dla zdania prawdziwego  $i$  definiuje się  $m(i)$  jako sumę  $m(Z)$  rozciągniętą na wszystkie  $Z$  mieszczące się w  $R(i)$ ;
- e) wszystkie rzeczowniki (przymiotniki) traktowane są jednakowo, tj.  $m(i)$  jest inwariantne względem permutacji rzeczowników (przymiotników) występujących w zdaniu  $i$ ;
- f) dowolne przymiotniki można zastąpić ich negacjami bez zmiany wartości  $m(i)$ ;
- g) jeżeli dwa zdania  $i$  oraz  $j$  nie mają wspólnych przymiotników, to mówimy, że są indukcyjnie niezależne

$$m(i, j) = m(i) m(j)$$

h) liczba rzeczowników nie wymienionych w zdaniu  $i$  nie ma wpływu na wartość  $m(i)$ .

$$\text{Ponadto } m(i) + m(\sim i) = \sum_z m(z) = 1.$$

\* Wg. L. Brillouin, wyd. cyt.

Najprostszą definicją informacji wyrażoną funkcją miary nazywano miarą zawartości (cont):

$$\text{cont}(i) = m(\sim i) = 1 - m(i)$$

Małe  $m(i)$  oznacza uwzględnienie stosunkowo mało prawdopodobnych opisów stanu, a zatem  $\text{cont}(i)$  jest miarą rzadkości. Miara informacji, zgodnie z prezentowaną koncepcją, zbliżona jest do przedstawionych uprzednio definicji i wyraża się zależnością

$$\text{inf}(i) = -\log_2 m(i) = \log_2 \left[ \frac{1}{1 - \text{cont}(i)} \right]$$

Autorzy koncepcji informacji semantycznej rozwijali semantyczne definicje i zastosowali je do różnych zagadnień wnioskowania i dedukcji.

Interesującą próbą związania pojęcia zmiennej informacyjnej ze znaczeniem w ramach pewnego modelu jest następująca propozycja\*:  
dany jest model

$$M = \langle \Omega_x, P \rangle$$

gdzie:  $\Omega_x$  — zbiór zmiennych informacyjnych,

$P$  — oparty na tych zmiennych logicznie niesprzeczny zbiór predykatów, czyli funkcji zdaniowych.

Wtedy, przez znaczenie zmiennej informacyjnej  $X$  w ramach modelu  $M$  rozumie się iloczyn logiczny wszelkich prawdziwych zdań orzekających o realizacjach zmiennej  $X$  generowanej przez model  $M$ . Niech  $\zeta_x$  będzie znaczeniem zmiennej informacyjnej  $X$  oraz  $\mathcal{I}$  — zbiorem znaczeń zmiennych informacyjnych tworzących zbiór  $\Omega_x$ . W zbiorze tym można określić relacje semantyczne (np. relacje hierarchii pojęć). Każdej relacji semantycznej odpowiada w modelu  $M$  pewien predykat zależny od zmiennych informacyjnych.

Dla danego modelu  $M$  można określić język formułowania zdań informacyjnych opartych na tym modelu  $J_M$ . Do wyrażen podstawowych takiego języka mogą należeć:

\* J. L. Kulikowski, wyd. cyt.



- nazwy pojęć odpowiadających zmiennym informacyjnym,
- nazwy relacji semantycznych objętych modelem.

Język  $J_M$  pozwala formułować zadania informacyjne oparte na modelu  $M$ , które można podzielić na kilka podstawowych kategorii:

a) zadanie typu „kto, co?” (określony jest zbiór predykatów — należy znaleźć realizacje zmiennych informacyjnych spełniających te predykaty);

b) zadania typu „jaki?” (określone są zmienne informacyjne — należy znaleźć ich znaczenia);

c) zadania typu „czy?” (określone są predykaty i realizacje zmiennych informacyjnych — należy określić wartość logiczną zdań orzekających o tych realizacjach);

d) zadania typu „jak?” (określone są predykaty  $P'$  i  $P''$ ) oraz spełniające je podzbiory realizacji zmiennych informacyjnych — należy znaleźć ciąg predykatów takich, że:

$$P' \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow \dots \rightarrow P_n \rightarrow P''$$

oraz spełniających je realizacji zmiennych informacyjnych.

Wykorzystując powyższe pojęcia wprowadza się pojęcie sytuacji informacyjnej określonej następująco

$$S_{ij}^J = (M^J, J_M^J; z, (n_i, o_j), u_{ij}),$$

gdzie:  $z$  — dane zadanie informacyjne ( $z \in Z$  — zbiór zadań informacyjnych,  $n_i$  — nazwa (numer)  $i$ -tego nadawcy (źródła) informacji ( $n_i \in \mathcal{N}^J$  — zbiór nadawców — źródeł),  $o_j$  — nazwa (numer)  $j$ -tego odbiorcy (adresata) informacji ( $o_j \in O^J$  — zbiór odbiorców — adresatów),  $u_{ij}$  — kanał (tor) informacyjny łączący  $i$ -tego nadawcę z  $j$ -tym adresatem.

Sytuacja informacyjna zachodzi pomiędzy określonym źródłem informacji a odbiorcą informacji, w związku z wystąpieniem określonego zadania informacyjnego, formułowanego w określonym języku opartym na danym modelu.

Przyjmujemy, że dowolną sytuację informacyjną charakteryzują dwie podstawowe charakterystyki ilościowe:  $N_j$  — stopień nieokreśloności i  $H_j$  — entropia oraz charakterystyka identyfikacyjna

$y_j = (y_1^j, y_2^j, y_3^j)$ , taka że:

$y_1^j = \begin{cases} 1 & \text{— informacja pełna} \\ 0 & \text{— informacja niepełna} \end{cases}$

$y_2^j = \begin{cases} 1 & \text{— informacja aktualna} \\ 0 & \text{— informacja nieaktualna} \end{cases}$

$y_3^j = \begin{cases} 1 & \text{— informacja niezawodna (wiarygodna)} \\ 0 & \text{— informacja zawodna (niewiarygodna)}. \end{cases}$

W związku z powyższym dowolnej sytuacji informacyjnej możemy przypisać jeden z ośmiu stanów (tabela 2.1). Najbardziej pożądanym jest oczywiście stan  $S_1$ , zaś najmniej pożądanym stan  $S_8$ .

Tabcał 2.1

Stan	Wartość parametrów
$S_1$	1 1 1
$S_2$	1 1 0
$S_3$	1 0 1
$S_4$	0 1 1
$S_5$	0 0 1
$S_6$	0 1 0
$S_7$	1 0 0
$S_8$	0 0 0

Pomiędzy dwoma obiektami (systemami), np. nadawcą a odbiorcą, występuje oddziaływanie informacyjne, związane z wystąpieniem określonej sytuacji informacyjnej, za pomocą kanału — toru informacyjnego. Zgodnie z konwencją terminologiczną zaproponowaną przez M. Mazura \*, komunikat jest stanem fizycznym różniącym się w określony sposób od innego stanu fizycznego w torze informacyjnym. Oddziaływanie informacyjne opiera się więc na komunikatach. Liczba komunikatów zależy od tego, ile ich jest w dowolnym miejscu toru (tzw. zbiór poprzeczny komunikatów) i ile jest takich miejsc (tzw. zbiór wzdłużny komunikatów), przy czym wyróżnia się następujące typy komunikatów:

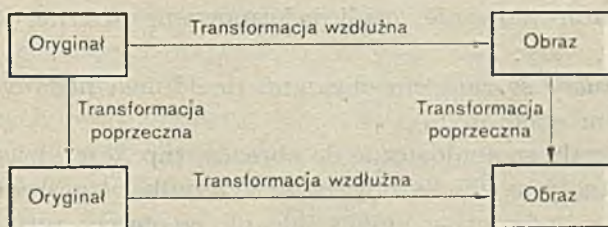
\* M. Mazur: *Jakościowa teoria informacji*. WNT, Warszawa 1970 r.

— oryginał jest to komunikat należący do poprzecznego zbioru komunikatów na początku toru;

— obraz jest to komunikat należący do poprzecznego zbioru komunikatów na końcu toru;

— interkomunikat jest to komunikat należący do poprzecznego zbioru komunikatów w dowolnym miejscu pośrednim między początkiem a końcem toru.

Wyróżnia się dwa rodzaje transformacji poprzecznej: oryginałów w oryginały i obrazów w obrazy, oraz transformację wzdłużną oryginałów w obrazy (rys. 2.3). Konsekwencją tych wyróżnień są następujące konwencje terminologiczne:



2.3. Tor informacyjny według M. Mazura

— informacja jest to transformacja poprzeczna komunikatów w torze oraz

— kod jest to transformacja wzdłużna komunikatów w torze.

„Informacja, jako transformacja jednego komunikatu w drugi (np. oryginału w inny oryginał bądź obrazu w inny obraz), jest związkiem między dwoma komunikatami i w takim sensie można mówić, że informacja jest zawarta w tych komunikatach (oryginałach, obrazach) \*”.

Wprowadzona przez M. Mazura konwencja terminologiczna umożliwia precyzyjne określenie podstawowych zjawisk zachodzących w sferze informacyjnej, przede wszystkim zaś określenie informowania: Informowanie jest to transformacja informacji zawartej w oryginałach w informację zawartą w obrazach.

Określenie informowania uzupełnimy o pewne postulaty:

1) informowanie jest procesem, czyli trwa w czasie;

\* M. Mazur: *Cybernetyka i charakter*. PIW, Warszawa 1975 r., s. 121.

2) informowanie jest ciągiem realizowanych w czasie sytuacji informacyjnych;

3) informowanie jest zaspokajaniem potrzeb informacyjnych \* określonych uczestników sytuacji informacyjnej;

4) informowanie realizowane jest przez określone elementy zwane informatorami, tworzące określone systemy informacyjne.

Jako synonim pojęcia informowania będziemy używać pojęcia procesu informacyjnego.

Analizując rodzaje informowania — procesów informacyjnych, skorzystamy z dalszych propozycji M. Mazura, przyjmując następujące ich rodzaje, wyróżnione z punktu widzenia zniekształceń procesów:

a) transinformowanie, czyli informowanie wierne, które jest zapewnione, gdy:

— oryginały są zarazem obrazami (meldunek nadany staje się meldunkiem odebrany),

— oryginały są analogiczne do obrazów (np. teren i jego mapa),

— oryginały są zniekształcane w komunikaty pośrednie, które następnie są odwrotnie zniekształcane w obrazy (np. zaszyfrowanie tekstu i jego odszyfrowanie);

b) pseudoinformowanie, czyli informowanie pozorne, mające miejsce, gdy ciągi kodów, choć zupełne, są nieoddzielne, tj. mają pewne komunikaty wspólne, przy czym może to być:

— informowanie rozwlekłe,

— informowanie ogólnikowe,

— informowanie niejasne;

c) dezinformowanie, czyli informowanie fałszywe, powstające, gdy ciągi kodów są niezupełne, choć oddzielne, przy czym może to być:

— zmyślanie,

— zatajanie,

— przekręcanie.

Ponadto rozróżnia się parainformowanie, czyli informowanie oparte na parainformacjach, tj. informacjach zawartych w ory-

\* Potrzeba informacyjna powstaje, gdy jednostka dysponuje lub posiada dostęp do informacji w procesie realizowania aktualnych celów i zaspokajania innych potrzeb. Potrzeby informacyjne są immanentną cechą człowieka, a także określonych systemów społecznych.

ginałach, z których jeden jest paraoryginałem, bądź zawartych w obrazach, z których jeden jest paraobrazem\*. Parainformowanie obejmuje: domniemywania trafne (np. zrozumienie aluzji) i domniemywania nietrafne, do tych zaś zalicza się: domniemywania bezpodstawne (np. dopatrzenie się aluzji, której nie było), niedomyślne (np. niedopatrzenie się aluzji, która była) i domniemywanie opaczne (np. dopatrzenie się aluzji innej niż była). Ponadto w procesach informacyjnych mamy do czynienia z metainformacją, czyli informacją o informacjach oraz metainformowaniem, czyli informowaniem o informowaniu. Uważa się, że „występowanie metainformacji to jedna z istotnych cech różniących człowieka od zwierzęcia”\*\*.

Pozostał do zaprezentowania jeszcze jeden aspekt informacji, a mianowicie aspekt pragmatyczny. Wiąże się on z odpowiedzią na pytanie: w jaki sposób oceniać wartość informacji? Jedną z pierwszych prób odpowiedzi na to pytanie była koncepcja A. Charkiewicza\*\*\*. Przypuśćmy, że przed otrzymaniem informacji prawdopodobieństwo osiągnięcia interesującego nas celu było równe  $P_0$ , zaś po jej otrzymaniu przyjęło ono wartość równą  $P_1$ . Powiemy wówczas, że wartość informacji dana jest wzorem

$$U(I) = \log_2 p_1 - \log_2 p_0 = \log_2 \frac{p_1}{p_0}$$

czyli wartość informacji jest dodatnia, jeżeli jej otrzymanie zwiększa prawdopodobieństwo osiągnięcia danego celu.

Ogólnie powiemy, że informacja, która niewiedzę użytkownika częściowo lub całkowicie redukuje bądź zaspokaja jego uświadomione lub nieświadomione potrzeby informacyjne, jest — z punktu widzenia użytkownika — pożądana. Ważność informacji dla użytkownika zależy:

— od problemu, czyli określonej sytuacji informacyjnej (im ważniejsze jest zadanie informacyjne, tym informacja uzyskana w wyniku jego zrealizowania jest ważniejsza);

\* Paraoryginałem jest oryginał nie transformowany w obraz, a paraobrazem — obraz nie będący wynikiem transformowania oryginału. Parainformowanie wiąże się z powstawaniem skojarzeń, domniemywań itp.

\*\* H Greniewski: *Sprawy wszystkie i inne*. KiW, Warszawa 1970 r.

\*\*\* A. Charkiewicz: *O ciennosci informacji*. [W:] *Izobrannyje trudy*, t. 3. Nauka, Moskwa 1973 r.

— od efektywności systemu informacyjnego realizującego dany proces informacyjny (jeśli system zapewnia otrzymanie informacji pełnej, dokładnej i aktualnej, to informacja ta przedstawiać będzie dla użytkownika większą wartość, niżli byłaby to informacja niepełna, niedokładna i nieaktualna).

Ostatni z wymienionych wniosków powoduje, że wartości informacji wiążą się z zagadnieniem efektywności systemów informacyjnych.

Reasumując dotychczasowe rozważania nad naturą informacji, jako przedmiotem badań systemowych, sformułujemy ogólne wnioski, które przyjmiemy jako założenia wyjściowe do dalszej analizy systemów informacyjnych. Do wniosków tych zaliczamy następujące:

1) informacje są obiektem badań, który podlega pomiarowi, a więc charakteryzują je zarówno cechy jakościowe, jak i cechy ilościowe;

2) informacje są środkiem zaspokajania określonych potrzeb informacyjnych;

3) informacje stanowią przedmiot określonych procesów informacyjnych (informowania);

4) procesy informacyjne realizowane są w określonych systemach działania zw. systemami informacyjnymi;

5) natura procesów informacyjnych nie zależy od klasy systemów, w których są realizowane (np. systemy biologiczne, społeczne, techniczne), lecz cechy informacji zależą od systemowych cech systemów informacyjnych;

6) nie istnieje informacja in abstracto, lecz jedynie informacja dla określonego systemu (biologicznego, społecznego, technicznego).

Systemy informacyjne, których celem jest zaspokajanie określonych potrzeb informacyjnych, podzielimy na trzy podstawowe kategorie:

1 — systemy masowego informowania, służące do zaspokojenia, najszerzej rozumianych, informacyjnych potrzeb społeczeństwa;

2 — systemy informowania decydentów (kierownictwa), służące do zaspokajania potrzeb i wymagań decydentów niezbędnych dla efektywnego kierowania;

3 — specjalistyczne systemy informacyjne, służące do obsługi informacyjnej określonych grup użytkowników (np. inżynierów-projektantów, badaczy, lekarzy itp.).

W niniejszym rozdziale rozważania ograniczymy do systemów dwóch pierwszych kategorii, koncentrując uwagę na systemach informowania kierownictwa. W systemach tych kategorii najlepiej wyraża się systemowy charakter informacji.

Przyjmujemy następującą definicję systemu informacyjnego: Systemem informacyjnym nazywamy system, którego celem jest zbieranie, przesyłanie, przechowywanie, przetwarzanie i udostępnianie informacji zgodnie z potrzebami i wymaganiami użytkowników. Systemem informatycznym będziemy natomiast nazywać taki system informacyjny, w którym podstawowe procesy informacyjne realizowane są za pomocą technicznych środków informatyki i telekomunikacji, charakteryzujących się wysokim stopniem automatyzacji. Najprościej rzecz ujmując, systemem informatycznym nazywać będziemy zautomatyzowany system informacyjny.

### 3. Rozwój systemów informacyjnych

Analizując rozwój systemów informacyjnych, tj. informacji będącej przedmiotem wszelkich form komunikowania się ludzi, dochodzimy do wniosku, że jest to realizacja procesów w sferze informacyjnej praktyki społecznej. Podstawowym elementem, przedmiotem i zarazem podmiotem informacyjnej praktyki społecznej jest człowiek. Ogół informacji dostępnych człowiekowi, które może on zużytkować przy realizacji swych życiowych celów, nazwano infosferą. „Infosfera jest środowiskiem informacyjnym człowieka obejmującym te rodzaje informacji, które są mu dostępne za pośrednictwem centrów wyższej działalności nerwowej”\*. W infosferze człowieka wyróżnia się dwie warstwy: wewnętrzną, obejmującą informacje utrwalone w pamięci, oraz zewnętrzną, obejmującą informacje, które są człowiekowi dostępne potencjalnie. Pojęcie infosfery może być rozszerzone do

\* J. L. Kulikowski: *Człowiek i infosfera*. Problemy, nr 3, 1978 r.

pojęcia infosfery społecznej, obejmującej ogół informacji, które stanowią elementy składowe infosfer indywidualnych wchodzących w skład danej społeczności.

Analiza przemian infosfer społecznych pozwala wyróżnić następujące fazy ich rozwoju:

I faza — pierwotna: praczłowiek żyjący w hordach, nie umiejący jeszcze posługiwać się mową artykułowaną, rozporządza infosferą ograniczoną głównie do warstwy wewnętrznej, obejmującej wspomnienia jego najprostszych doznań na poziomie niewiele odbiegającym od zwierzęcego;

II faza — prehistoryczna: kształtujące się w długotrwałym procesie rozwoju języki gestów i mowy otwierają przed człowiekiem infosferę zewnętrzną, obejmującą informacje, jakie ten człowiek może uzyskać od innych ludzi pozostających z nim w bezpośrednim kontakcie;

III faza — wczesnohistoryczna: człowiek zdobywa umiejętność utrwalenia swych myśli i doznań w rysunku i piśmie, jego infosfera zewnętrzna staje się coraz bogatsza, obejmuje bogatsze niż dotychczas zasoby informacji utrwalonych i przekazywanych na odległość lub gromadzonych z pokolenia na pokolenie;

IV faza — późnohistoryczna: rozrost infosfery zewnętrznej prowadzi do naruszenia równowagi między infosferą wewnętrzną i zewnętrzną, pojemność infosfery wewnętrznej nie pozwala już na przyswojenie i aktywne przetworzenie całej informacji nagromadzonej w infosferze zewnętrznej, zaczyna występować zjawisko pozornej nadprodukcji informacji przeznaczonej do obiegu społecznego.

Zasadniczą cechą współczesnego rozwoju informacyjnego realizowanego w warunkach rewolucji naukowo-technicznej jest dynamiczny rozwój infosfery zewnętrznej, przyspieszony niegdyś wynalazkiem druku, obecnie — rozwojem systemów telekomunikacyjnych, systemów informatycznych i systemów masowego komunikowania.

Jako podstawowe cechy rozwoju systemów informacyjnych wyróżniamy następujące zjawiska:



— dynamiczny rozwój infosfery zewnętrznej wymuszający, w określonym zakresie, rozwój infosfery wewnętrznej;

— postępujący wzrost ilości i różnorodności informacji, tworzących infosferę;

— wyodrębnienie specjalistycznej funkcji informatora, jako istotnej funkcji społecznej;

— postęp w dziedzinie technicznych środków informowania, obejmujący zarówno środki telekomunikacji i informatyki, jak i środki masowego komunikowania (telegrafia i radiofonia, telefonia, telewizja, kinematografia, prasa);

— „globalizacja” systemów informacyjnych obejmująca zjawisko przechodzenia od lokalnych, o stosunkowo małym zasięgu, systemów do systemów globalnych (np. dzięki zastosowaniu łączności satelitarnej).

Niektóre z wymienionych zjawisk wymagają dodatkowego komentarza. Wiele interesujących, choć w równym stopniu kontrowersyjnych, wniosków dostarczają prace M. McLuhana \*, których przedmiotem jest teoria kultury masowej, ściślej „kultura środków elektronicznych”; słynne hasło McLuhana „medium is message” zawiera, na przykład, przekonanie o decydującym, nadrzędnym znaczeniu środków przekazu, który nadaje sens zawartej w nim wypowiedzi (wiadomości). Przypomnijmy, że punktem wyjściowym teorii McLuhana jest radykalne przeciwstawienie kultury literackiej — druku i słowa pisanego — kulturze środków elektronicznych. Środki typu telewizja, radio, technika komputerowa powodują, że ludzkość wkracza z ery „galaktyki Gutenberga” do ery „globalnej wioski”. Pierwsza z wymienionych była cywilizacją, w ramach której przepływ informacji podlegał dalszemu przyspieszeniu, a przez to życie społeczne zostało poddane dalszej formalizacji i rozczłonkowaniu. Dzięki środkom elektronicznym człowiek zaczyna odzyskiwać swoje dawne zagubione poczucie uczestnictwa w wielkiej plemiennej wspólnotce, którą staje się obecnie „wioska globalna”, obejmująca cały świat. Uważa się, że wraz z rozwojem telewizji przewodowej (zdolnej do dwustronnej łączności) i możliwościami łączności satelitarnej można oczekiwać zupełnie innego rodzaju społeczeństwa, a mia-

\* M. McLuhan: *Wybór pism*. WAI F, Warszawa 1975 r.

nowicie społeczeństwa zbudowanego nie według terytorialnej, lecz informacyjnej zasady — „społeczeństwa informacyjnego”. Koncepcja ta, często w ostatnich latach pojawiająca się w burżuazyjnej myśli społecznej, nie uwzględnia tego, że technika nie może znieść sprzeczności społecznych. Jednakże zwraca się uwagę na fakt, że żyjemy już w społeczeństwie informacyjnym, gdyż ponad 50% siły roboczej pracuje w sferze informacyjnej\*. Pomijając liczne kontrowersje i sprzeciwy, które budzą poglądy McLuhana, zwłaszcza z metodologicznego punktu widzenia, wyróżnijmy wnioski zasługujące na szczególną uwagę. Każda nowa technika informowania determinuje w dużym stopniu to, jakie przekazywane są wiadomości, a zatem istotnym problemem staje się określenie sposobów sterowania zastosowaniem nowych środków informowania, a więc i przekazywanych przez nie treści. Im większa jest „rewelacyjność” nowych technik informowania, tym większa zachodzi potrzeba społecznego sterowania ich skutków. Konieczność tych przedsięwzięć wynika z tego, co nazywane jest „toksycznością” procesów masowego komunikowania oraz ich skutków. Do najczęściej spotykanych zjawisk negatywnych zalicza się:

- niewłaściwą selekcję informacji zakwalifikowanych do masowego przekazu;
- opatrywanie przekazywanych w komunikatach problemów w gotowe rozwiązania jako „jedynie słuszne”;
- „zanieczyszczanie” infosfery informacjami nieistotnymi, nieprawdziwymi itp.

Do najważniejszych form walki z tymi zjawiskami można zaliczyć\*\*:

- demokratyzację procesów informacyjnych, czyli stwarzanie warunków powszechnej dostępności informacji i zniwelowanie dysproporcji w uczestniczeniu w tych procesach przez poszczególne grupy społeczne itp.;
- poszerzenie dostępu do źródeł informacji;
- doskonalenie mechanizmów selekcyjnych i specjalizacyjnych.

\* O. Engborg: *Vers une „societe informative” — Qui tracera la route?* Impact, nr 3, 1978 r.

\*\* M. Szulczewski: *Polityka informacji*. KiW, Warszawa 1977 r.

Ogólnie powiemy, że demokratyzacja systemów masowego informowania polega na dążeniu do umożliwienia szerokiego uczestnictwa obywateli w procesach informacyjnych i w dążeniu do dobrego poinformowania społeczeństwa. W dążeniach tych wyrażają się warunki efektywnego sterowania współczesnymi społeczeństwami\*. Niewątpliwie jednym z tych warunków jest skuteczność propagandy określanej jako „najważniejszy rodzaj ideologicznej działalności partii”\*\*. Cel każdej działalności propagandowej można określić dwojako:

— jako kształtowanie postaw powodujących tendencję do zachowań oczekiwanych przez organizatorów oddziaływań,

— jako powodowanie pewnego typu zachowań, głównie poprzez kształtowanie postaw wyrażających się pożądanymi zachowaniami.

Nie ulega wątpliwości, że skuteczność propagandy determinuje efektywność wykorzystywanych systemów informacyjnych. Z tego powodu systemy masowego informowania winny również znaleźć się w obszarze wojskowych badań systemowych. Należy dodać, że systemy te są, od co najmniej kilkunastu lat, przedmiotem analizy systemowej. Formułowane są jednakże zarzuty dotyczące stosowania podejścia systemowego\*\*\*. Zarzuty dotyczyły badań prowadzonych głównie w USA, gdzie jako założenie przyjmowano, że społeczeństwo współczesne nie jest skomplikowanym systemem przeciwstawnych sił i dążeń, lecz zuniformizowanym procesem jednokierunkowej integracji.

Refleksje na temat rozwoju infosfery i systemów masowego informowania w pełni korespondują z prawidłowościami przemian w sferze systemów informowania kierownictwa (decydentów). Systemy te w dużym stopniu determinowały skuteczność rządzenia państwem, zarządzania gospodarką i dowodzenia wojskami. Systemy informowania kierownictwa (SIK — dalej oznaczane: SI) realizowały proces informowania obsługi decydentów, po-

\* W. Afanasjew: *Człowiek a proces zarządzania społeczeństwem*. PWN, Warszawa 1980 r.

\*\* R. Holly: *Skuteczność a efektywność propagandy*. Przekazy i Opinie, nr 3 (21), 1980 r.

\*\*\* Zob. J. Pomorski: *Badanie masowego komunikowania*. PWN, Warszawa 1980 r., s. 126—141.

dejmujących decyzje polityczne, gospodarcze i dowódcze (wojskowe). Dlatego ta kategoria systemów informacyjnych interesować będzie nas szczególnie, gdyż w nich uwidacznia się z wielką mocą waga informacji jako kategorii systemowej. Mówiliśmy o tym w uwagach wstępnych otwierających niniejszy rozdział. Najogólniej można powiedzieć, że wraz z rozwojem współczesnej cywilizacji SI przeszły gruntowne przeobrażenia — od prymitywnego doraźnego zbierania i cząstkowego przetwarzania, realizowanego przez informatorów — ludzi dysponujących elementarnymi środkami zbierania, przesyłania i rejestrowania danych do współczesnych kompleksowych, o zintegrowanych funkcjach informacyjnych, systemów informatycznych. Te ostatnie obejmują szeroką klasę systemów: od pojedynczych komputerów, przez systemy liczące z możliwością zdalnego przetwarzania, do systemów teleinformatycznych (sieci komputerowych). Z punktu widzenia niniejszej pracy szczególne znaczenie przypisujemy „rewolucji informatycznej” i jej konsekwencjom dla przemian obserwowanych we współczesnych systemach informacyjnych, których rozwój dynamiczny przypada na drugą połowę XX wieku.

„Rewolucję informatyczną” związaną z dynamicznym rozwojem elektroniki i mikroelektroniki charakteryzuje masowość stosowania komputerów i nowoczesnej techniki telekomunikacji. Rozwój technologii elektronicznej, techniki komputerowej i telekomunikacyjnej w dużej mierze kształtuje pod względem kulturalnym, psychologicznym, społecznym i ekonomicznym współczesne społeczeństwa. Ogólne przemiany naukowo-techniczne spowodowały wyłonienie się informatyki — dziedziny dość szczególnej, bowiem traktowanej przez jednych jako dyscyplina naukowa, zaś przez innych — jako branża; trzecia branża świata po energetyce i motoryzacji. Jedno z najczęściej spotykanych określeń informatyki brzmi: „informatyka jest dziedziną wiedzy obejmującą dyscypliny nauki i techniki związane ze zbieraniem i przechowywaniem informacji, ich przetwarzaniem oraz sposobami ich reprezentowania, jak również z budową maszyn, urządzeń i systemów służących do tych celów”. Określenie przedmiotu można z powodzeniem zawęzić skupiając uwagę na zastosowaniach systemów liczących (komputerów). Wynika to

z instrumentalnego traktowania tej dyscypliny. Można także wyróżnić dwa podstawowe działy informatyki:

— podstawy informatyki, które obejmują: teorię systemów liczących, teorię programowania, teorię struktur danych i teorię systemów informatycznych;

— inżynierię systemów informatycznych, czyli całokształt metod i technik tworzenia systemów informatycznych, optymalnych w sensie przyjętych kryteriów zaspokojenia potrzeb informacyjnych i spełnienia wymagań użytkowników.

Przyjmując jako punkt wyjścia realizowane w ostatnich kilkunastu latach programy informatyzacji można wyróżnić następujące grupy systemów informatycznych:

— państwowe (rządowe) systemy informatyczne usprawniające działalność centralnej administracji państwowej,

— „resortowe” i „międzyresortowe” systemy,

— systemy dla potrzeb automatyzacji zarządzania w celu usprawnienia działalności organizacji gospodarczych,

— systemy automatyzacji procesów technologicznych dla sterowania procesami,

— systemy automatyzacji prac zawodowych dla usprawnienia obliczeń specjalistycznych,

— systemy abonenckie służące do „wzmocnienia” usług obliczeniowych dla zaplecza naukowo-badawczego i dydaktyki szkół oraz szeroką grupę wojskowych systemów informatycznych:

— centralne (globalne) systemy kierowania siłami zbrojnymi,

— systemy dowodzenia poszczególnych rodzajów sił zbrojnych, wojsk i służb,

— systemy kierowania ogniem,

— systemy rozpoznania i walki radioelektronicznej,

— systemy nawigacyjne itp.

Postęp w dziedzinie systemów informatycznych charakteryzuje m.in. rodzaj osiągniętego poziomu integracji. Wyróżnia się następujące rodzaje poziomów integracji:

a) poziom integracji funkcjonalnej, polegający na tym, że zadania realizowane przez poszczególne systemy przetwarzania danych wchodzi w skład pewnych zadań kompleksowych, stanowiących istotne elementy procesów kierowania; wynikają stąd

pewne postulaty ujednociające techniczno-eksploatacyjne parametry systemów liczących oraz koordynujące współdziałanie systemów;

b) poziom integracji informacyjnej, polegający na wzajemnym udostępnianiu lub wspólnym wykorzystywaniu baz danych przez wielu użytkowników, skąd wynikają warunki ujednociające formaty zapisu danych, organizację ich przechowywania, języki wyszukiwania informacji itp.;

c) poziom integracji technicznej, polegający na współpracy systemów przetwarzania danych za pośrednictwem systemów przesyłania danych (sieci telekomunikacyjnej), skąd wynikają warunki dopasowania konfiguracji sprzętowych na poziomie sygnałów, kodów maszynowych i formatów danych, instrukcji maszynowych i języków programowania;

d) poziom integracji organizacyjnej, polegający na podporządkowaniu poszczególnych systemów informatycznych jednemu centrum sterowania, które określa ich zadania perspektywiczne i bieżące, koordynujące współdziałanie systemów.

Wiele charakterystycznych cech rozwoju systemów informacyjnych staje się widocznych na tle klasyfikacji systemów dokonanych z różnych punktów widzenia, np.\*:

a) z punktu widzenia rodzaju zastosowań:

— systemy pośredniczące w przesyłaniu lub przetwarzaniu informacji (np. systemy łączności),

— systemy usługowe (np. systemy informacji naukowo-technicznej),

— systemy śledząco-nadzorujące (np. system kontroli ruchu lotniczego),

— systemy sterujące;

b) z punktu widzenia organizacji procesów:

— systemy o organizacji konwencjonalnej, w tym systemy o działaniu ciągłym, cyklicznym lub acyklicznym,

— systemy „wsadowe” i wieloprosowe (wielodostępne);

c) z punktu widzenia synchronizacji działania systemu z otoczeniem:

\* J. L. Kulikowski: *Teoretyczne podstawy organizacji systemów informacyjnych*. Archiwum Automatyki i Telemekhaniki, z. 4, t. XV, 1970 r.

- systemy pracujące w czasie „własnym”, słabo związanym z tempem zmian zachodzących w otoczeniu,
- systemy pracujące w czasie rzeczywistym;
- d) z punktu widzenia typu powiązań pomiędzy elementami systemu:
  - systemy o integracji słabej (połączenia typu „off line”),
  - systemy o integracji silnej (połączenia typu „on line”);
- e) z punktu widzenia stopnia standaryzacji elementów systemu:
  - systemy niezunifikowane,
  - systemy zunifikowane (np. na poziomie parametrów sygnałów, kodów, formatów słów, języków itp.);
- f) z punktu widzenia klasy algorytmów realizowanych w systemie:
  - systemy uniwersalne,
  - systemy specjalistyczne;
- g) z punktu widzenia autonomii sterowania w systemie:
  - systemy w pełni autonomiczne,
  - systemy o ograniczonej autonomii;
- h) z punktu widzenia stałości struktury systemu:
  - systemy stacjonarne,
  - systemy niestacjonarne (mobilne);
- i) z punktu widzenia rodzaju techniki przetwarzania informacji w systemie:
  - systemy cyfrowe lub alfanumeryczne,
  - systemy analogowe,
  - systemy hybrydowe (mieszane);
- j) z punktu widzenia stopnia automatyzacji procesów w systemie:
  - systemy tradycyjne (konwencjonalne),
  - systemy półautomatyczne,
  - systemy automatyczne.

Trzy czynniki determinują obecnie rozwój systemów informacyjnych, a mianowicie:

- postęp w dziedzinie techniki i technologii (głównie układów elektronicznych),
- postęp w dziedzinie użytkowania systemów (głównie trybu

komunikowania się człowieka z komputerem i pomiędzy komputerami),

— postęp w dziedzinie metodologii projektowania systemów.

Pierwszy z czynników obejmuje przede wszystkim osiągnięcia w dziedzinie technologii układów scalonych (wielkiej skali integracji), zastosowań laserów i światłowodów, a także w dziedzinie produkcji i skali zastosowań mikroprocesorów.

Drugi — obejmuje postęp w dziedzinie języków programowania zmierzający ku ich „nieproceduralności”, zbliżenia do cech języków naturalnych (w rezultacie stanie się możliwy dialog w systemie informatycznym).

Trzeci — obejmuje rozwój inżynierii systemów informacyjnych (informatycznych).

Ze względu na systemowy charakter poświęcimy nieco uwagi ostatniemu czynnikowi rozwoju systemów informacyjnych. Inżynieria SI jest konkretyzacją ogólnych zasad inżynierii systemów w dziedzinie projektowania, wdrażania i eksploatacji SI. Celem jest tworzenie racjonalnych i efektywnych SI, tj. takich systemów, które spełniają określone potrzeby i wymagania użytkowników. Ogólnie powiemy, że racjonalnie zaprojektowany SI powinien:

— działać efektywnie, tj. zaspokajać potrzeby informacyjne użytkowników i spełniać ich specyficzne wymagania,

— posiadać dobrze określone możliwości realizacji funkcji (poszczególnych rodzajów procesów informacyjnych),

— być wyposażony w efektywne oprogramowanie systemowe i użytkowe,

— posiadać określoną metodologię projektowania i rozwoju oraz określone zasady eksploatacji (obsługi i użytkowania),

— pozwalać na dokładną, bieżącą ocenę efektywności działania.

Aby temu sprostać, powinny być spełnione następujące warunki:

a) warunki organizacyjne, czyli konieczność przystosowania struktury organizacyjnej systemu użytkownika do wymagań wynikających ze specyfiki SI;

b) warunki informacyjne, czyli konieczność pełnej identyfikacji potrzeb informacyjnych użytkowników;



c) warunki techniczne, czyli konieczność właściwego wyboru technicznych i programowych środków informatyki (i telekomunikacji) oraz stworzenie im racjonalnych warunków eksploatacji;

d) warunki ekonomiczne, czyli konieczność prowadzenia analizy ekonomicznej procesu projektowania, wdrażania i eksploatacji.

Z powyższych rozważań wynika jednoznacznie, że przyszłość w sferze informacyjnej określają systemy informatyczne. Rosnąć zatem będzie rola informatyki — jej rozwój określać będzie postęp w sferze społecznych procesów informacyjnych. Rolę informatyki trafnie charakteryzuje następująca wypowiedź\*: „Informatyka w Polsce wciąż jeszcze znajduje się w stanie, w którym więcej pochłania środków dla swego rozwoju niż zwraca ich w postaci wymiernych korzyści. Jakkolwiek dążymy do tego, aby ten stan rzeczy możliwie szybko uległ zmianie na lepsze, nie można zapomnieć, że korzyści społeczne wynikające z rozwoju informatyki nigdy nie będą w pełni wymierne w pieniądzu. Jak bowiem wymierzyć korzyści z faktu, że statystyczny obywatel składa rocznie o kilka załączników do podań mniej niż dotychczas? Jak ocenić korzyść z tego, że hurtownie szybciej reagować będą na wahania popytu na rynku, że radca prawny przedsiębiorstwa lub adwokat otrzyma na żądanie pełny, gwarantowany wykaz przepisów prawnych mających związek z rozpatrywaną sprawą? Czy w samym stwierdzeniu, że będzie to możliwe, nie mieści się wystarczające uzasadnienie dla działań podejmowanych, by taki stan osiągnąć? Jeśli mówimy o konieczności sprawdzania efektywności systemów informatycznych, nie powinniśmy tego postulatu traktować zbyt wąsko. Systemy informatyczne powinny spełniać jakościowe kryteria przydatności społecznej, a w miarę możliwości — również ilościowe kryteria ich efektywności”.

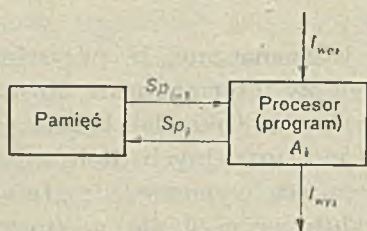
#### 4. Analiza systemowa procesów informacyjnych

Poniżej przedstawimy ogólny model SI pozwalający na jego badanie (analizę, ocenę i syntezę). Jako punkt wyjścia przyj-

\* J. L. Kulikowski: *Człowiek i Światopogląd*, Problemy, nr 7—8, 1975 r.

miemy model elementu informacyjnego czyli informatora. Przyjęto, że informator tworzony jest przez (rys. 2.4):

- układ realizatora oraz
- układ pamięci.



2.4. Ogólny model elementu informacyjnego (informatora)

Informator realizuje jeden rodzaj elementarnego procesu informacyjnego, tj. przesyłanie, przechowywanie i przetwarzanie informacji. Przesyłanie realizowane pomiędzy źródłem (nadawcą) informacji a dowolnym innym elementem informacyjnym nazywać będziemy zbieraniem informacji, natomiast przesyłanie pomiędzy dowolnym elementem informacyjnym a odbiorcą (użytkownikiem, adresatem) informacji nazywać będziemy rozpowszechnianiem (udostępnianiem) informacji.

Informator opisywany jest w sposób następujący: dane są informacje na wejściu układu realizatora  $I_{we_i}$ , program realizatora  $A_i$ , informacje na wyjściu układu realizatora  $I_{wy_i}$  oraz  $Sp_i$  — stan pamięci informatora.

Powiemy, że informacje na wyjściu układu realizatora określone są następująco:

$$I_{wy_i} = A_i(I_{we_i}, Sp_{i-1})$$

zaś aktualny stan pamięci

$$Sp_i = Sp_i(T_{we_i}, T_{wy_i}, Sp_{i-1})$$

Wykorzystując przyjętą konwencję, określimy podstawowe rodzaje elementów informacyjnych:

a) elementem przesyłania informacji nazywamy taki element informacyjny, dla którego spełnione są warunki

$$I_{wy_i} = A_i(I_{we_i}, Sp_{i-1}) \equiv I_{we_i}^*$$

przy czym:  $I_{wy_i}(t) = I_{we_i}(t - \tau p_i)$ ,  $\tau p_i$  — czas przesyłania informacji, oraz  $Sp_i = Sp_{i-1}$ ;

b) elementem przechowywania informacji nazywamy taki element informacyjny, dla którego spełnione są warunki:

$$I_{wy_i} = A_i(I_{we_i}, Sp_{i-1}) \equiv I_{we_i}$$

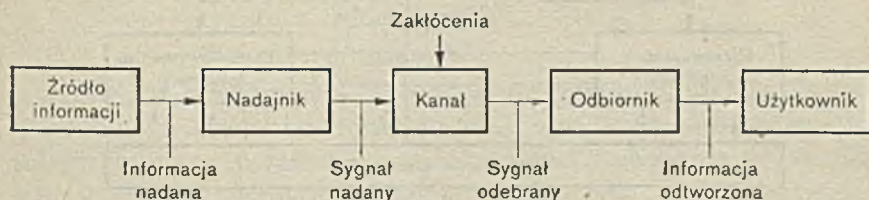
przy czym:  $I_{wy_i}(t) = I_{we_i}(t - \tau a_i)$ ,  $\tau a_i$  — czas przechowywania informacji,  $I_{we_i} \leq I_{we_i}$ , oraz  $Sp_i = I_{we_i}$ ;

c) elementem przetwarzania informacji nazywamy taki element informacyjny, dla którego spełnione są warunki:

$$I_{wy_i} = A_i(I_{we_i}, Sp_{i-1}) \neq I_{we_i}$$

przy czym:  $I_{wy_i}(t) = A_i(I_{we_i}, Sp_{i-1}, t - \tau r_i)$ ,  $\tau r_i$  — czas przetwarzania informacji, oraz  $Sp_i = Sp_i(I_{we_i}, I_{wy_i}, Sp_{i-1})$ .

W związku z powyższym prosty model toru komunikacyjnego tworzy będą (rys. 2.5): źródło, element przesyłania (zbierania),



## 2.5. Telekomunikacyjne ujęcie systemu informacyjnego

element przechowywania, element przetwarzania, element przesyłania (udostępniania) informacji. W ten sposób możemy dokonać analizy opóźnień wnoszonych przez tor komunikacyjny, a więc czasu trwania procesu informacyjnego.

Wobec tego, systemem informacyjnym będziemy nazywać taki system działania, który tworzą  $\mathcal{M}^I$  — zbiór elementów informacyjnych (informatorów) i  $\mathcal{R}^I$  — zbiór powiązań (relacji) pomiędzy elementami informacyjnymi ( $\mathcal{R}^I \subset \mathcal{M}^I \times \mathcal{M}^I$ ),

\* W celu uproszczenia rozważań nie uwzględniany jest wpływ szumów.

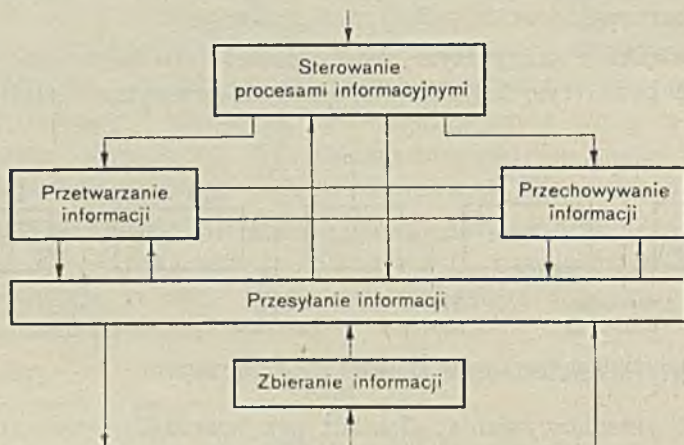
czyli

$$SI = \langle M^I, R^I \rangle$$

Poszczególne elementy systemu informacyjnego mogą być grupowane ze względu na rodzaj realizowanych procesów, a wtedy możemy wyróżnić następujące podsystemy:

- system zbierania informacji,
- system przesyłania informacji,
- system przechowywania informacji,
- system przetwarzania informacji,
- system rozpowszechniania informacji.

Inny podział systemu informacyjnego na podsystemy uwzględnia specyficzne funkcje wykonywane ze względu na charakter cech systemowych. Wtedy można wyróżnić następujące układy funkcjonalne (rys. 2.6), tworzące kompleksowy model SI:



2.6. Ogólny model systemu informacyjnego

- receptor, czyli układ zbierający informacje pierwotne,
- filtr, czyli układ dokonujący filtracji i selekcji zebranych informacji,
- klasyfikator sytuacji informacyjnych,
- akumulator, czyli układ przechowujący informacje,
- procesor, czyli układ przetwarzający informacje,
- ewaluator, czyli układ oceniający informacje,

- optymalizator, czyli układ sterujący przebiegiem procesów informacyjnych,
- dyspozytor, czyli układ rozdzielający informacje między użytkowników,
- efektor, czyli układ udostępniający informacje użytkownikom.

Ogólnie, formalny model systemu informatycznego przedstawimy w postaci „czwórki”:

$$SI = \langle \mathcal{P}, \sigma, \delta, E \rangle$$

- gdzie:  $\mathcal{P}$  — zbiór realizowanych procesów informacyjnych,  
 $\sigma$  — struktury systemu,  
 $\delta$  — sterowanie,  
 $E$  — wskaźniki oceny efektywności systemu.

Celowe jest przyjęcie następującego opisu struktury SI:

$$\sigma = (\sigma_p, \sigma_T, \sigma_1, \sigma_0)$$

- gdzie:  $\sigma_p$  — struktura przestrzenna,  
 $\sigma_T$  — struktura techniczna,  
 $\sigma_1$  — struktura informacyjna,  
 $\sigma_0$  — struktura programowa.

Struktura przestrzenna SI określa przestrzenną lokalizację poszczególnych elementów systemu wraz z powiązaniem (relacjami) informacyjnymi pomiędzy nimi. Struktura techniczna SI określa rozmieszczenie technicznych środków zbierania, przesyłania, przechowywania i przetwarzania informacji w poszczególnych elementach SI. Struktura informacyjna SI określa rozmieszczenie zasobów informacyjnych użytkowników systemu w poszczególnych elementach SI. Struktura programowa SI określa rozmieszczenie zasobów programowych, obejmujących oprogramowanie systemowe i użytkowe, w poszczególnych elementach SI, zgodnie z potrzebami i wymaganiami użytkowników.

Formalnie dowolną strukturę SI można przedstawić w postaci grafu (dimultigrafu) lub sieci skierowanej. Węzłami grafów mogą być numery (nazwy) punktów lokalizacji, urządzeń technicznych, zbiorów danych lub pakietów programów, natomiast łukami — relacje funkcjonalne, informacyjne, techniczne, programowe itp.

Analiza systemowa SI obejmuje także analizę strukturalną systemu, polegającą na rozwiązaniu istotnych problemów decyzyjnych związanych z optymalizacją struktur systemu (np. optymalne rozmieszczenie zasobów informacyjnych, technicznych i programowych systemu).

Zanim zdefiniujemy sterowanie SI, przedstawimy problem optymalizacji struktury SI\*.

Załóżmy, że dany jest pewien zbiór wiadomości  $A$ , które można podzielić na semantycznie odrębne podzbiory  $A_k$ ,  $k=\overline{1, K}$ . Dana jest struktura przestrzenna systemu, a więc określone są punkty przechowywania informacji:  $Q_i$ ,  $i=\overline{1, I}$ . Do poszczególnych punktów  $Q_i$  zgłaszane są żądania udostępnienia określonych wiadomości ze zbiorów  $A_k$ . Zakłada się, że za udostępnienie żądanej wiadomości płacona jest stawka zależna od tego, z którego podzbioru  $A_k$  udostępniana jest wiadomość, oraz od tego, ile czasu upłynęło od chwili złożenia zapotrzebowania na daną wiadomość do chwili jej otrzymania. Koszty własne systemu obejmują:

- koszty wprowadzenia informacji do pamięci w węzłach,
- koszty przechowywania informacji,
- koszty przesyłania informacji między węzłami,
- koszty manipulacyjne związane z wyszukiwaniem potrzebnej wiadomości, przygotowaniem do przesłania i przesłaniem do odbiorcy.

Wprowadzono następujące oznaczenia:

- $c_i$  — koszt wprowadzenia jednostki informacji do pamięci w węźle  $Q_i$ ,  $i \in \langle 1, I \rangle$ ,
- $q_i$  — koszt przechowywania jednostki informacji w jednostce czasu w pamięci węzła  $Q_i$ ,
- $V_i$  — dopuszczalna ilość informacji, jaka może być przechowywana w pamięci węzła  $Q_i$ ,
- $r_{ij}$  — odległość między węzłem  $Q_i$  i  $Q_j$ ,
- $n_k$  — ilość informacji zawarta w wiadomości z podzbioru  $A_k$ ,
- $N_k$  — ilość informacji zawarta w zbiorze  $A_k$ ,
- $u_{jk}$  — deklarowana opłata za dostarczenie wiadomości z podzbioru  $A_k$  odbiorcy w węźle  $Q_j$ , przy założeniu, że opóźnienie realizacji zamówienia jest równe zeru,

\* J. L. Kulikowski: *Teoretyczne podstawy...*, wyd. cyt.

$z_{jk}$  — liczba zapotrzebowań na wiadomości ze zbioru  $A_k$  zgłaszanych w jednostce czasu w węzle  $Q_j$ ,

$h_i$  — koszt utrzymania (eksploatacji i akumulacji) węzła  $Q_i$  w jednostce czasu

oraz zmienne stanu

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{jeśli podzbiór wiadomości } A_k \text{ zlokalizowany jest w węzle } Q_i \text{ i jest udostępniany odbiorcom z węzła } Q_j, \\ 0, & \text{w przeciwnym wypadku.} \end{cases}$$

Zysk systemu określany jest jako funkcja zmiennych stanu. W każdej jednostce czasu do węzła  $Q_j$  wpływa  $z_{jk}$  zapotrzebowań, za które, gdyby zostały zrealizowane natychmiast, odbiorcy płaciliby w jednostce czasu  $z_{jk} u_{jk}$  jednostek pieniężnych. Ponieważ wiadomości z podzbioru  $A_k$  w węzle  $Q_i$  dostarczane są odbiorcom w węzle  $Q_j$  z opóźnieniem  $t_{ijk}$ , odbiorca zapłaci sumę wynoszącą

$$x_{ijk} z_{jk} u_{jk} \exp(-H_{jk} t_{jk})$$

przy czym  $H_{jk}$  jest pewnym dodatnim współczynnikiem dewaluacji wiadomości ze zbioru  $A_k$  z punktu widzenia odbiorcy w węzle  $Q_j$ .

Opóźnienie  $t_{ijk}$  składa się ze składników:

$t'_{ij}$  — czasu niezbędnego do tego, by zapotrzebowanie na wiadomość zgłoszone w węzle  $Q_j$ , przekazać do węzła  $Q_i$ ,

$t''_i$  — czasu poszukiwania żądanej wiadomości w pamięci węzła  $Q_i$ ,

$t'''_{ijk}$  — czasu potrzebnego do przygotowania wiadomości z podzbioru  $A_k$  do wysyłki i przesłania jej z  $Q_i$  do  $Q_j$ :

$$t_{ijk} = t'_{ij} + t''_i + t'''_{ijk}$$

Zakłada się, że opóźnienie  $t'_{ij}$  związane jest jedynie z odległością między węzłami

$$t'_{ij} = a' r_{ij}, \quad a' \geq 0.$$

Czas poszukiwania wiadomości  $t''_i$  związany jest głównie z ilością informacji przechowywanej w węzle

$$t''_i = a'' \ln \left( b \sum_{k=1}^k x_{ik} N_k \right)$$

gdzie  $a'' \geq 0$ ,  $b \geq 0$ .

Czas  $t'''_{ijk}$  zależy zarówno od odległości między węzłami, jak i od objętości przesyłanej wiadomości

$$t'''_{ijk} = d' r_{ji} + d'' n_k$$

przy czym  $d' \geq 0$ ,  $d'' \geq 0$ .

Odbiorcy zgłaszający się do węzła  $Q_j$  zapłacą w jednostce czasu za realizację swych zamówień następującą kwotę

$$\begin{aligned} Z_j &= \sum_{i=1}^K \sum_{k=1}^K x_{ijk} z_{jk} u_{jk} \exp \{ -H_{jk} [a' r_{ji} + \\ &\quad + a'' \ln (b \sum_{l=1}^K x_{ll} N_l) + d' r_{ji} + d'' n_k] \} = \\ &= \sum_{i=1}^K \sum_{k=1}^K x_{ijk} z_{jk} u_{jk} (b \sum_{l=1}^K x_{ll} N_l) \exp (-a'' H_{jk}) \times \\ &\quad \times \exp [-H_{jk} (a' r_{ji} + d' r_{ji} + d'' n_k)] \end{aligned}$$

Zysk systemu brutto pochodzący ze wszystkich węzłów wynosi

$$Z = \sum_{j=1}^I z_j$$

Koszty eksploatacji systemu w jednostce czasu tworzą następujące składniki:

- koszty eksploatacji i akumulacji poszczególnych węzłów,
- koszty wprowadzania informacji do pamięci,
- koszty przechowywania informacji,
- stałe koszty realizacji zapotrzebowań (koszty manipulacyjne),

- koszty sygnalizowania zapotrzebowań,
- koszty przesyłania żądanych wiadomości do odbiorców.

Koszt związany z wprowadzeniem informacji do pamięci wynosi

$$K_i^1 = \frac{1}{T} \sum_{k=1}^K x_{ik} c_i N_k$$

przy czym, ponieważ jest to koszt jednorazowy, jest on odniesiony do okresu  $T$  pełnej akumulacji systemu.

Koszt przechowywania informacji w węzle  $Q_i$  w jednostce czasu wynosi



$$K_i^{II} = \sum_{k=1}^K x_{ik} g_i N_k$$

Koszty manipulacyjne związane z wyszukiwaniem informacji i przygotowaniem ich do wysyłki wynoszą

$$K_i^{III} = \sum_{j=1}^I \sum_{k=1}^K x_{ij} z_{jk} l_{ik}$$

gdzie  $l_{ik}$  jest kosztem manipulacyjnym obróbki pojedynczej wiadomości ze zbioru  $A_k$  w węzle  $Q_i$ .

Koszty sygnalizacji zapotrzebowań zgłoszonych do węzła w jednostce czasu wynoszą

$$K_i^{IV} = f \sum_{j=1}^I \sum_{k=1}^K x_{jlk} z_{lk} r_{lj}$$

Koszty przesyłania wiadomości do punktów przeznaczenia w jednostce czasu

$$K_i^V = \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_{ijk} z_{jk} (f' r_{lj} + f'' n_k)$$

przy czym  $f$ ,  $f'$ ,  $f''$  są pewnymi współczynnikami proporcjonalności.

Pełny koszt eksploatacji systemu w jednostce czasu wynosi

$$K = \sum_{i=1}^J (K_i^I + K_i^{II} + K_i^{III} + K_i^{IV} + K_i^V)$$

A zatem zysk czysty (netto) systemu w jednostce czasu wyniesie

$$E = Z - K$$

Problem optymalizacji struktury informacyjnej SI można przedstawić następująco

$$E(x) \rightarrow \max$$

przy ograniczeniach

$$x_{ijk} \geq 0 \quad \text{dla } i, j \in \langle 1, I \rangle, \quad k \in \langle 1, K \rangle$$

$$x_{ijk} \leq 1$$

oraz przy żądaniu, aby określony rodzaj wiadomości do każdego węzła był dostarczany nie więcej niż z jednego węzła, czyli

$$\sum_{i+1}^I x_{ijk} \leq 1 \quad \text{dla } j \in \langle 1, I \rangle, k \in \langle 1, K \rangle$$

a ponadto, ażeby wiadomości każdego rodzaju zostały przechowywane w przynajmniej jednym węźle systemu, czyli

$$\sum_{i+1}^I \sum_{j+1}^I x_{ijk} > 0 \quad \text{dla } k \in \langle 1, K \rangle$$

W ten sposób otrzymano zagadnienie optymalizacji nieliniowej (funkcja  $Z$  jest funkcją nieliniową, zaś ograniczenia są liniowe).

Jeżeli dokonamy linearyzacji funkcji  $Z$ , a ponadto dodamy ograniczenie

$$\sum_{k+1}^K x_{ijk} \leq 1 \quad \text{dla } i \in \langle 1, I \rangle$$

to problem optymalizacji struktury informacyjnej SI zostanie sprowadzony do typowego zadania optymalizacji liniowej w liczbach binarnych (zmienna decyzyjna przyjmuje wartości 0 lub 1).

W modelu sterowania SI wyróżnimy trzy poziomy sterowania:

- poziom sterowania zasobami,
- poziom sterowania przetwarzaniem informacji,
- poziom sterowania przesyłaniem informacji.

Najczęściej przyjmuje się, że zasoby SI (głównie systemu liczącego) tworzą:

- zbiór urządzeń,
- zbiór jednostek pamięci,
- zbiór danych systemowych (oprogramowanie systemowe),
- zbiór wartości pojemności pamięci.

System liczący realizuje pewien zbiór zadań — zleceń użytkowników. Sterowanie zasobami w systemie liczącym polega na tym, że każdemu urządzeniu systemu przypisywane jest pewne zadanie, każdemu zadaniu — pewna jednostka pamięci i dane systemowe. Sterowanie zasobami realizowane jest w wypadku spełnienia pewnych warunków dotyczących pojemności wykorzystywanej pamięci i wymaganych czasów realizacji poszczególnych zadań — zleceń użytkowników.

Sterowanie przetwarzaniem wyraża istotę działania systemu operacyjnego — zasadniczego elementu oprogramowania podsta-

wowego systemu liczącego. Określane są reakcje systemu w zależności od tzw. przerw w wewnętrznych i zewnętrznych\*.

Sterowanie przesyłaniem informacji w SI\*\* polega na wyborze takich algorytmów sterowania przepływem informacji, które umożliwią:

— wyznaczanie najkrótszej i (lub) najbardziej niezawodnej drogi pomiędzy określonymi węzłami (elementami) systemu,

— wyznaczanie najkrótszej i (lub) najbardziej niezawodnej drogi pomiędzy określonymi węzłami a wszystkimi pozostałymi elementami systemu,

— wyznaczanie najkrótszej i (lub) najbardziej niezawodnej drogi między wybraną parą węzłów, przechodzącej przez określony zbiór węzłów pośrednich itp.

Powiemy więc, że dla danego SI muszą być określone algorytmy sterowania umożliwiające takie przesyłanie informacji w systemie, aby minimalizowany był czas przesyłania informacji pomiędzy dowolnymi węzłami sieci (elementami systemu), przy jednoczesnym zapewnieniu maksymalnej niezawodności systemu.

Współczesne tendencje integracyjne w zakresie przechowywania informacji doprowadziły do powstania specyficznego elementu SI nazywanego bankiem danych. Bankiem danych nazywać będziemy taki element SI, który realizuje podstawowe wymagania w zakresie przechowywania i operowania zbiorami danych niezbędnymi dla efektywnego zaspokajania potrzeb informacyjnych użytkowników.

Bank danych realizuje następujące funkcje: opis danych, wprowadzanie danych (zakładanie zbiorów danych), przechowywanie danych, aktualizacja danych, zabezpieczenie danych przed niepożądanym dostępem, tworzenie żądanych form udostępniania danych użytkownikom SI. Powiemy zatem, że bank danych umożliwia tworzenie optymalnych zasobów informacyjnych oraz zapewnia optymalne ich wykorzystywanie w procesie obsługi użytkowników. Z drugiej zaś strony, stanowi on czynnik integrujący infosferę określonego użytkownika.

\* Np. P. B. Hansen: *Podstawy systemów operacyjnych*. WNT, W-wa 1979 r.

\*\* Np. J. Seidler: *Analiza i synteza sieci łączności dla systemów teleinformatycznych*. PWN, W-wa 1979 r.

Elementem banku danych jest system zarządzania bazą danych, czyli zbiór odpowiednich programów sterujących, które umożliwiają automatyczną identyfikację sytuacji na wejściu systemu liczącego i zapewniają w każdym momencie jednoznaczne przyporządkowanie dowolnej sytuacji odpowiednio wybranego programu sterującego. Bazę danych stanowią zbiory danych zorganizowane zgodnie z potrzebami i wymaganiami użytkowników.

Programy systemu zarządzania bazą danych zapewniają realizację następujących operacji na danych zawartych w bazie danych:

- przechowywanie danych (założenie zbiorów danych),
- aktualizację danych przechowywanych w bazie danych,
- modyfikację danych (zmianę struktury danych),
- wyszukiwanie określonych danych z bazy danych, będących prostą odpowiedzią na pytania użytkownika.

Trzecim elementem banku danych są języki banku danych. Są one efektywnym środkiem komunikowania się z bazą danych, pozwalając na formułowanie żądań kierowanych do bazy danych, opis struktur danych, manipulowanie danymi, formułowanie zapytań itp.

Wyróżniane elementy banku danych powinny być tak skonstruowane, aby spełnione zostały podstawowe wymagania użytkowników. I to stanowi dziś jedno z podstawowych zadań rozwijającej się inżynierii systemów informatycznych.

Oprócz wyżej przedstawionych, bank danych powinien spełniać wymagania użytkowników w zakresie:

- redundancji, czyli określonego stopnia powtarzalności danych w bazie danych,
- dostępności do danych, czyli prawdopodobieństwa wyszukania (uaktualnienia) dowolnej danej w bazie,
- stopy błędu, czyli prawdopodobieństwa wystąpienia błędu przy wypełnianiu zamówień, przesyłaniu i wyszukiwaniu danych,
- kompletność i dokładność odpowiedzi na pytanie — zlecenie użytkownika.

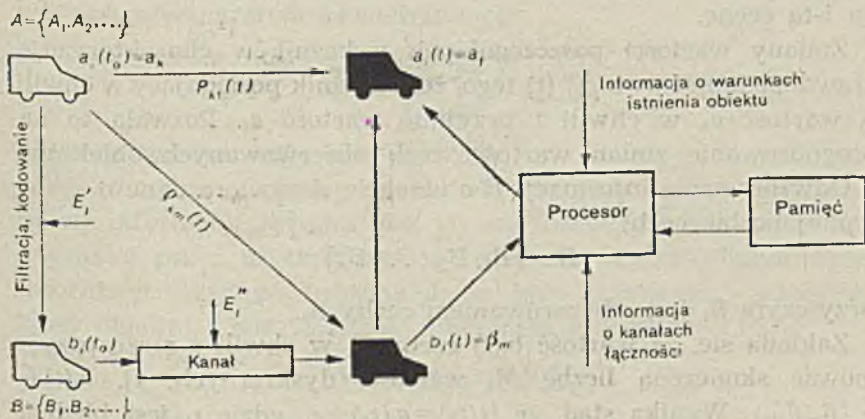
Integracyjna rola banku danych w SI polega na tym, że wewnętrznie powiązane i wspólnie przechowywane dane bez

szkodliwej lub niepotrzebnej redundancji służą określonym użytkownikom i zastosowaniom, a ponadto

- dane są przechowywane tak, aby były one niezależne od programów, które je wykorzystują;
- stosowany jest wspólny i kontrolowany sposób aktualizacji, modyfikacji i wyszukiwania danych;
- zapewnione jest formułowanie odpowiedzi na bliżej nie określone formy żądań informacji;
- zapewnione są efektywne procedury kontroli tajności, ochrony oraz jakości danych.

Spełniając wymienione warunki banki danych stanowią w chwili obecnej bardzo istotny element współczesnych systemów informatycznych\*.

Na zakończenie rozważań dotyczących analizy systemowej procesów informacyjnych realizowanych we współczesnych SI przedstawimy uwagi, których przedmiotem będą jakościowe cechy informacji. Efektywność SI można mierzyć zmianą wartości informacji tworzących główny obieg w systemie. W związku z tym należy określić pojęcie wartości informacji będące uzupełnieniem, przedstawionego już, pojęcia ilości informacji (rys. 2.7).



## 2.7. Kształtowanie się wartości informacji w systemie informacyjnym według W. Rogińskiego

\* C. J. Date: *Wprowadzenie do baz danych*. WNT, W-wa 1981 r. Zob. także pracę autora w książce pt. *Metody cybernetyczne w zarządzaniu*. Ossolineum, Wrocław 1979 r., s. 269—286.

Każdy obiekt (zdarzenie, proces) charakteryzuje zbiór istotnych cech  $A_1, A_2, \dots$ , których liczba zależy od klasy obiektu. Każda cecha  $A_i$  danego obiektu w momencie  $t$  przyjmuje określoną wartość  $a_i(t)$ \*. W dowolnej chwili  $t$  obiekt opisany jest ciągiem

$$A(t) = \{a_1(t), a_2(t), \dots\}$$

przy czym interesować nas będą te cechy, które można wyrazić za pomocą liczb. Wśród cech mogą być wydzielone skończone zbiory

$$\bar{A}_j = \{A_{j1}, A_{j2}, \dots, A_{jn}\}$$

gdzie  $A_{ji} \in \{A_i\}$  są cechami, między wartościami których istnieją takie związki deterministyczne lub statystyczne, że znając wartości jednych można określić wartości innych (lub ich prawdopodobieństwo)\*\*.

Wartości poszczególnych cech obiektu zmieniają się w czasie, tzn. jeżeli w chwili  $t_0$  cecha  $A_i$  miała wartość  $a_i(t_0) = a_k$ , to w chwili  $t > t_0$  będzie miała wartość

$$a_i(t) = a_i(t_0) + \xi_i(t)$$

gdzie  $\xi_i(t)$  jest wskaźnikiem „starzenia się” obiektu ze względu na  $i$ -tą cechę.

Zmiany wartości poszczególnych wskaźników charakteryzuje prawdopodobieństwo  $p_{ki}^{(j)}(t)$  tego, że wskaźnik posiadający w chwili  $t_0$  wartość  $a_k$  w chwili  $t$  przyjmie wartość  $a_i$ . Pozwala to na prognozowanie zmian wartości cech obserwowanych obiektów.

Odwzorowanie informacji  $B$  o obiekcie  $A$  zawiera dane o skończonej liczbie cech:

$$B = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}$$

przy czym  $B_i$  jest odwzorowaniem cechy  $A_i$ .

Zakłada się, że wartość  $b_i(t)$  cechy  $B_i$  w chwili  $t$  może przyjmować skończoną liczbę  $M_i$  wartości dyskretnych, tj.  $b_i(t) \in \langle \beta_i, \beta_{M_i} \rangle$ . Wynika stąd, że  $b_i(t_0) = a_i(t_0) + \varepsilon_i$ , gdzie  $\varepsilon_i$  jest błędem

\* Wartość cechy, ogólnie biorąc, może być kategorią abstrakcyjną, semantyczną.

W. N. Roginskij: *Wwiedienije w teorii sietiej swiazi*. cz. 1 — Siet swiazi i jego struktura. Moskwa 1976 r.

\*\* A. Baborski, M. Duda, S. Forlicz: *Elementy cybernetyki ekonomicznej*. PWE, W-wa 1977 r.

pomiaru (obserwacji). Informacją o obiekcie w chwili  $t_0$  nazywać będziemy wektor

$$\langle b_1(t_0), b_2(t_0), \dots, b_n(t_0) \rangle$$

który przeniesiony na materialny nośnik informacji tworzyć będzie wiadomość (komunikat) o obiekcie.

W procesie przechowywania i przesyłania wiadomości mają miejsca zakłócenia, zniekształcenia itp., które powodują, że powstaje pewna różnica między „oryginałem” a „obrazem” wartości cechy  $A_i$

$$\delta_i(t) = a_i(t) - b_i(t)$$

Różnica ta stanowi błąd wywołany takimi czynnikami, jak

- dokładność odwzorowania (pomiaru, obserwacji),
- błędami powstałymi przy przesyłaniu i przechowywaniu informacji,
- „starzeniem się” obiektu, niezależnym od systemu informacyjnego.

Całkowity błąd określony jest za pomocą wektora

$$\delta(t) = \langle \delta_1(t), \dots, \delta_n(t) \rangle$$

lub oszacowania średniokwadratowego

$$\Delta(t) = \sqrt{\sum_{i=1}^n [c_i \delta_i(t)]^2}$$

gdzie  $c_i$  oznacza wagę  $i$ -tej cechy.

W ramach przedstawionego modelu pod pojęciem wartości (ceności) informacji rozumie się jej wartość użytkową, tzn. efekt uzyskany przez użytkownika w rezultacie wykorzystania danej informacji. Wartość informacji, w tym przypadku, zależy od klasy obiektu i wiarygodności komunikatu, czyli

$$V(t) = v[A(t), \delta(t)]$$

Jeżeli cecha  $A_j$  przyjmuje  $L_j$  dyskretnych wartości  $a_1, \dots, a_{l_j}$ , natomiast komunikat  $b_j(t)$  przyjmuje jedną z  $M_j$  dyskretnych wartości  $\beta_1, \dots, \beta_{m_j}$ , to wartość  $\gamma_{lm}$  oznacza efekt użytkownika uzyskany w przypadku, kiedy:  $a_j(t) = a_l$  oraz  $b_j(t) = \beta_m$ ,  $l \in \langle 1, L_j \rangle$ ,  $m \in \langle 1, M_j \rangle$ .

Wartość informacji określa wyrażenie

$$V(t) = \sum_{l, m} [\gamma_{lm} \sum_{k=1}^L p_a(k) p_{kl}(t) \xi_{km}(t)]$$

gdzie  $p_a(k)$  jest prawdopodobieństwem tego, że jeżeli  $a_j(t_0) = a_k$ , to użytkownik otrzyma  $b_l(t) = \beta_m = \xi_{km}(t)$ .

Rozpatrzmy dwa charakterystyczne przypadki

a) gdy obiekt nie zmienia się w czasie, tj.  $a_i(t) = a_i(t_0) = a_k$ , to wtedy

$$V(t) = \sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^L p_a(k) p_{kl}(t) \gamma_{lk}$$

b) gdy SI nie wnosi zniekształceń, tj.  $b_l(t) = a_l(t_0) = a_k$ , to wtedy

$$V(t) = \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^L p_a(K) \xi_{km}(t) \gamma_{km}$$

Jeżeli w SI przesyłanych jest  $r$  rodzajów wiadomości o różnych funkcjach wartości, rozkładach prawdopodobieństwa czasu dostarczania informacji do odbiorców  $|w_j(t)|$  oraz różnych kosztach dostarczania informacji  $|K_j|$ , to wtedy wartość informacji w systemie określa funkcja

$$V = \sum_{j=1}^r \left[ \int_0^{\infty} V_j(t) w_j(t) dt - K_j \right]$$

Analizując podstawowe cechy jakościowe informacji należy stwierdzić, że jakością informacji  $Q$  nazywamy cechę informacji wyrażającą stopień spełnienia wymagań stawianych przez użytkowników dotyczących:

— aktualności  $\alpha$ , czyli cechy wyrażającej fakt otrzymania przez użytkownika informacji w pożądanym (wymaganym) czasie;

— pełności  $\beta$ , czyli cechy wyrażającej zawartość rzeczywistych informacji o obiekcie w danej wiadomości;

— niezawodności  $\gamma$ , czyli cechy wyrażającej stopień wpływu zniekształceń i zakłóceń na informacje dostarczone użytkownikowi w danej wiadomości.

Jakość informacji jako kompleksową cechę wiadomości przedstawić można w postaci

$$Q = Q[\alpha, \beta, \gamma]$$



Ogólnie rzecz biorąc, aktualność zależy od takich charakterystyk SI, jak:

- metody zdobywania (zbierania) informacji,
- konfiguracja sieci przesyłania informacji,
- parametry kanałów informacyjnych,
- niezawodność sieci,
- intensywność przepływu informacji (obciążenie systemu) itp.

Pełność (kompletność) informacji zależy przede wszystkim od metod pomiaru (obserwacji) wartości cech obiektu, dokładności pomiaru, stopnia zniekształceń (zakłóceń) itp. Niezawodność (wiarogodność) informacji uzależniona jest od własności zbioru sygnałów wejściowych, które mogą być przekładane na wejściu kanału, własności zbioru sygnałów wyjściowych, gdy ustalony jest sygnał wejściowy, a także: charakterystyki kanałów telekomunikacyjnych, kodów i reguł decyzyjnych stosowanych w odbiorniku itp.\*

Wnioski z analizy jakości informacji można sformułować w następującej postaci:

— im większa jest pełność informacji (większy udział informacji pożądanej), tym większa jest wartość informacji;

— im większa jest aktualność informacji (mniejsze opóźnienie od chwili wystąpienia do chwili udostępnienia informacji), tym większa jest wartość informacji;

— im większa jest niezawodność informacji (mniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia błędów, przekłamań itp.), tym większa jest wartość informacji.

Przedstawione ujęcie problemu jakości informacji wyraża przede wszystkim aspekt techniczny, a ściślej — wpływ struktury i wyposażenia technicznego SI na cechy informacji oceniany z punktu widzenia wymagań użytkowników.

Pragmatyczny aspekt wartości informacji legł u podstaw wielu koncepcji, np. J. Marschaka i R. Radnera\*\* oraz K. Szaniawskiego\*\*\*. Koncepcje te pozwalają na określenie użyteczności informacji  $U(I)$ , przy czym użyteczność ustala się ze względu na

\* J. Seidler: *Systemy przesyłania informacji cyfrowych*. WNT, W-wa 1976 r.

\*\* J. Marschak, R. Radner: *Ekonomiczna teoria zespołów*. PWE W-wa 1972 r.

\*\*\* K. Szaniawski: *Pragmatyczna wartość informacji*. Problemy psychologii matematycznej. PWN, W-wa, 1971 r.

problem decyzji oraz kryterium decyzji. Oznacza to, że użyteczna informacja to tyle, co użyteczna informacja dla określonego decydenta stojącego wobec pewnego problemu decyzyjnego i stosującego określone kryterium decyzji. Relatywizacja pojęcia użyteczności informacji wyraża właśnie pragmatyczny jej aspekt. Dlatego do zagadnienia tego powrócimy podczas omawiania informacyjnych uwarunkowań procesu decyzyjnego\*.

Na zakończenie powiemy, że wartość informacji stanowi systemową cechę wyrażającą jakość i użyteczność informacji, czyli

$$V(I) = V[Q(I), U(I)]$$

Zagadnienie oceny wartości (jakości, użyteczności) informacji będziemy wiązać z oceną efektywności systemów informacyjnych. Dotychczasowe doświadczenia wskazują na konieczność wyboru jednego z czterech wskaźników oceny efektywności, a mianowicie:

a) wartości informacji  $V_1(t)$  udostępnianych użytkownikom w danym procesie działania w określonym okresie i warunkach;

b) czas zwrotu nakładów inwestycyjnych ( $T_x$ ) lub wartość całkowitych kosztów projektowania, wdrażania i eksploatacji systemu ( $K$ );

c) niezawodność systemu  $R(t)$  i jego środków technicznych i programowych;

d) wielkość efektu organizacyjnego  $A_\alpha$  będącego rezultatem wdrożenia systemu informacyjnego w danej organizacji.

Każdy z wymienionych wskaźników oceny może być przyjęty do oceny rzeczywistych SI, zaś ostateczny wybór zależy od typu i rodzaju przeznaczenia systemu. Dla systemów gospodarczych szczególnie znaczenie będą miały wskaźniki:  $T_x$ ,  $K$ ,  $A_\alpha$ , natomiast dla systemów wojskowych (systemów dowodzenia):

$$V_1(t), R(t), A_\alpha$$

Zagadnienie wyboru kryteriów i wskaźników oceny efektywności stanowi jeden z istotnych elementów inżynierii, takich systemów informacyjnych, jak systemy łączności. Celem inży-

\* Zob. rozdział pt. *Systemy decyzyjne*.

nerii systemów łączności jest projektowanie optymalnych systemów łączności — optymalnych z techniczno-eksploatacyjnego i ekonomicznego punktu widzenia. W procesie systemowego projektowania uwzględniane są parametry informacyjne (przepustowość, pasmo częstotliwości, stopa błędów, stosunek energii sygnałów i szumów itp.), techniczne (rodzaj modulacji, rodzaj widma sygnałów, sposób synchronizacji, metoda odbioru), eksploatacyjne (koszty eksploatacyjne, niezawodność, gotowość), ekonomiczne (koszty badawczo-rozwojowe) itp. Parametry te mogą być wykorzystywane jako wskaźniki oceny efektywności analizowanych wariantów systemu łączności. Uogólniony wskaźnik oceny efektywności określany jest jako suma ważonych wartości poszczególnych parametrów systemowych\*.

Globalna ocena efektywności SI może być wyrażona w postaci ektorowej

$$E = \langle V_1(t), K, R(t), A_\alpha(t) \rangle$$

lub w postaci wskaźnika syntetycznego, np.

$$E = F(V, R) \in [0, 1]$$

Sformułujemy następujący problem optymalizacji systemu informacyjnego

$$\max F[R(x, y), V(x, y), K(x, y), A_\alpha(x, y)]$$

gdzie:  $(x, y)$

$$(x, y) \in X \times Y = \{(x, y) : R(x, y) \geq R_0, A_\alpha(x, y) \geq A_{\alpha_0}, \\ V(x, y) \in [\underline{v}, \bar{v}], K(x, y) \in [\underline{K}, \bar{K}]\}$$

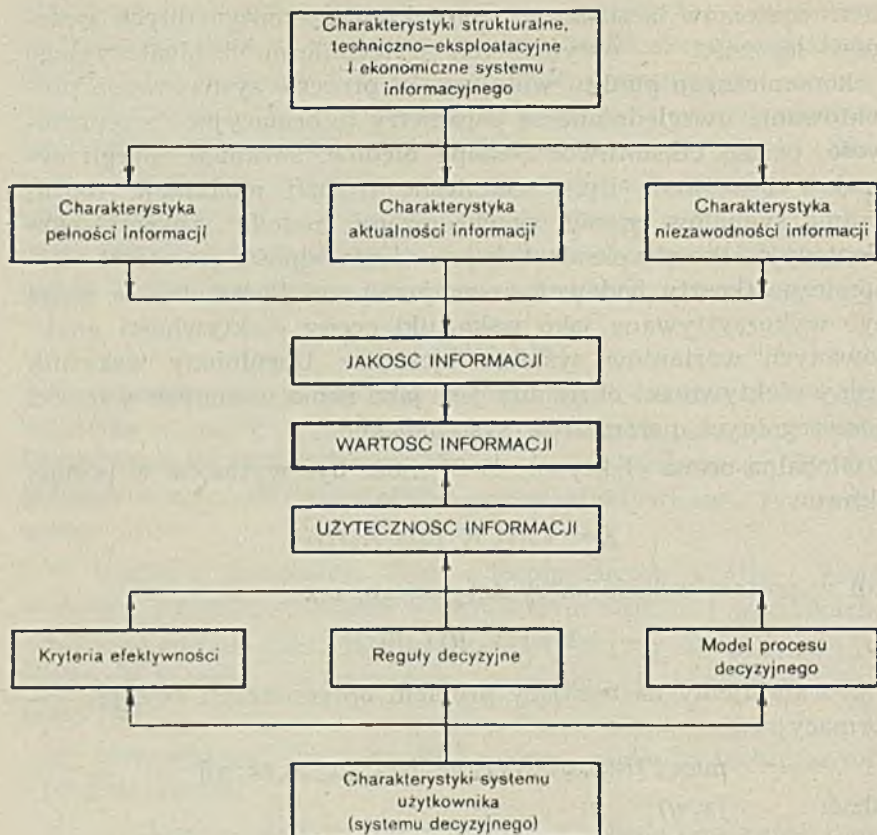
$X$  — zbiór charakterystyk wyposażenia technicznego SI,

$Y$  — zbiór charakterystyk oprogramowania SI.

Jest to typowy problem optymalizacji wielokryterialnej. Sformułowanie tego problemu stanowi jeden z zasadniczych elementów analizy systemowej SI (rys. 2.8). Posługiwanie się metodami analizy systemowej, modelami normatywnymi i symulacyjnymi

\* J. B. Okuniew, W. G. Płotnikow: *Principy sistiemnogo podchoda k projektirowaniju w tiechnike swjazi*. Moskwa 1976 r.

A. N. Zieligier: *Kriterii ocienki kacziestwa sistiem swjazi*. Moskwa 1974 r.



2.8. Ogólny schemat analizy systemowej procesów informacyjnych

należy do podstawowych warunków rozwoju inżynierii SI \*. Jest to także warunek wzrostu efektywności zastosowań SI w gospodarce narodowej i siłach zbrojnych.

## 5. Zakończenie

Nie ulega wątpliwości, że rola systemów informacyjnych, a w szczególności — systemów informatycznych, będzie coraz

\* G. A. Szastowa, A. I. Kojokin: *Optymalizacja systemów informacyjnych*. WNT, W-wa 1976 r.

większa w procesie rozwoju współczesnych organizacji społeczno-gospodarczych i wojskowych. Pozbawione przesady jest twierdzenie, że systemy informacyjne są dla systemów społecznych (organizacji) tym, czym jest układ nerwowy dla systemów biologicznych.

Przedstawione uwagi miały charakter głównie metodologiczny, celem ich było zaprezentowanie idei systemowego podejścia do badania procesów informacyjnych. Siłą rzeczy zabrakło miejsca na omówienie pewnych specjalistycznych systemów, a przede wszystkim systemów rozpoznawczych, systemów nawigacyjnych, systemów walki radioelektronicznej, nie mówiąc już o systemach łączności stosowanych w systemach dowodzenia i kierowania środkami walki.

Na zakończenie rozdziału poświęconego SI przedstawimy kilka uwag charakteryzujących współczesne wojskowe systemy informacyjne\*. Jako charakterystyczny przykład takiego systemu służyć może system NICS — zintegrowany system łączności NATO. W skład tego systemu wchodzi:

— zestawy urządzenia automatycznego do retranslacji łączności telegraficznej — TARE, które dzięki zastosowaniu komputerów znacznie zwiększy przepływ informacji;

— oprzyrządowanie zasadniczej sieci telefonicznej — IVSN, składającej się z 25 elektronicznych łącznic i umożliwiającej natychmiastowe nawiązanie łączności z dowolnym szczeblem dowodzenia;

— aparatura utajniająca łączność telefoniczną i telegraficzną;

— troposferyczne i radioliniowe stacje systemu łączności troposferycznej (ok. 400 stacji);

— naziemne stacje łączności kosmicznej SATCOM (22 stacje naziemne i 2 ruchome);

— zestawy urządzeń zautomatyzowanego systemu przetwarzania i dystrybucji informacji za pomocą maszyn cyfrowych — CAMPS, obsługujące najwyższe organy dowodzenia;

\* Szczegółową charakterystykę zautomatyzowanych systemów dowodzenia i kierowania ogniem w armiach NATO przedstawiono w pracy: P. Sienkiewicz, M. Szczepaniak, W. Więckowski: *Informatyka w dowodzeniu* (w przygotowaniu).

- sieci łączności radioliniowej;
- sieci łączności radiowej na falach bardzo długich, długich, krótkich i UKF.

Po zakończeniu pierwszego etapu budowy tego systemu będzie on posiadał: 57 zasadniczych węzłów łączności z EMC i elektronicznymi łącznikami, 5 ruchomych węzłów łączności obsługujących najwyższe dowództwo, 7 zapasowych ruchomych węzłów znajdujących się w stanie gotowości, 6 kompleksowych ośrodków komutacji wiadomości z automatycznym urządzeniem do retranslacji łączności telegraficznej TARE, 140 terytorialnych magistrali łączności troposferycznej i radioliniowej służących do połączeń międzywęzłowych, 38 naziemnych stacji obserwacji sztucznych satelitów oraz satelity telekomunikacyjne. W drugim etapie rozwoju systemu NICS nastąpi ostateczne zintegrowanie wszystkich elementów w jednolity zautomatyzowany system łączności dla potrzeb dowodzenia wojskami. Dodajmy, że np. zestaw TARE umożliwia przekazywanie informacji z prędkością ok. 9600 Mbit/s, jest wyposażony w EMC o pojemności pamięci operacyjnej 131 072 słów 32-bitowych i pojemności pamięci zewnętrznej — ponad 380 Mbitów. Ponadto uważa się, że nadal będzie rosła rola i zakres łączności satelitarnej. Dotychczasowe doświadczenia potwierdziły celowość rozwoju także taktycznych systemów łączności satelitarnej oraz wykorzystania ich dla łączności z naziemnymi obiektami ruchomymi, okrętami, samolotami i śmigłowcami.

Podkreślić również należy intensywny rozwój: systemów rozpoznania kosmicznego (foto- i radiotechnicznego), wykrywania wybuchów jądrowych opartych na wielozadaniowych satelitach rozpoznawczych; satelitarnych systemów nawigacyjnych, mogących znaleźć zastosowanie do nawigacji różnych obiektów na ziemi, morzu i w powietrzu, a w szczególności dla nawigacji lotniskowców, lotnictwa taktycznego oraz dla kierowania ruchem czołgów, samochodów i pododdziałów piechoty.

Interesujących przykładów specyficznych SI dostarcza analiza systemów walki radioelektronicznej, albowiem jedną z form celowego i aktywnego oddziaływania radioelektronicznego na systemy dowodzenia i kierowania środkami walki stanowi dezinformacja

radiowa. Istnieją więc takie SI, których celem jest efektywne dezinformowanie nieprzyjaciela, czyli dostarczanie mu informacji fałszywych, mylących, wprowadzających w błąd. Dezinformacja radiowa, jako element WRE, polega m.in. na „przekazywaniu dowódcom i sztabom, załogom samolotów, okrętów i wojskom przeciwnika mylnych informacji oraz przedstawianie mylnego obrazu tego, co istnieje na polu walki lub tego, co już nie istnieje albo dopiero nastąpi” \*. Wielu cennych przykładów skutecznego dezinformowania przeciwnika dostarczają doświadczenia wojenne, zarówno te najdawniejsze, jak i najnowsze \*\*. Jeżeli dodamy, że dezinformowanie stanowi ważny element operacyjno-strategicznego maskowania oraz warunków skutecznej realizacji jednej z zasad sztuki operacyjnej, a mianowicie — zaskoczenie, to stanie się oczywista rola dezinformowania systemów informacyjnych dla rozwoju systemów walki.

Oto jak opisywany jest jeden z charakterystycznych przypadków \*\*\*: „Na początku 1944 roku wywiad niemiecki zbierał dowody na istnienie potężnej grupy wojsk w południowo-wschodniej Anglii. Samoloty rozpoznawcze dostarczyły zdjęć baraków, lotnisk oraz eskadr okrętów wojennych w zatoce Wash. Zauważono generała Georga S. Pattona, ubranego w swoje charakterystyczne różowe bryczesy, który przechadzał się w towarzystwie białego buldoga; stwierdzono znacznie intensywniejszą działalność radiową i częstą wymianę meldunków między oddziałami. Szpiedzy niemieccy przebywający w Wielkiej Brytanii potwierdzili wszystkie te obserwacje.

Oczywiście nie było żadnej armii. Okręty wojenne zbudowano z gumy i drewna, wojskowe baraki były tylko makietami; Patton nie miał pod swym dowództwem ani jednego żołnierza; meldunki nadawane przez radio były bez znaczenia; szpiedzy okazali się podwójnymi agentami.

Celem tych wszystkich zabiegów było wprowadzenie wroga

\* H. Piekarski: *Walka radioelektroniczna*. Wyd. MON, W-wa 1980 r.

\*\* Np. operacyjno-strategiczne maskowanie dla ukrycia podejścia floty japońskiej do Pearl Harbour lub podczas prowadzenia przez aliantów operacji „Overlord”; nowszych przykładów dostarcza wojna arabsko-izraelska w 1967 r.

\*\*\* K. Follet: *Igła*. Czytelnik, W-wa 1981 r.

w błąd, żeby zaczął przygotowania do odparcia inwazji w rejonie Pas de Calais. Lądowanie wojsk alianckich w Normandii 6 czerwca 1944 roku miałyby wtedy wszelkie atuty zaskoczenia.

Był to dokładnie przemyślany, szaleńczy plan oszukania nieprzyjaciela. Tysiące ludzi uczestniczyło w jego realizacji”.

Przykładem nowoczesnego systemu informacyjnego może być tzw. system wczesnego wykrywania AWACS, stanowiący element systemu obrony powietrznej NATO-NADGE. Uważany on jest za jeden z głównych czynników wzrostu efektywności dowodzenia lotnictwem taktycznym na współczesnych teatrach wojny. Podstawowym elementem systemu są samoloty *E-3A* wyposażone w urządzenia automatycznego zbierania, przetwarzania i przekazywania informacji, w tym w komputery typu IBM System/4Pi. Przewiduje się, że AWACS umożliwi efektywne dowodzenie lotnictwem w realizacji takich zadań, jak: wywalczenie przewagi w powietrzu, izolacja rejonów działań bojowych, bezpośrednio wsparcie wojsk lądowych, rozpoznanie powietrzne, wysadzanie desantów, transport powietrzny itp.

Na zakończenie spróbujmy odpowiedzieć na pytanie: jakie korzyści dla rozwoju systemów informacyjnych mogą przynieść zastosowania metodologii badań systemowych? Otóż, wydaje się, że zarówno racjonalne kształtowanie infosfery jednostki i społeczeństwa, jak i projektowanie i eksploataowanie systemów informatycznych, służących zaspokajaniu potrzeb organizacji społeczno-gospodarczych i wojskowych, powinno opierać się na paradygmacie systemowym. Oznacza to, że upatrujemy w analizie systemowej i inżynierii systemów informacyjnych racjonalne przesłanki pozwalające zmniejszyć ryzyko popełnienia „grubych” błędów systemowych, wśród których szczególny niepokój może budzić niebezpieczeństwo informacyjnego „zanieczyszczenia” środowiska społecznego, zahamowanie postępu cywilizacyjnego, zasilanie decydentów (politycznych, gospodarczych i wojskowych) niepełnymi, nieaktualnymi i zgoła nieprawdziwymi informacjami itp. Z politycznego punktu widzenia szczególną wagę należy przypisać funkcjonowaniu systemów informacyjnych, zwłaszcza systemów masowego informowania, podporządkowanych propagandzie. O złej propagandzie bowiem powiedział W. I. Lenin, że „jest gor-



sza od kontrrewolucji". Należy o tym pamiętać, podejmując systemowe badania procesów społecznego informowania w okresie nasilającej się „walki informacyjnej”. Innym natomiast zjawiskiem jest rozszerzający się „rynek informacyjny”, na którym rodzi się wartość informacji udostępnianych przez współczesne systemy informacyjne.

## Systemy decyzyjne

„Być albo nie być; oto jest pytanie:  
Czy szlachetniejszym jest znieść świadomie  
Losu wściekłego pociski i strzały,  
Czy za broń porwać przeciw morzu zgryzot,  
Aby odparte znikły?”

(W. SZEKSPIR, *Hamlet*)

„Aby wiele osiągnąć, trzeba często uciekać się do śmiałych i ryzykownych posunięć. Sztuka rozwiązywania konfliktów między motywem solidarności a motywem rywalizacji, między dążeniami altruistycznymi a egoistycznymi, między poświęceniem a zimną objętością jest szczególnie potrzebna w naszej skomplikowanej epoce”

(J. KOZIELECKI, *O godności człowieka*)

### 1. Wprowadzenie

Każdy uczestnik racjonalnego działania niemal codziennie staje wobec konieczności wyboru celów, sposobów i środków swego działania, a także akceptacji lub nie działań o zasięgu ogólnospołecznym. W sytuacjach tych naturalnym staje się postępowanie w myśl zasady mówiącej, że „lepsze jest wrogiem dobrego”. Chodzi zatem o dokonywanie wyborów „lepszych” od tych, które podpowiada intuicja i doświadczenie. Powstaje więc problem znalezienia niezawodnych metod umożliwiających dokonywanie właśnie takich wyborów, których realizacja i jej skutki zapewniałyby zaspokojenie potrzeb w sposób, co najmniej, zadowalający. Poszukiwania metod podejmowania decyzji przyświecały praktykom: władcom i wodzom, dowódcom i oficerom sztabów, ludziom kierującym gospodarką na różnych szczeblach zarządzania, a także teoretykom, stając się przedmiotem badań prowadzonych przez zespoły interdyscyplinarne. Zanim sięgnięto do metod najprecyzyjniejszych, tj. współczesnych metod matematycznych, głównym źródłem dostarczającym podstaw do powzięcia decyzji były: logika myślenia, intuicja i nagromadzone doświadczenia.

Istnieje wiele przykładów świadczących o tym, że pytania o najlepsze sposoby i środki osiągnięcia zamierzonych celów działania zadawali sobie wodzowie i kupcy starożytności, politycy, dowódcy współczesnych armii i zarządzający różnymi organizacjami gospodarczymi. Cała historia cywilizacji przynosi bogactwo przykładów decyzji, które przynosiły bądź nieszczęścia, bądź rozkwit cywilizacyjny, a nierzadko nieszczęścia jednym narodom, zaś rozkwit innym.

Wśród prekursorów współczesnych badań decyzji wymienia się króla Achajów Filopomenesa, którego wspomina Machiavelli w słynnym dziele „Książę”, poświęconym sztuce rządzenia państwem, dedykowanym księciu Wawrzyńcowi Medycejskiemu. Jak pisze Machiavelli o królu Achajów: „... wśród licznych pochwał, jakimi historycy go darzyli, ma tę, że podczas pokoju nie przestawał myśleć o wojnie, będąc zaś w polu z przyjaciółmi często kroć zatrzymywał się i poczynął z tymiż rozmawiać: Gdyby nieprzyjaciel stał na tamym pagórku, my zaś z wojskiem zajmowalibyśmy tę oto dolinę, po czyjej stronie byłaby przewaga? Jak najbezpieczniej można go podejść przestrzegając porządku? Gdyby nam wypadło się cofać, którądy skierować odwrót? A gdyby cofnął się przeciwnik, którądy należałoby go ścigać?”\*. W literaturze można podobno znaleźć jeszcze odleglejszy w czasie przykład przywołujący księżę J Ching znaną w Chinach przed 2000 r. p.n.e., w której przedstawiono ilościowe metody podejmowania decyzji\*\*.

Najznakomitszych jednak, szczególnie nas interesujących, przykładów dostarczają opisy prowadzenia wojen i rozgrywania bitew przez wybitnych wodzów i dowódców począwszy od czasów starożytnych, a skończywszy na okresie II wojny światowej. Dawniejsze przykłady wiążą się najczęściej z takimi postaciami, jak: Hannibal, Aleksander Macedoński, Napoleon I. Błyskotliwe druzgocące zwycięstwo Jana Chodkiewicza pod Kircholmem jest znakomitym przykładem taktyki polskiej, gdyż zostało odniesione wobec niekorzystnego stosunku sił 4 : 11, dzięki uzyskaniu prze-

\* J. L. Kulikowski: *Lepsze wrogiem dobrego*. Problemy, nr 9/1971.

\*\* C. W. Churchman, L. Auerbach, S. Sadan: *Thinking for Decisions*. Deductive Quantitative Methods. Chicago 1975 r.

wagi przez ześrodkowanie sił na kierunku głównego uderzenia \*. Miejscem jednego z najwspanialszych zwycięstw Napoleona było Austerlitz. Oto co pisze na ten temat historyk \*\*: „Cesarz od początku do końca osobiście dowodził wojskiem, prawie wszyscy jego marszałkowie brali udział w bitwie. Już w godzinach rannych wyjaśniło się, że sytuacja sprzymierzeńców jest rozpacзлиwa. Ale klęska wojsk rosyjskich nie byłaby tak wielka, gdyby generałowie rosyjscy nie dali się wciągnąć w pułapkę, którą na nich zastawił Napoleon. Mianowicie, przewidując, że nieprzyjacieli dążyć będzie do odcięcia mu drogi na Wiedeń i Dunaj, aby go otoczyć lub odrzucić na północ w góry — umyślnie pozostawił te ugrupowania wojsk, jakby bez osłony, odsuwając prawe skrzydło dalej. Kiedy Rosjanie natarli właśnie w tym miejscu, Napoleon gwałtownie uderzył na nich wszystkimi swoimi siłami, zdobył wzgórze Pratze, odepchnął przeciwnika do na wpół zamrzniętych stawów i zasypał go pociskami i kartaczami. Pozostali zostali wzięci do niewoli”.

Przykładów wspaniałych decyzji dostarczają operacje i bitwy II wojny światowej. Są one na ogół dobrze znane, między innymi dzięki publikacjom pamiętników i wspomnień wybitnych dowódców \*\*\*. Zwróćmy uwagę w tym miejscu jedynie na operację wiślańsko-odrzańską przeprowadzoną siłami 1 Frontu Białoruskiego i 1 Frontu Ukraińskiego przy współdziałaniu z wojskami 4 Frontu Ukraińskiego, jako na jedną z najważniejszych operacji strategicznych II wojny światowej \*\*\*\*. Składały się na nią dwie zaczepne operacje frontowe: warszawsko-poznańska 1 Frontu Białoruskiego i sandomiersko-śląska 1 Frontu Ukraińskiego. Ogólny zamiar pierwszej z tych operacji polegał na tym, aby dwoma potężnymi uderzeniami z nadwiślańskich przyczółków i pomocniczym uderzeniem z rejonu na północ od Warszawy przełamać obronę nieprzyjaciela na trzech odcinkach, rozciąć ją na kilka

\* J. K. Chodkiewicz najpierw unieruchomił piechotę szwedzką przez ataki drobnych oddziałów jazdy, po czym przeprowadził silne uderzenie na skrzydła wojsk szwedzkich.

\*\* E. W. Tarle: *Napoleon*. KiW, W-wa 1950 r., s. 189.

\*\*\* Wydawnictwo MON opublikowało pamiętniki i wspomnienia takich wybitnych dowódców, jak: Żukow, Rokossowski, Eisenhower, Montgomery i innych.

\*\*\*\* *Rozгромienie wojsk niemiecko-faszystowskich w Polsce. Operacja wiślańsko-odrzańska*. Styczeń 1945 r., Wypisy. Wyd. MON 1956 r.

części i rozwijając czołowe uderzenie w ogólnym kierunku na Kutno, Poznań rozgromić we współdziałaniu z 1 Frontem Ukraińskim znajdujące się naprzeciw siły nieprzyjaciela i następnie wyjść na rubież Bydgoszcz, Poznań. Zgodnie z tym zamiarem dowódca Frontu marszałek Żukow zdecydował wykonać główne uderzenie z magnuszewskiego przyczółka siłami 61 armii, 5 armii uderzeniowej, 8 armii gw. i 3 armii uderzeniowej, 1 i 2 armii pancernej gw. oraz 2 korpusu kawalerii gw. w ogólnym kierunku Białobrzegi, Kutno, Poznań. 61 armia miała uderzeniem prawoskrzydłowych związków taktycznych z południowego wschodu na Błonie we współdziałaniu z 47 armią i 1 armią Wojska Polskiego rozgromić warszawskie zgrupowanie nieprzyjaciela i wyzwolić Warszawę.

Zgodnie z zamiarem dowódcy 1 Frontu Ukraińskiego marszałka Koniewa wojska miały jednym potężnym uderzeniem przełamać obronę nieprzyjaciela w centrum przyczółka sandomierskiego i rozwijając natarcie w ogólnym kierunku na Radomsko, Wrocław rozgromić we współdziałaniu z 1 Frontem Białoruskim brońące się w pasie natarcia siły nieprzyjaciela. Częścią sił Front powinien być z tego odcinka, zabezpieczając zgrupowanie uderzeniowe od południa, rozwinąć natarcie w ogólnym kierunku na Kraków i przy sprzyjających warunkach opanować go we współdziałaniu z 4 Frontem Ukraińskim.

Zdecydowane zmasowanie sił i środków umożliwiło stworzenie bardzo wielkiej przewagi nad nieprzyjacielem\*. Cechą charakterystyczną operacji wiślańsko-odrzańskiej był zdecydowany, niszczący charakter oraz ogromny rozmach. Po raz pierwszy głębokie uderzenia rozcinające dwóch współdziałających ze sobą Frontów wykonano na taką głębokość (570 km) i w tak krótkim czasie (23 dni).

Decyzje dowódców podczas działań wojennych należą oczywiście do najbardziej złożonych i odpowiedzialnych. Również współczesne decyzje polityczne, społeczne i gospodarcze w okresie rewolucji naukowo-technicznej stają się coraz bardziej skomplikowane i coraz bardziej dynamiczne. Jednakże w rozważaniach dotyczących systemów decyzyjnych nie należy zapominać, że:

\* Zob. tabela 5.1 w rozdziale „Systemy walki”.

„Decyzja z natury rzeczy jest nieodłączna od ludzkiej egzystencji, jest bowiem nieodłączna od samego życia i nie ma życia bez działania, a działania bez decyzji. Naturalnie decyzja może mieć charakter nieświadomy, a jeśli jest decyzją świadomą, to może nią być w mniejszym lub większym stopniu. Współcześnie dąży się do tego, aby decyzja była już nie tylko świadoma, ale także rozważna, przemyślana i trafnie wyliczona (często mówi się też: „racjonalna”)\*.

Zrozumiałe staje się oczekiwanie od współczesnej nauki, szeroko wykorzystującej ściśle metody ilościowe, pomocy w rozwiązywaniu złożonych zadań, pozwalającej na podejmowanie decyzji lepszych od decyzji powziętych w sposób niejako „naturalny”. W oczekiwaniu tym zwrócono się do wielu różnych dyscyplin naukowych. Dopiero w czasie II wojny światowej podejmowanie decyzji stało się przedmiotem badań naukowych, autentycznym problemem interdyscyplinarnym, który interesuje matematyków, ekonomistów, prakseologów, socjologów, cybernetyków, przedstawicieli nauk wojskowych. Dziś jest przedmiotem zarówno politologii, teorii ekonomii, psychologii, teorii organizacji i kierowania, prakseologii, jak i teorii dowodzenia wojskami. Pierwsze zastosowania metod matematycznych w procesie podejmowania decyzji przyjęto wiązać z powstaniem i funkcjonowaniem w czasie II wojny światowej tzw. grup badań operacji\*\*. Z pewnością zapoczątkowały one powszechne zainteresowanie nauki i praktyki decyzji rozwiązaniem problemów decyzyjnych za pomocą metod matematycznych lub, jak się niegdyś wyrażono, „kierowaniem z wiedzą matematyczną w głowie i komputerem pod ręką”. Dzięki badaniom operacji dowódca miał możliwość oparcia swej decyzji nie tylko na intuicji i doświadczeniu, ale także na ścisłych obliczeniach matematycznych. Interesujące mogą być spotykane określenia badań operacyjnych. Przytoczmy niektóre z nich: „...zbiór

\* J. Fourastie: *Mysli przewodnie*. PIW, W-wa 1972 r., s. 130.

\*\* Badania operacyjne miały jednak wielu prekursorów, do których z pewnością należeli Lanchester — twórca matematycznych modeli walki (1914—1915), Erlang — twórca teorii obsługi masowej (1908—1921), Kantorowicz — autor matematycznej metody organizacji i planowania produkcji (1939). Należy także wspomnieć w tym miejscu o wybitnym matematyku Eulerze, który rozwiązując tzw. zadanie „mostów królewieckich” stworzył podwaliny dzisiejszej teorii grafów.

metod pozwalających na uzyskanie maksymalnego efektu przy pomocy znajdujących się w dyspozycji środków” (Watson-Watt); „...zastosowanie metody naukowej, mającej na celu dostarczenie dowództwu podstaw liczbowych dla decyzji dotyczących operacji, którymi ono kieruje” (Kittel, Goodev); „...metody umożliwiające bardziej skuteczne wykorzystanie rezerw ludzkich i ich kwalifikacji, środków materialnych i ich rezerw” (Norstad); „...są sztuką umożliwiającą uzyskanie zlej odpowiedzi dla problemów, w których inne sposoby dają jeszcze gorsze odpowiedzi” (Saaty); „zadaniem badań operacyjnych jest uzyskanie wniosków i zaleceń, na podstawie których można podjąć decyzje o organizacji i kierowaniu operacjami” (Wielka Encyklopedia Radziecka); „...badanie procesów zamierzonych (operacji) i wypracowanie, opierając się na metodach matematycznych, wniosków i zleceń umożliwiających podejmowanie optymalnych decyzji dotyczących organizacji i kierowania tymi procesami, tj. decyzji pozwalających na uzyskanie maksymalnych efektów za pomocą posiadanych sił i środków bądź osiągnięcie wyznaczonego celu przy minimalnym nakładzie sił i środków. (...) stanowią ściśle połączenie nauki i działalności praktycznej; są częścią składową cybernetyki” (Leksykon Wiedzy Wojskowej). Warto również przytoczyć pogląd (Ackoff, Arnoff, Churchman), że użyteczność badacza w badaniach operacyjnych jest tym większa, im większy posiada on zasób wiedzy, a co ważniejsze, im szerszy jest jego horyzont myślowy. Jednakże stwierdzono niedawno (Ackoff), że wykształceni na wyższych uczelniach specjaliści badań operacyjnych podejmują jedynie te problemy praktyczne, które potrafią rozwiązać za pomocą wyuczonych technik. Natomiast skłonni są zupełnie ignorować te problemy, których rozwiązanie wymaga od nich wypracowania nowych technik. Mówi się już głośno o karierze badań operacyjnych jako o jedynie postępującej akademizacji tej profesji, „wprowadzaniu matematycznej finezji do księgowości i produkowaniu sformalizowanych opisów całkowicie abstrakcyjnych sytuacji”. Przypomnijmy też, że w ogłoszonym zaraz po wojnie oficjalnym raporcie rządu brytyjskiego oceniającego wkład nauki w dzieło obrony kraju przed inwazją hitlerowską najwyższą notę uzyskały: radar, sonar oraz... badania operacyjne.

Warto o tym wszystkim wspomnieć, chociażby dlatego, aby zastanowić się nad kolejami losu pewnych dziedzin wiedzy naukowej, w których dostrzegano swoiste panaceum na kłopoty ludzi uwikłanych w procesach decyzyjnych. Powyższe uwagi mogą stanowić dobry punkt wyjścia dla charakterystyki obecnego stanu w tej dziedzinie i refleksji nad wartością ujęcia systemowego problemów podejmowania decyzji.

Nurt badań naukowych obejmujący m.in. badania operacyjne i matematyczną teorię optymalizacji określa się niekiedy jako teorię decyzji racjonalnych (optymalnych), stworzoną głównie przez matematyków i ekonomistów\*. Teoria ta próbuje odpowiedzieć na pytanie: Jak racjonalnie podejmować decyzje? Jakie spośród alternatyw są optymalne? Formułuje racjonalne (optymalne) metody rozwiązywania zadań decyzyjnych. Natomiast behawioralna teoria, będąca systemem twierdzeń o tym, jak ludzie rzeczywiście podejmują decyzje i jakie popełniają w tym procesie błędy, nazywana jest psychologiczną teorią decyzji\*\*.

Systemowe ujęcie problemów decyzyjnych zmierzać będzie do konstrukcji pojęcia systemów decyzyjnych, do czego niezbędne będzie sięganie zarówno do matematycznej teorii decyzji (teorii optymalizacji), jak i do psychologicznej teorii decyzji. Uwzględnianie matematycznych modeli decyzyjnych oraz mechanizmów psycho-społecznych powinno stać się tą cechą analizy systemowej, która spowoduje, szersze niż dotychczas, zainteresowanie przez teoretyków i praktyków dowodzenia wojskami.

## 2. Decyzje i decydowanie

Dzięki istnieniu dwóch podstawowych ujęć problemu decyzji odpowiadających matematycznej teorii decyzji (racjonalnych) i psychologicznej teorii decyzji można mówić o dwóch zasadniczych stanowiskach. Zgodnie z pierwszym uważa się, że charakter procesów decyzyjnych pozwala na pełną ich kwantyfikację i formalizację, natomiast w myśl stanowiska drugiego — pro-

\* Fundament teorii położyli J. von Neumann i O. Morgenstern, którzy w roku 1944 opublikowali słynne dzieło pt. *The theory of games and economical behaviour*.

\*\* J. Koziński: *Psychologiczna teoria decyzji*. PWN, W-wa 1975 r.



cesów tych nie można przedstawić w sposób formalny, gdyż opierają się na indywidualnych i dynamicznych mechanizmach postępowania, mają charakter adaptacyjny, zaś wybór jest zawsze subiektywny i obciążony: skłonnością do ryzyka, sposobem wykorzystania informacji oraz osobowością podmiotu podejmującego decyzje, czyli decydenta. Próba pogodzenia tych stanowisk może być ogólna teoria decyzji lub teoria systemów decyzyjnych, stworzona na gruncie metodologii badań systemowych.

Ponadto istnieją różnice zdań na temat natury decyzji, co przejawia się w spotykanych określeniach i definicjach. Rozpatrzmy niektóre z nich. Również istniejące definicje pojęcia decyzji można ująć w dwa kierunki poszukiwań\*. Pierwszy kierunek uwzględnia podejście wynikowe, gdzie podstawą badania jest sam akt decydowania (wyboru), lub czynnościowe, gdzie bada się cały proces decyzyjny, w którym akt wyboru stanowi ostatnią jego część. Natomiast drugi kierunek preferuje podejście normatywne i behawiorystyczne. W kierunku normatywnym zainteresowanie skupione jest na sposobach (metodach) podejmowania racjonalnych (optymalnych) decyzji, a w kierunku behawiorystycznym — na socjopsychicznych uwarunkowaniach decydentów. Pochodnymi tych kierunków badawczych są definicje decyzji, w których przeważa aspekt logiczno-matematyczny lub prakseologiczny, ekonomiczno-organizacyjny, prawny lub etyczny, psychologiczny lub socjologiczny, militarny i informacyjny. Zgodnie z ostatnim z wymienionych aspektów, decyzja jest transformacją określonego zbioru informacji w informację ostateczną będącą decyzją. Jest to ujęcie istotne, gdyż określa naturę decyzji jako informacji o pewnych szczególnych cechach, zaś proces decyzyjny jako proces informacyjny. Decyzja jest więc szczególnym typem informacji, gdyż zawiera czynnik sprawczy zmuszający dany przedmiot działania do określonego działania, a ponadto odnosi się zawsze do okresu przyszłego względem okresu podejmowania decyzji. Celem decyzji jest określenie informacyjne pewnego wyróżnionego stanu lub ciągów stanów, które system działania powinien osiągnąć w danym przedziale czasu w przy-

\* W. Flakiewicz: *Systemy informowania kierownictwa. Zasady budowy. Aspekty semantyczne*. PWE, W-wa 1978 r.

szłości. W świetle powyższego ujęcia powiemy, że istota decyzji tkwi w relacji, jaka zachodzi między pożądanym stanem wyróżnionym (w przyszłości) a stanem bieżącym systemu. Relację tę określa się jako relację zmiany\*. Wtedy — decyzja jest to świadome dążenie do spowodowania zmiany stanu systemu w określonym czasie w przyszłości. W ten sposób pojęcie decyzji zostało związane z określonym systemem działania.

Najczęściej jednak pojęciu decyzji nadaje się dwojaki sens, tj. o decyzji mówi się jako o postanowieniu zrobienia czegoś lub zachowania się w określony sposób (obejmuje to także np. akceptację lub nie pewnego punktu widzenia), lecz również utożsamia się decyzję ze świadomym wyborem. Wybór będący postanowieniem zachowania się w określony sposób zakłada co najmniej jedną alternatywną możliwość, tj. wstrzymania się od tego szczególnego działania. Zgódźmy się więc, że decyzja jest zarazem wyborem i postanowieniem.

Rozumowanie charakterystyczne dla tego punktu widzenia przedstawić można w postaci pewnego ogólnego diagramu\*\*

$$G \xrightarrow{K} A \xrightarrow{V,K} \langle A, \{u\} \rangle \xrightarrow{?} \langle A, a^* \rangle$$

Cel działania  $G$  określa punkt wyjścia. Razem z wiedzą podmiotu  $K$ , dotyczącą dostępności działań i ich związków przyczynowych z  $G$ , generowany jest zbiór alternatyw (możliwych działań)  $A$ . Wiedza  $K$  i zaakceptowane standardy wartości (system aksjologiczny)  $V$  prowadzą z kolei do oszacowania  $u$ , czyli określenia użyteczności u poszczególnych alternatyw — elementów zbioru  $A$ . Głównym krokiem w tym procesie jest dokonanie selekcji  $a^*$  z  $A$ . Postanowienie, aby zrealizować  $a^*$ , jest określane jako decyzja. Znak zapytania poprzedzający na diagramie decyzję oznacza, że występuje więcej niż jeden sposób dokonywania wyborów, przy czym element arbitralności nie może być tu pominięty.

Przypomnijmy, że decyzję podejmowaną przez organa dowodzenia określa się następująco\*\*\*.

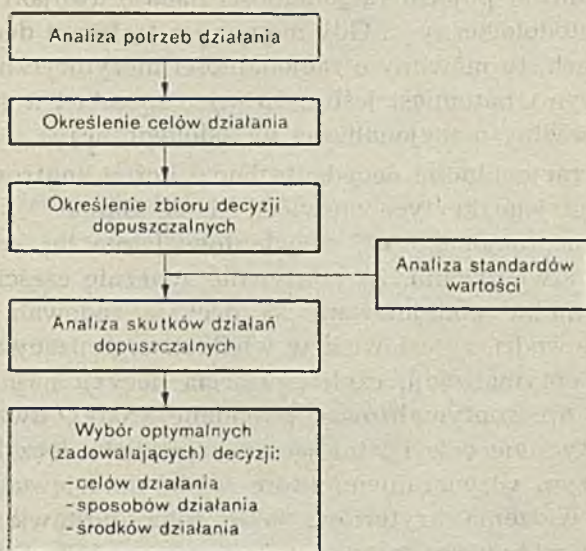
\* W. Flakiewicz, wyd. cyt. s. 210.

\*\* K. Szaniawski: *Filozofia podejmowania decyzji*. Prakseologia, nr 2 (74), 1980 r.

\*\*\* *Leksykon Wiedzy Wojskowej*. Wyd. MON, W-wa 1979 r.

„Decyzja dowódcy, jest to akt woli dowódcy, określający wybrany z wielu jeden wariant sposobu przygotowania i przeprowadzenia walki, bitwy lub operacji, zgodnie z zamiarem (decyzją) przełożonego, i zapewniający wykonanie zadań przy jak najmniejszych stratach własnych”.

Na rys. 3.1 przedstawiono ogólny schemat postępowania decyzyjnego, na którym zaznaczono wystąpienie potrzeby działania inicjującego proces podejmowania decyzji.



3.1. Ogólny schemat sytuacji decyzyjnej

Podstawę ogólnego modelu decyzyjnego stanowi tzw. postulat racjonalności, który mówi, że decydent jest człowiekiem racjonalnym analizującym wszystkie możliwe stany w danej sytuacji, warianty działania i umiejącym wybrać z nich najlepszy, przy czym na jego decyzje nie wywierają wpływu emocje, przesady, dogmaty itp. O decyzji racjonalnej powiemy, gdy charakteryzuje się następującymi własnościami:

— decyzja racjonalna jest niepustym podzbiorem zbioru alternatyw dopuszczalnych (możliwych),

— sposób wyznaczania tego podzbioru zależy od ogólnego kryterium rozwiązywania zadania decyzyjnego\* akceptowanego i stosowanego przez decydenta,

— określone zadanie może być rozwiązywane w różnorodny sposób przez różne podmioty, a wszystkie te decyzje, reprezentowane przez różne podzbiory zbioru alternatyw, mogą być racjonalne,

— racjonalna decyzja jest zależna od poziomu informacji dostępnych podmiotowi — decydentowi.

T. Kotarbiński pojęciu racjonalności nadaje dwojaki sens: rzeczowy i metodologiczny\*\*. Gdy mówimy o trafności decyzji, czyli o jej efektach, to mówimy o racjonalności merytorycznej (w sensie rzeczowym), natomiast jeśli mówimy o sposobie, w jaki została podjęta, mówimy o racjonalności metodologicznej.

Postulat racjonalności decydenta budzi liczne kontrowersje, zaś wiele uwagi jego krytyce poświęcił H. A. Simon\*\*\*, analizując „ograniczenie racjonalności” decydentów. Istota tej krytyki wyraża się w stwierdzeniu, że relatywnie znacznie częściej niż decyzje optymalne podejmowane są decyzje zadowolające, gdyż praktyka dowodzi, że człowiek w wielkich organizacjach nie jest zdolny do optymalizacji, czyli powzięcia decyzji najlepszej, pozwalającej np. zoptymalizować posiadane środki, uwzględniając z góry wytyczone cele i istniejące ograniczenia, lecz kontentuje się pierwszym rozwiązaniem, które wyda mu się zadowolające z punktu widzenia kryteriów, jakie sobie postawił lub jakie zostały mu w ten czy inny sposób narzucone\*\*\*\*. Ograniczenia racjonalności mogą także wynikać z charakteru informacji, którymi dysponujemy podczas podejmowania decyzji. Istnieją więc ograniczenia związane z:

\* Przypomnijmy, że zadanie staje się problemem dla danego podmiotu, gdy jest nowe, trudne i niepewne. Rozwiązanie jego jest możliwe dzięki tzw. czynności myślenia produktywnego, wzbogacającego wiedzę podmiotu.

\*\* T. Kotarbiński, wyd. cyt.

\*\*\* H. A. Simon: *Działanie administracji*, PWN, W-wa 1976 r.

\*\*\*\* Różnicę pomiędzy decyzjami najlepszymi (optymalnymi) i zadowolającymi trafnie charakteryzuje Simon mówiąc, że jest ona taka, jak pomiędzy „przeszukiwaniem stogu siana, aby znaleźć w nim igłę najostrejszą, a przeszukiwaniem tego stogu w celu znalezienia igły dostatecznie ostrej, aby móc szyć” w: J. G. March, H. A. Simon: *Teoria organizacji*, PWN, W-wa 1964 r.

— nie kontrolowanymi lub częściowo kontrolowanymi warunkami decydowania, tj. stanami otoczenia systemu decyzyjnego,  
 — stanem systemu decyzyjnego (w szczególności psychospołecznym stanem decydenta)\*.

Do kwestii „ograniczeń racjonalności” powrócimy w dalszej części rozważań.

Rozpatrzmy obecnie model prezentowany uprzednio na diagramie. W ramach tego modelu zadaniem decyzyjnym (ZD) nazywać będziemy trójkę wielkości

$$ZD \equiv \langle A, H, u \rangle$$

gdzie:  $A = \{a_1, \dots, a_i, \dots, a_N\}$  — zbiór alternatyw (możliwych działań decydenta),

$H = \{h_1, \dots, h_j, \dots, h_M\}$  — zbiór stanów rzeczy (otoczenia),

$u$  — tzw. funkcja korzyści (użyteczności) określona na iloczynnie kartezjańskim  $A \times H$

$$u : A \times H \rightarrow R, \quad \text{czyli} \quad u(a_i, h_j) = u_{ij} \in R$$

(w szczególności:  $0 \leq u \leq 1$ ).

Funkcja  $u$  jest funkcją rzeczywistą wyników (konsekwencji), określoną w taki sposób, że  $u_{ij}$  jest wynikiem (tzw. użytecznością), który decydent otrzymuje, gdy wybiera działanie  $a_i$  oraz znajdzie  $h_j$  stan rzeczy (otoczenia).

Zadanie decyzyjne, którego decydent nie może rozwiązać za pomocą posiadanego zasobu wiedzy, lecz jest możliwe dzięki czynności myślenia produktywnego, nazywać będziemy problemem decyzyjnym. Interesować nas będą tylko problemy decyzyjne.

Jednym z ogólnych modeli zadania decyzyjnego jest loteria, czyli taka sytuacja, w której decydent może z określonymi prawdopodobieństwami  $p_1, p_2, \dots$  otrzymać wyniki  $a_1, a_2, \dots$ , przy czym  $\sum_i p_i = 1$ ,  $p_i \geq 0$ . Na zbiorze wszystkich loterii określono jako podstawowe następujące relacje

\* Ograniczenia te mają szczególnie duże znaczenie dla decyzji dowódczych. Stąd może spotykane przeświadczenie o ograniczonej użyteczności teorii decyzji racjonalnych dla praktyki dowodzenia wojskami.

$\succ$  relacja preferencji:  $x_i \succ x_j$  oznacza, że podmiot przedkłada  $x_i$  nad  $x_j$ ,

$\approx$  relacja indyferencji (równoważności):  $x_i \approx x_j$  oznacza, że dla podmiotu obojętne jest, czy wybierze  $x_i$  czy  $x_j$ .

Relacje te mają następujące własności: spójność, antysymetrię, równoważność, przechodniość, podstawialność, ciągłość\*.

Ze względu na ogromne znaczenie metodologiczne przypomnijmy zbiór aksjomatów o racjonalnych preferencjach decydenta, sformułowany przez von Neumanna i Morgensterna:

— aksjomat 1 (dotyczący spójności) — zakłada się, że wyniki należące do zbioru wyników  $W$  są porównywalne, a zatem racjonalny decydent albo preferuje jeden z dwóch wyników, albo uważa je za identyczne;

— aksjomat 2 (dotyczący przechodniości) — dla dowolnych wyników  $w_i, w_j$  i  $w_k$  w zbiorze  $W$ : jeśli  $w_i, w_j$  i  $w_j, w_k$  to  $w_i, w_k$ ;

— aksjomat 3 (dotyczący podstawialności) — jeśli między wynikami  $w_i$  i  $w_j$  zachodzi relacja indyferencji, to zastąpienie jednego z nich przez drugi nie zmieni atrakcyjności sytuacji;

— aksjomat 4 (dotyczący wyniku zupełnie pewnego) — jeśli ktoś preferuje  $w_i$  nad  $w_j$ , to musi również przedkładać wynik zupełnie pewny  $w_i$  nad rozgrywanie zakładu, który jest funkcją prawdopodobieństwa określoną na zbiorze wyników  $w_i$  oraz  $w_j$ ;

— aksjomat 5 (dotyczący redukcji zakładów złożonych) — preferencje ludzkie nie zależą od procedury, która doprowadza do ostatecznego rezultatu;

— aksjomat 6 (dotyczący ciągłości) — można dobrać takie prawdopodobieństwa dla wyniku najbardziej preferowanego  $w_i$  oraz najmniej preferowanego  $w_j$ , że powstała w ten sposób sytuacja będzie równie atrakcyjna, jak całkowicie pewny wynik.

Należy zwrócić uwagę na to, że powyższe własności dotyczą wektorów, dzięki czemu uzyskano uogólnienie modelu ZD na przypadek wielowymiarowy.

Z aksjomatów podanych po raz pierwszy przez von Neumanna i Morgensterna\*\* wynikają ważne konsekwencje stanowiące pod-

\* W. Miszalski: *Modelowanie sytuacji konfliktowych w systemach działania* [W:] *Materiały II Szkoły Podstaw Inżynierii Systemów*. MON — PAN, Orzysz 1979 r.

\*\* J. von Neumann, O. Morgenstern, wyd. cyt.

stawy teorii decyzji, a mianowicie, jeśli spełnione są aksjomaty własności relacji, to istnieje funkcja użyteczności

$$u : X \rightarrow R$$

taka, że

$$u(x_i) > u(x_j) \longleftrightarrow x_i \succ x_j$$

oraz

$$u(\{(p_1, x_1), (p_2, x_2), \dots, (p_q, x_q)\}) = p_1 u(x_1) + p_2 u(x_2) + \dots + p_q u(x_q)$$

Zgodnie z powyższym, użyteczność działania  $x_i$  (lub wyniku  $w_i$ ) jest większa od użyteczności działania  $x_j$  (lub wyniku  $w_j$ ) tylko w wypadku, gdy decydent preferuje działanie  $x_i$  nad działanie  $x_j$  (lub wyniku  $w_i$  nad wynikiem  $w_j$ ).

Powiedzmy więc, że z decyzją wielowymiarową mamy do czynienia wtedy, gdy

- istnieje zbiór  $n$ -alternatyw,
- każda alternatywa jest wielowymiarowa, jest wektorem,
- każdy z wymiarów ocenia się na skali wartości,
- poszczególnym wymiarom odpowiadają określone współczynniki wagowe,
- na podstawie informacji o natężeniach i wagach wymiarów oraz w oparciu o różne reguły integrowania tych informacji decydent określa użyteczności poszczególnych alternatyw i dokonuje wyboru „najlepszej” z nich.

Jako przykład funkcji oceny użyteczności decyzji wielowymiarowej można przytoczyć następujące\*:

a) funkcję liniową (kompensacyjną)

$$u(x) = \sum_{i=1}^n b_i x_i$$

gdzie  $x_i$  oznacza wartość (natężenie)  $i$ -tego wymiaru, a  $b_i$  — wagę tego wymiaru;

b) funkcję koniunkcyjną

$$u(x) = \prod_{i=1}^k x_i^{b_i}$$

\* Ocenę przydatności modeli przedstawiono w pracy: M. Łukasik - Goszczyńska: Decyzje wielowymiarowe i strategie ich podejmowania. PAN 1977 r.

c) funkcję alternatywną

$$u(x) = \prod_{i=1}^k \left( \frac{1}{a - x_i} \right)^{b_i}$$

gdzie  $a$  oznacza pewną stałą arbitralną, większą co najmniej o jeden od najwyższej wartości skali, za której pomocą mierzymy natężenie  $i$ -tego wymiaru;

d) model interakcyjny

$$u(x) = \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=2}^k b_{ij} x_i x_j$$

Każde ZD ma zarówno cechy strukturalne, jak i treściowe. Szczególnie istotne są takie cechy zadań, jak: niepewność, złożoność i dynamizmy. Niepewność jest nieodłączną cechą działań zarówno poznawczych, decyzyjnych, jak i wykonawczych. J. Koziński\* zauważa słusznie, że tylko w utopiach, takich jak H. Skinera „Walden two”, człowiek może żyć poza niepewnością. Wyróżnia on przy tym „niepewność płytką”, występującą w zadaniach, w których znany jest pełny zbiór stanów rzeczy determinujących konsekwencje działania, oraz „niepewność głęboką”, gdy występuje brak jakichkolwiek danych o możliwych stanach rzeczy. Stopień złożoności wiąże się z wielowymiarowością cech występujących w zadaniach decyzyjnych. Warto zwrócić uwagę na to, co powiedział S. Lem: „cały postęp wiedzy to nic ponad stopniowe rezygnowanie z prostoty świata”\*\*. Oznacza to, że rozwój badań nad problemami decyzyjnymi przynosi wzrost złożoności badanych zadań, dzięki poznawaniu nowych czynników determinujących zarówno zachowanie decydenta, jak i otaczającego go świata. Wreszcie trzecim wymiarem ZD jest stopień dynamiki, wynikający ze zmienności otoczenia i wzrostu dynamiki informacji napływających do systemu decyzyjnego.

Najogólniejsza klasyfikacja, przyjmująca za podstawę trzy wy-

\* J. Koziński: *Operacyjny model człowieka a teoria decyzji*. w: *Wybrane zagadnienia psychologii decyzji*. z. 14, Wyd. Uniwersytetu Warszawskiego 1979 r.

\*\* S. Lem: *Katar*. Wyd. Lit., Kraków 1976 r.



różnione wymiary zadań decyzyjnych, zakłada istnienie dwóch podstawowych rodzajów zadań:

a) zadania deterministyczne (nieryzykowne), które z kolei mogą być proste i statyczne, złożone i statyczne, proste i dynamiczne oraz złożone i dynamiczne;

b) zadania probabilistyczne (ryzykowne), które również mogą być proste i statyczne, złożone i statyczne, proste i dynamiczne oraz złożone i dynamiczne.

Jest to klasyfikacja najczęściej spotykana. Uważamy jednak, że ze względu na charakter informacji wykorzystywanych przez decydenta (informacji „opisujących” sytuację decyzyjną) celowe jest przyjęcie następującego wyróżnienia (tabela: 3.1):

Tabela 3.1

Klasyfikacja sytuacji decyzyjnych

Charakter informacji		o organizacji		
		deterministyczne	probabilistyczne	nieznane
o otoczeniu organizacji	deterministyczne	DD	DP	DN
	probabilistyczne	PD	PP	PN
	nieznane	ND	NP	MN

Sytuacje: 1) pewne (DD),  
 2) niepewne (PD,PP,DP),  
 3) ryzykowne (ND,NP,NN,PN,DN),

- a) zadania deterministyczne (pewne);
- b) zadania probabilistyczne (niepewne);
- c) zadania ryzykowne.

Niepewność wiążemy z „probabilistycznością” sytuacji decyzyjnej, czyli losowym (stochastycznym) charakterem zdarzeń. Natomiast ryzyko z „nieznanym”, czyli takimi zjawiskami, których wystąpienie jest trudne do precyzyjnego określenia. Oczywiście dane probabilistyczne i „rozmyte” traktujemy jako „znane”, w odróżnieniu do tych, co do których możemy przypuszczać, że np. przyjmą wartości z pewnego przedziału zmienności (tabela

3.2). Oczywiście, w rzeczywistych sytuacjach decyzyjnych, a zwłaszcza tych, które występują w procesie dowodzenia, dominują zadania ryzykowne. Im też należy poświęcić szczególną uwagę.

Statyczne ryzykowne zadanie decyzyjne określa się jako trójkę uporządkowaną:

$$SRZD \stackrel{df}{=} \langle A, H, W \rangle$$

gdzie:  $A$  — skończony zbiór alternatyw,

$H$  — skończony zbiór hipotez o stanie rzeczy determinujących wyniki poszczególnych alternatyw,

$W$  — funkcja rzeczywista wyników (konsekwencji), tj.  $w(a_i, h_j)$  jest wynikiem, który decydent otrzyma, gdy wybiera działanie  $a_i$  i hipoteza  $h_j$  okaże się prawdziwa.

Tabela 3.2

Rodzaje informacji wykorzystywanych w modelach

Rodzaj informacji	Postać graficzna (przykład)	Postać analityczna
Informacje deterministyczne		$y = F(x)$ $x \in [x_0, x_k]$ $y \in [y', y'']$
Informacje probabilistyczne		$\Phi(y) = Pr\{F(x) < y\}$ $\Phi(0) = 0$ $\lim_{y \rightarrow \infty} \Phi(y) = 1$
Informacje „nieznane”		$\{y' = F'(x),$ $y'' = F''(x), \dots\}$ $y_0 = F(x_0)$ $\lim_{x \rightarrow \infty} F(x) = 0$



2. Kryterium max — min Walda:  
działanie  $a_r$  jest optymalne w sensie max — min zawsze i tylko, gdy

$$\min_j u_{rj} = \max_i \min_j u_{ij}$$

czyli zaleca się maksymalizację minimalnej korzyści możliwej do osiągnięcia za pomocą danego działania\*.

3. Kryterium Hurwicza:  
działanie  $a_r$  jest optymalne w sensie Hurwicza zawsze i tylko, gdy

$$a \min_j u_{rj} + (1 - a) \max_j u_{rj} = \max_i [a \min_j u_{ij} + (1 - a) \max_j u_{ij}]$$

czyli zaleca się maksymalizację sumy ważonej najmniejszej i największej korzyści osiągalnej przy podjęciu danego działania. Wagą jest parametr  $a$  ( $0 \leq a \leq 1$ ) taki, że im większe  $a$ , w tym większym stopniu decydent liczy się z ewentualnością najgorszą, im mniejsze  $a$ , tym bardziej liczy się on z ewentualnością najlepszą.

4. Kryterium Laplace'a:  
działanie  $a_r$  jest optymalne w sensie Laplace'a zawsze i tylko, gdy

$$\frac{1}{n} \sum_j u_{rj} = \max_i \frac{1}{n} \sum_j u_{ij}$$

czyli zaleca się maksymalizację średniej arytmetycznej korzyści.

5. Kryterium Savage'a:  
działanie  $a_r$  jest optymalne w sensie Savage'a zawsze i tylko, gdy

$$\max_j w_{rj} = \min_i \max_j w_{ij}$$

gdzie

$$w_{ij} = \max_k u_{kj} - u_{ij}$$

czyli każdy z elementów macierzy  $U$  zostaje przekształcany w element typu  $w_{ij}$ , będący stratą związaną z działaniem  $a_i$  oraz stanem rzeczy  $h_j$ .

6. Kryterium  $\beta$ :  
działanie  $a_r$  jest optymalne zawsze i tylko, gdy

\* Kryterium max — min sformułowane zostało pierwotnie jako dyrektywa wyboru strategii w grze dwuosobowej o sumie zerowej.

$$\beta m_r + (1 - \beta) L_r = \max_i [\beta m_i + (1 - \beta) L_i]$$

gdzie:

$$m_i = \min_j u_{ij}$$

$$L_i = \frac{1}{n} \sum_j u_{ij}$$

$$0 < \beta < 1$$

Zaleca się maksymalizację sumy ważonej dwóch składników: najmniejszej spośród użyteczności związanych z danym działaniem oraz ich wartości średniej. Kryterium stanowi więc rodzaj kompromisu między max — min a kryterium Laplace'a.

Niekiedy mówi się, że kryterium Walda charakteryzuje decydenta „ostrożnego”, kryterium Hurwicza — „przedsiębiorczego”, kryterium Laplace'a — „racjonalnego”, a kryterium Savage'a — „nie lubiącego przegrywać”. Opisywane w teorii decyzji reguły pozwalają na np. ścisłą analizę decyzyjną wybranych przykładów historycznych zachowań decydentów. I tak najczęściej jako genialnych „maksyminowców” wymienia się wodza rzymskiego, pogromcę Hannibala, Fabiusa Maximusa Cunctatora oraz króla Kazimierza Wielkiego. W interesujący sposób daje się ściśle zinterpretować starą rzymską maksymę „audaces fortuna iuvat” (śmiały szczęście sprzyja). Warto zwrócić uwagę na Kartezjusza wersję kryterium max — min, która brzmi następująco: „Między rozmaitymi mniemaniami jednako mającymi obieg wybierałem najbardziej umiarkowane zarówno dlatego, iż są one zawsze najwygodniejsze w praktyce i prawdopodobnie najlepsze, jako że wszelki nadmiar bywa zazwyczaj zły, jak również aby mniej odchodzić w wypadkach pobłądzenia od prawdziwej drogi, niż miałyoby to miejsce, gdybym wybrał jedną skrajność, podczas gdy należało trzymać się przeciwnej”.

W stosunku do kryteriów podejmowania decyzji formułowane są postulaty racjonalności, tj. warunki niezbędne do tego, aby dane kryterium mogło być uznane za racjonalne\*:

\* K. Szaniawski, wyd. cyt. Postulaty te stanowią rozszerzenie aksjomatyki von Neumanna i Morgensterna.

1)  $A = \emptyset$ , czyli zbiór działań jest niepusty (każde ZD ma rozwiązanie);

2)  $A$  jest niezmienniczy ze względu na dodatnią transformację liniową macierzy  $U$ ;

3)  $A$  nie zależy od numeracji działań;

4) jeżeli  $a_i \in A$  oraz  $a_j \geq a_i$ , to  $a_j \in A$ ;

5) jeżeli  $a_i \in A$ , to  $a_i$  jest dopuszczalne;

6) na optymalność (nieoptymalność) dowolnego działania nie ma wpływu modyfikacja ZD polegająca na wzbogaceniu zbioru  $A$  o działanie zdominowane przez jakieś działanie należące do  $A$ ;

7) jeżeli działanie  $a_i$  nie jest optymalne, to pozostanie nieoptymalnym, gdy  $A$  zostanie wzbogacony o jakiekolwiek inne działanie;

8)  $A$  jest niezmienniczy ze względu na przekształcenie ZD polegające na dodaniu stałej  $c$  do wszystkich pozycji którejkolwiek kolumny macierzy  $U$ ;

9) jeżeli  $a_i \in A$  oraz  $a_j \in A$ , to optymalne jest również postępowanie polegające na losowym wyborze między  $a_i$  oraz  $a_j$ ;

10)  $A$  nie zależy od numeracji stanów rzeczy;

11)  $A$  jest niezmienniczy ze względu na skreślenie w macierzy  $U$  dowolnej kolumny identycznej z jakąś inną kolumną;

12) jeżeli ZD nie jest trywialne (tzn. jeśli nie istnieje działanie dominujące wszystkie inne działania), to informacja polegająca na wskazaniu faktycznie zachodzącego stanu rzeczy ma wartość różną od zera;

13)  $A$  nie jest niezmienniczy ze względu na takie przekształcenie macierzy  $U$ , które zmienia poziom bezpieczeństwa działań.

Należy zauważyć, że wśród wymienionych postulatów znajdują się postulaty sprzeczne (np. 8 i 13). Nie istnieje więc kryterium decyzji, które by je wszystkie spełniało.

Obecnie dokonamy podziału decyzji przyjmując kilka zasadniczych kryteriów:

1) ze względu na charakter procesu podejmowania decyzji:

a) decyzje — wybory, czyli akty świadomego wyboru dokonanego przez decydenta;

b) decyzje — rozwiązania, czyli wyniki zastosowania określonej

techniki (procedury obliczeniowej) do rozwiązywania dobrze określonego ZD\*;

2) ze względu na treść:

- a) decyzje dotyczące celów działania;
- b) decyzje dotyczące sposobów działania;
- c) decyzje dotyczące środków działania;

3) ze względu na cechy posiadanych informacji „decyzyjnych”:

a) decyzje podejmowane w warunkach deterministycznych (pewne);

b) decyzje podejmowane w warunkach probabilistycznych (niepewne);

c) decyzje podejmowane w warunkach niepełnej (nieznanej) informacji (ryzykowne);

4) ze względu na relacje między celami działania\*\*:

- a) decyzje w warunkach antagonizmu,
- b) decyzje w warunkach antagonizmu i indywidualizmu,
- c) decyzje w warunkach indywidualizmu,
- d) decyzje w warunkach indywidualizmu i zgodności,
- e) decyzje w warunkach zgodności;

5) ze względu na relacje między działaniami:

- a) decyzje w sytuacji deterministycznej,
- b) decyzje w sytuacji fatalistycznej (gra z naturą),
- c) decyzje w sytuacji stochastycznej,
- d) decyzje w sytuacji strategicznej i growej (gry urojone);

6) ze względu na uczestnictwo w podejmowaniu decyzji:

- a) indywidualne (podejmowane jednoosobowo),
- b) zbiorowe (podejmowane kolektywnie)\*\*\*;

7) ze względu na typ podstawowych pytań stawianych w procesie decyzyjnym\*\*\*\*:

\* J. Fourastie, wyd. cyt. H. A. Simon wyróżnia natomiast decyzje programowane (przewidziane, wyuczone, powtarzane) i decyzje nieprogramowane (poszukiwanie celów, alternatyw).

\*\* W. Miszałski: *Problemy identyfikacji sytuacji decyzyjnych*. Prakseologia, nr 1—2 (61—62), 1977 r.

\*\*\* O zjawiskach związanych z decyzjami podejmowanymi kolektywnie powiemy jeszcze w dalszej części pracy, omawiając tzw. „syndrom grupowego myślenia”.

\*\*\*\* W. Drużynin, D. Kontorow: *Idea, algorytm, decyzja*. Wyd. MON 1975 r. Przedstawiony podział pokrywa się, w zasadzie, z podziałem zaproponowanym przez M. Mazura (Cybernetyka i charakter).

a) decyzje informacyjne będące odpowiedzią na pytanie „co jest prawdą?”;

b) decyzje organizacyjne odpowiadające na pytanie „w jaki sposób?”;

c) decyzje operacyjne odpowiadające na pytanie „jak działać?”;

8) ze względu na czas występowania skutków decyzji\*:

a) decyzje ze skutkiem natychmiastowym;

b) decyzje ze skutkami wynikającymi w okresie bezpośrednio po ich podjęciu (np. najwyżej w ciągu miesiąca);

c) decyzje, których skutki zaobserwować można po upływie pewnego czasu (np. kwartału);

d) decyzje, których skutki są długotrwałe lub też dają się zauważyć dopiero po dłuższym czasie;

9) ze względu na funkcjonowanie organizacji, w której są podejmowane decyzje\*\*:

a) decyzje „strategiczne” (formułowanie celów),

b) decyzje „taktyczne” (ustalanie procedur i środków umożliwiających realizowanie celów),

c) decyzje „administracyjne” (odnoszenie bieżących zdarzeń do już istniejących przepisów),

d) decyzje „doraźne” (podejmowane ad hoc, które poza momentem ich podjęcia nie mają większego wpływu na życie organizacji);

10) ze względu na rodzaj działalności podstawowej (robotniczej) można wyróżnić decyzje: polityczne, ekonomiczne, militarne, naukowo-techniczne itp.

Przedstawiony podział decyzji nie wyczerpuje zagadnienia. Zwróćmy uwagę na niektóre jego aspekty. Dla zilustrowania ostatniego z wymienionych kryteriów rozpatrzmy pewne typowe sytuacje decyzyjne związane z\*\*\*:

a) decyzją polityczną:

Cel: osłabić dywersyjne oddziaływanie wrogich ośrodków pro-

\* J. Targalski: *Metodyka podejmowania decyzji w zarządzaniu*. PWN, W-wa 1977 r.

\*\* Podziału tego dokonano dla organizacji gospodarczych, jednak ma on również ogólniejsze znaczenie. Zob. B. Czarniawska: *Podejmowanie decyzji*. Uniwersytet Warszawski 1980 r.

\*\*\* Praca zbiorowa pod red. K. Opalka: *Z zagadnień teorii polityki*. PWN, Warszawa 1978 r.



pagandowych zagranicy na świadomość polityczną różnych środowisk: Środki: rozszerzenie zakresu informacji przekazywanych przez środki masowego przekazu, dbałość o szybki przekaz tych informacji, dezawuowanie „niezależnego” charakteru ośrodków dywersyjnych, ukazywanie ostrza antynarodowego i antysocjalistycznego propagandy tych ośrodków itp.

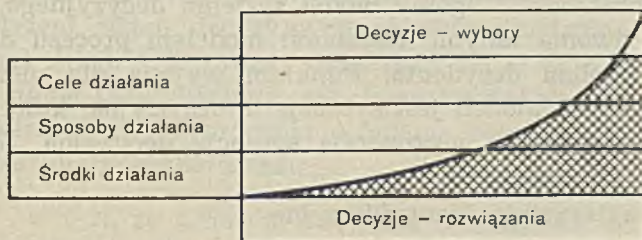
b) decyzją ekonomiczną:

Cel: zwiększenie ekspansji eksportowej dla zdobycia dodatkowych środków płatniczych mimo osłabienia koniunktury na rynkach zagranicznych. Środki: zwiększanie subwencji dla eksporterów, zwiększenie odpisów premiowych za efektywny eksport, przesunięcie części produkcji na eksport zamiast planowanych dostaw na kraj itp.

W wyróżnionych sytuacjach decyzyjnych należy dokonać wyboru takich środków działania, aby osiągnąć zamierzony cel. Bez względu na specyfikę „sytuacyjną” sam proces podejmowania decyzji nie różni się w obu przypadkach.

Dla formułowania ogólnych wniosków uwagę będziemy koncentrować na dwóch pierwszych z wymienionych kryteriów podziału decyzji. Pozwala to określić np. hipotetyczny zasięg decyzji-wyborów i decyzji-rozwiązań (rys. 3.2). Wynika stąd, że domeną decyzji-wyborów są decyzje dotyczące celów działania, natomiast decyzji-rozwiązań decyzje dotyczące środków działania (ściślej — ich ilości).

Kończąc rozważania dotyczące istoty decyzji powiemy, że decydowanie jest taką formą działania opartego na czynności myślenia produktywnego, w wyniku którego powstają decyzje inicjujące działania o charakterze wykonawczym.



3.2. Hipotetyczny zakres podstawowych rodzajów decyzji

### 3. Analiza systemowa procesów decyzyjnych

Decydowanie jako przedmiot badań można rozpatrywać zgodnie z trzema zasadniczymi podejściami: normatywnym, opisowo-wyjaśniającym i systemowym (tabela 3.3). O ile dwa pierwsze podejścia przedstawiono niejednokrotnie, to biorąc pod uwagę znane ich zalety i wady, warto zaproponować trzecie — oparte na paradygmacie systemowym. Jest ono próbą pogodzenia ujęcia

Tabela 3.3

PODEJŚCIE	normatywne	opisowo-wyjaśniające	systemowe
Tryb postępowania badawczego	dedukcyjny	indukcyjny	dedukcyjny i indukcyjny
Centrum uwagi	akt wyboru	proces podejmowania decyzji	system decyzyjny
Stosunek teorii do praktyki	niezależność teorii od praktyki	współtworzenie teorii i praktyki	współtworzenie teorii i praktyki
Przydatność praktyczna	uczą zasad i technik	uczą zrozumienia procesu	uczą zasad projektowania i doskonalenia systemów decyzyjnych

ukierunkowanego na akt wyboru (ujęcie normatywne) i ujęcia ukierunkowanego na proces podejmowania decyzji (ujęcie opisowo-wyjaśniające). Jest sprawą oczywistą, że w centrum uwagi podejścia systemowego znajduje się system decyzyjny.

Aby skonstruować ogólny model systemu decyzyjnego, posłużymy się dwoma innymi modelami: modelem procesu decyzyjnego i modelem decydenta. Punktem wyjścia dla pierwszego z wymienionych modeli jest sytuacja informacyjna, której cechy w znacznym stopniu wyznaczają sytuację decyzyjną. Sytuację decyzyjną określają:

a) charakterystyki identyfikacyjne

$$\langle g, y_D \rangle, \quad y_D = \langle y_D^1, y_D^2, y_D^3 \rangle$$

$$g = \begin{cases} 1 & \text{— sytuacja konfliktowa (antagonizm celów)} \\ 0 & \text{— sytuacja bezkonfliktowa (brak antagonizmu celów)} \end{cases}$$

$$y_D^1 \begin{cases} 1 & \text{— sytuacja złożona} \\ 0 & \text{— sytuacja prosta} \end{cases}$$

$$y_D^2 \begin{cases} 1 & \text{— sytuacja dynamiczna} \\ 0 & \text{— sytuacja statyczna} \end{cases}$$

$$y_D^3 \begin{cases} 1 & \text{— sytuacja niepewna} \\ 0 & \text{— sytuacja pewna} \end{cases}$$

Wobec powyższego każdej sytuacji decyzyjnej można przypisać jeden z szesnastu możliwych stanów;

b) Przestrzeń możliwych zadań decyzyjnych

$$Z^D = \{ZD_i : i \in I_D\}$$

c) Zbiór możliwych warunków podejmowania decyzji  $W = \{W_1^D, W_2^D, \dots\}$ , gdzie np.  $W_1^D$  — warunki dostatecznego czasu,  $W_2^D$  — warunki ograniczonego czasu,  $W_3^D$  — warunki skrajnie ograniczonego czasu itp.;

d) Zbiór możliwych kryteriów podejmowania decyzji

$$K^D = \{K_1^D, K_2^D, \dots\},$$

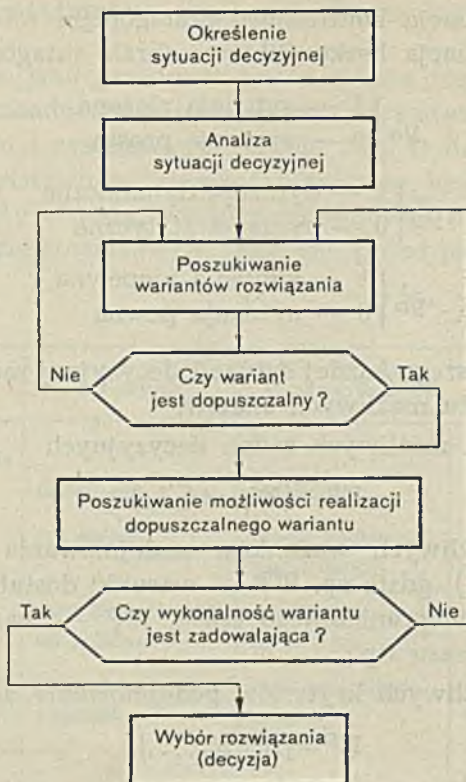
gdzie np.  $K_1^D$  — kryterium Walda,  $K_2^D$  — kryterium Savage'a itd.

Na rys. 3.3 przedstawiono ogólny schemat analizy sytuacji decyzyjnej. Analizę identyfikacyjną sytuacji decyzyjnej uważać będziemy za jeden z głównych warunków racjonalności w decydowaniu.

Wystąpienie potrzeby — przyczyny podjęcia decyzji generuje z przestrzeni zadań decyzyjnych określone zadanie decyzyjne w pewnej chwili  $t$ . Decydent znajdujący się w chwili  $t$  w określonym stanie  $D(t)$  przyjmuje określone kryterium  $K^D(a)$ . W czasie  $\tau_D$  potrzebnym na rozpoznanie zadania decyzyjnego i podjęcie decyzji dokonuje wyboru takiego

$$a^* \in A, \text{ że } K^D(a^*) \geq K^D(a) \text{ dla każdego } a \in A.$$

Wobec tego proces decyzyjny określać będziemy następująco



3.3. Ogólny schemat analizy decyzyjnej

$$\langle t : ZD, D(t), \tau_D, K^D(a), R_{ZD}(t + \tau_D) \rangle$$

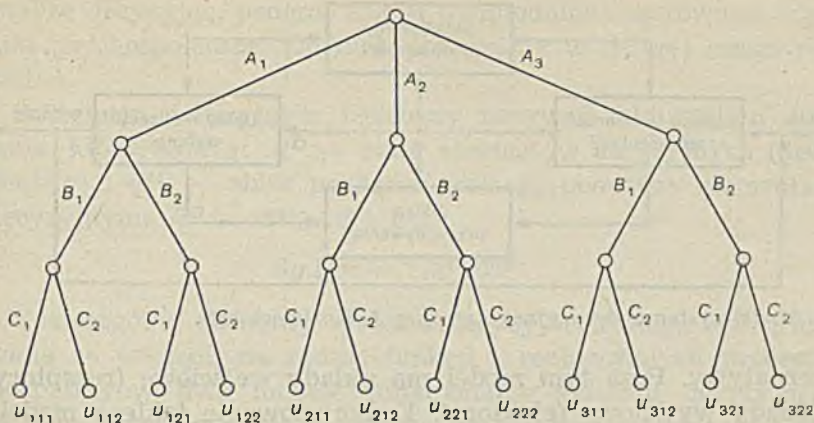
gdzie  $K^D(a) = u(a, h)$  lub  $K^D(a) = w(a, h)$

$R_{ZD}(t + \tau_D)$  — rozwiązanie  $ZD$

$$R_{ZD}(t + \tau_D) = \{a^* : K^D(a^*) \geq K^D(a), a \in A\}$$

Ogólny schemat analizy systemowej procesu decyzyjnego przedstawiono na rys. 3.3.

Użytecznym modelem procesu decyzyjnego jest graf, a ściślej dendryt decyzyjny (rys. 3.4). Gałęzie 1-go poziomu przedstawiają możliwe działania, gałęzie 2-go poziomu — możliwe stany rzeczy, natomiast węzły na poziomie ostatnim — wartości użyteczności



3.4. Graf decyzyjny (przykład)

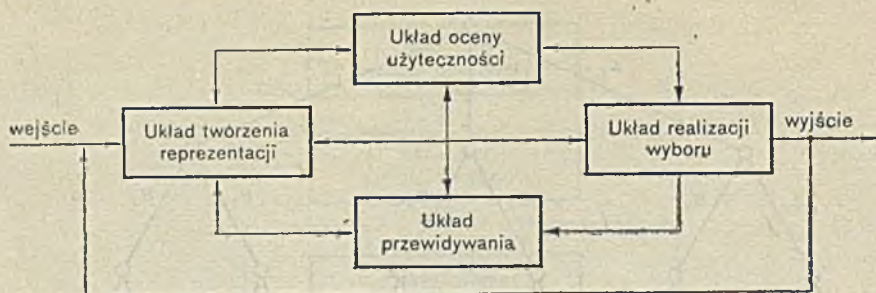
dla poszczególnych działań i stanów rzeczy. Dendryt może ulec rozbudowaniu o nowe poziomy, gdy rozpatruje się dodatkowe informacje o stanach rzeczy lub działaniach uzyskane w procesie decyzyjnym (np. parametry hipotez o stanie rzeczy). W ogólnym przypadku analizę decyzyjną można sprowadzić do analizy dendrytu decyzji, co jednak stanowi znaczne zawężenie problematyki\*.

Przyjęty jako parametr procesu decyzyjnego stan decydenta określa jego aktualne predyspozycje psychofizyczne. Są one jedną z ważnych determinant racjonalności decydowania. W związku z tym konieczne jest przyjęcie pewnego ogólnego modelu decydenta. Taki hipotetyczny model decydenta, w którym zachodzą procesy decyzyjne, przedstawiono w psychologii\*\*. Przyjmuje się, że operacje zachodzą przede wszystkim w tzw. pamięci świeżej (operacyjnej). Model tworzą następujące układy (rys. 3.5): *R* — tworzenie reprezentacji (konstruowanie modelu rzeczywistości), *U* — wartościowanie (ocena użyteczności), *P* — przewidywanie (określanie prawdopodobieństwa subiektywnego), *W* — wybór

\* \* Zob. np. J. Benjamin, C. Cornell: *Rachunek prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna i teoria decyzji dla inżynierów*. WNT, W-wa 1977 r.

H. Raiffa: *Decision Analysis*. Adolison-Wesley, Massachusetts (tłum. ros. 1977 r.).

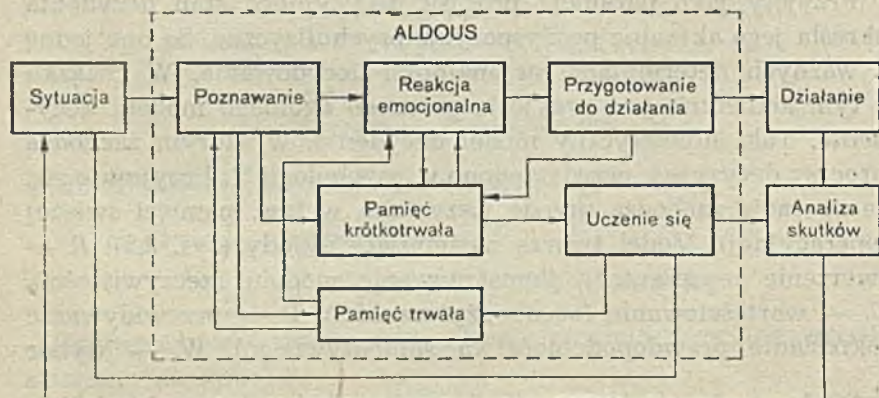
\*\* J. Kozielecki, wyd. cyt.



3.5. Model systemu decyzyjnego według J. Kozielskiego

alternatywy. Poza tym model ma układy wejściowe (receptory) i układy wyjściowe (efektory). Funkcjonowanie takiego modelu obejmuje trzy podstawowe fazy procesu decyzyjnego: fazę przeddecyzyjną (działanie układów R, U, P), fazę stricte decyzyjną (działanie W) i fazę poddecyzyjną (kontrolną). Wspomnieć należy o pierwszym funkcjonującym komputerowym modelu osobowości Aldous\*. W każdej nowej sytuacji model ten zachowuje się w odpowiedni sposób, w zależności od „nastawienia” i nagromadzonego doświadczenia (rys. 3.6).

Przyjęcie określonego modelu decydenta pozwala na efektywną



3.6. Model osobowości „Aldous”

\* A. Bratko i inni: *Modelowanie czynności psychicznych*. PWN, 1973 r.

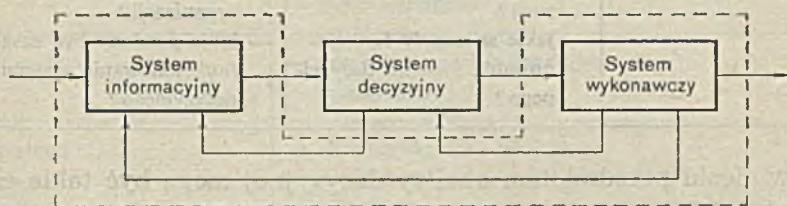
analizę decyzyjną, podczas której uwzględniane są również czynniki psychospołeczne. Do nich powrócimy w dalszej części rozważań.

Systemem decyzyjnym będziemy nazywać taki system działania, który tworzą:  $\mathcal{M}^D$  — zbiór elementów decyzyjnych (decydentów) i  $\mathcal{R}^D$  — zbiór powiązań (relacji) pomiędzy elementami decyzyjnymi  $\mathcal{R}^D \subset \mathcal{M}^D \times \mathcal{M}^D$ , czyli

$$Sy Dec \stackrel{df}{=} (\mathcal{M}^D, \mathcal{R}^D)$$

Poszczególne elementy systemu decyzyjnego mogą być grupowane ze względu na rodzaj funkcji i realizowanych procesów. Rozpatrzmy dwa modele funkcjonalne systemu decyzyjnego. W pierwszym wyróżniono układy: dyspozytora informacji, klasyfikatora sytuacji decyzyjnych, generatora hipotez i generatora decyzji, ewaluatora i estymatora, optymalizatora, dyspozytora decyzji i kontrolera. W drugim wyróżnia się podsystemy: analizowania, diagnozowania, oceniania, prognozowania, programowania, planowania, kontroli i sterowania procesami decyzyjnymi. Oba modele odpowiadają prezentowanemu ujęciu sytuacji decyzyjnej, zadania decyzyjnego i procesu decyzyjnego.

Na rys. 3.7 przedstawiono „przedział systemowy” dla systemu



3.7. „Przedział systemowy” dla systemu decyzyjnego

decyzyjnego. Należy zwrócić uwagę, że poszczególnym systemom odpowiadają podstawowe typy czynności, a mianowicie czynności: orientacyjne, decyzyjne i wykonawcze.

Mówiąc o analizie decyzyjnej będziemy mieć na uwadze taki program analizy systemowej, której przedmiotem jest proces decyzyjny realizowany w określonym systemie decyzyjnym. W ramach tak rozumianej analizy decyzyjnej prowadzone jest

ujęcie retrospektywne i prospektywne podstawowych elementów: decyzji, decydenta i organizacji (systemu decyzyjnego). Ujęcia te wiążą się z pewnymi podstawowymi pytaniami, na które poszukuje się odpowiedzi (tabela 3.4). W bardziej szczegółowym

Tabela 3.4

Poziomy analizy decyzyjnej

Cechy Elementy	Opis retrospektywny	Opis prospektywny
Decyzja	<ul style="list-style-type: none"> <li>— jakie decyzje są podejmowane w organizacji?</li> <li>— jaka jest realna wartość podejmowanych decyzji?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— jaka jest decyzja optymalna?</li> <li>— jak można poprawić wartość decyzji?</li> </ul>
Decydent	<ul style="list-style-type: none"> <li>— jakie są podstawowe cechy decydentów w organizacji?</li> <li>— jakie czynniki wpływają na zachowanie decydentów?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— jakie powinno być zachowanie decydentów?</li> <li>— jaki powinien być model „idealnego” decydenta w danej organizacji?</li> </ul>
Organizacja	<ul style="list-style-type: none"> <li>— jakie i jak są podejmowane decyzje w organizacji?</li> <li>— jakie są zasady funkcjonowania systemu decyzyjnego?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— jakie i jak powinny być podejmowane decyzje w organizacji?</li> <li>— jakie powinny być zasady funkcjonowania systemu decyzyjnego?</li> </ul>

rozwinięciu przedmiotem analizy decyzyjnej mogą być takie elementy, jak: potrzeby (przyczyny), cele, informacje, uczestnicy, warianty, procedury, kryteria, skutki, technologia (tabela 3.5). Dla każdego elementu dokonywana jest ich identyfikacja oraz poszukiwane są odpowiedzi na pytania szczegółowe.

Bank testów decyzyjnych, czyli zestaw ogólnych pytań użyteczny do celów tzw. analizy problemowej, podporządkowany jest ogólnemu pytaniu: czy jest wiadomo, jak zrobić dobrze? \* Jeżeli przyjmujemy, że celem systemu decyzyjnego jest projektowanie

\* J. Konieczny: *Elementy teorii zabezpieczenia*. Skrypt WAT, 1980 r.



## Elementy analizy decyzyjnej

Elementy	Rodzaje, typy, cechy
Potrzeby — przyczyny decyzji	<ul style="list-style-type: none"> <li>— zewnętrzne</li> <li>— wewnętrzne</li> </ul>
Cele	<ul style="list-style-type: none"> <li>— zaspokojenie potrzeb</li> <li>— uzyskanie akceptacji otoczenia</li> <li>— usprawnienie organizacji i funkcjonowania organizacji</li> <li>— maksymalizacja wartości efektów</li> <li>— minimalizacja wartości strat</li> <li>— zachowanie równowagi</li> </ul>
Informacje	<ul style="list-style-type: none"> <li>— pełne (niepełne)</li> <li>— aktualne (nieaktualne)</li> <li>— niezawodne (zawodne)</li> </ul>
Uczestnicy	<ul style="list-style-type: none"> <li>— indywidualni</li> <li>— kolektyw</li> <li>— udział doradców, ekspertów itp.</li> </ul>
Warianty działania	<ul style="list-style-type: none"> <li>— jeden wariant</li> <li>— wiele wariantów</li> </ul>
Procedury	<ul style="list-style-type: none"> <li>— zrutynizowane lub intuicyjne</li> <li>— analityczne</li> </ul>
Kryteria	<ul style="list-style-type: none"> <li>— skwantyfikowane (ilościowe)</li> <li>— nieskwantyfikowane (jakościowe)</li> </ul>
Skutki	<ul style="list-style-type: none"> <li>— rozpoznane</li> <li>— nierozpoznane</li> </ul>
Technologia	<ul style="list-style-type: none"> <li>— tradycyjna</li> <li>— informatyczna</li> </ul>

decyzji pozwalających na zaspokojenie określonej potrzeby, to należy odpowiedzieć na następujące pytania szczegółowe dla poszczególnych faz procesu decyzyjnego:

1. Sformułowanie problemu decyzyjnego:
  - dlaczego powstał problem i co stanowi jego istotę?
  - kto wysunął problem?
  - jakie przyjęto już wstępne działania?
  - czy podjęto już jakieś decyzje?
  - jakie należy ustalić priorytety?
  - jakie należy uczynić wysiłki, aby rozwiązać problem?
  - jakich terminów należy dotrzymać?
  - czy konieczne są jakieś natychmiastowe działania?
2. Analiza stanu faktycznego:
  - co jest przyczyną powstania problemu?
  - jaka jest waga problemu?
  - jakie są uboczne skutki powstania problemu?
  - jakie istnieją ograniczenia utrudniające osiągnięcie celów?
  - czy potrzebne są dodatkowe informacje?
  - z jakimi zdarzeniami należy liczyć się w przyszłości?
3. Analiza stanu pożądanego:
  - jakie są cele główne i cele uboczne?
  - czy cele odpowiadają programowi rozwoju systemu, planom bieżącym itp?
  - kto odpowiada za osiągnięcie celów?
  - gdzie, kiedy i jak należy osiągnąć cele?
  - jakie zależności wystąpią pomiędzy poszczególnymi uczestnikami realizacji celów?
4. Analiza dotychczasowej realizacji celów:
  - jakie cele uboczne już osiągnięto?
  - jakie nieprzewidziane zdarzenia nastąpiły w czasie procesu decyzyjnego?
  - czy cele były słuszne (zostały trafnie określone)?
5. Analiza alternatyw:
  - czy ma sens pozostanie przy dotychczasowym rozwiązaniu?
  - czy istnieją możliwości określenia innych dopuszczalnych alternatyw?
6. Ocena alternatyw:
  - czy alternatywy odpowiadają programowi rozwoju systemu?
  - jakie kryteria służą do oceny alternatyw?
  - czy kryteria dają się wyrazić ilościowo?

— jak można określać ważność kryteriów?  
— jakie konsekwencje i korzyści mogą przynieść poszczególne alternatywy?

— z jakimi długofalowymi skutkami alternatyw należy się liczyć?

#### 7. Projekt decyzji:

— dlaczego zaproponowana alternatywa jest najlepsza?  
— jakie działania należy podjąć (kto, kiedy, gdzie, jak)?  
— czy niezbędne są dodatkowe środki?  
— jakich, kiedy i gdzie trudności realizacyjnych należy oczekiwać?

— kogo należy poinformować o projekcie decyzji?

— kto będzie odpowiedzialny za realizację decyzji?

— komu należy powierzyć realizację?

— jaki system kontroli realizacji decyzji należy przewidzieć?

Jest to, oczywiście, jeden z wielu możliwych zestawów pytań stawianych w analizie decyzyjnej.

Analiza systemowa procesu decyzyjnego powinna m.in. pozwolić na identyfikację głównych uwarunkowań efektywności systemu decyzyjnego. Do uwarunkowań tych można zaliczyć następujące:

— psychospołeczne, dotyczące zachowania i osobowości decydentów,

— informacyjne, dotyczące systemu informacyjnego udostępniającego informacje systemowi decyzyjnemu,

— techniczne, dotyczące środków technicznych stosowanych w procesie decyzyjnym (wspomagających ten proces),

— metodologiczne, dotyczące metod stosowanych przez decydentów.

Omówimy niektóre z nich. Szczególne znaczenie należy przypisać uwarunkowaniom psychospołecznym, które wiążą się z przyjętym modelem decydenta. Przejawiają się one w postaci takich zjawisk, jak na przykład:

— pojawianie się tzw. tendencji abulicznych (brak stanowczości, wahanie, skłonność do nieuzasadnionego zwlekania z podjęciem decyzji itp.),

— woluntaryzm (uważanie woli decydentów za główny czynnik determinujący podejmowanie decyzji),

— niedoceniecie myślenia heurystycznego lub niedoceniecie myślenia analitycznego (stosowania metod algorytmicznych),

— niedoceniecie czynników pozaintelektualnych (emocje, motywacje, osobowość itp.).

Są to tylko niektóre ze zjawisk. Znaczenie pierwszego z nich bardzo interesująco przedstawia S. Lem\*, którego bohater odnosi sukces, gdyż: „W ostatecznym rachunku uratowało więc nas, a jego zgubiło — moje niezdecydowanie, moja ślamazarna poczciwość, ta poczciwość ludzka, którą tak bezgranicznie gardził”. Dodajmy, że bohater ów znajdował się w wyjątkowo trudnej sytuacji decyzyjnej, zaś jego antagonistą był wysoce inteligentny... robot. Zjawisko to mocno wiąże się z ostatnim z wymienionych, tzn. wpływem czynników pozaintelektualnych. Nie może być on pomijany w analizie decyzyjnej. A zatem jakie cechy powinny cechować myślenie współczesnego decydenta? Wymieńmy za J. Kozielskim trzy podstawowe:

— myślenie perspektywiczne, a więc umiejętność przewidywania odległych skutków działań, czyli antycypacja przyszłości i tworzenie racjonalnych scenariuszy przyszłych stanów rzeczy,

— myślenie probabilistyczne, a więc umiejętność operowania niepewnością i prawdopodobieństwami; umiejętność podkreślania nie tego, co się na pewno zdarzy, ale tego, co może się zdarzyć;

— myślenie alternatywne, ułatwiające poszukiwanie nowych konkurencyjnych rozwiązań, które byłyby lepsze od już istniejących.

Duże nadzieje były wiązane z tzw. kolektywnym (grupowym) podejmowaniem decyzji. Były one, i są nadal, uzasadnione zwłaszcza dla złożonych sytuacji decyzyjnych. Jednakże w sytuacjach niepewnych może powstać zjawisko tzw. „groupthink” (syndrom grupowego myślenia), wykryte przez Janisa w wyniku analizy różnorodnych decyzji politycznych i militarnych. Zjawisko to oznacza styl myślenia ludzi, którzy są całkowicie włączeni do spójnej grupy, w której dążenie do jednomyślności jest ważniejsze niż realistyczna ocena możliwych wariantów działania. Uważa

\* S. Lem: *Rozprawa*. [w]: *Opowiadania*. Kraków 1975 r.

się, że w takich grupach decydenci szczególną wagę przywiązują do spójności zespołu, dobrej atmosfery i samozadowolenia. Jest to konformistyczny styl myślenia powodujący, że członkowie grupy, którzy nie akceptują stanowiska większości, są automatycznie izolowani, ośmieszani i usuwani z zespołu. Taka grupa tendencyjnie selekcjonuje informacje, blokuje dane, które podają w wątpliwość trafność przyjętych rozwiązań. Decydentów tych cechuje superoptymizm i wiara we wszechmoc zespołu. Ponadto występuje w takim systemie decyzyjnym utrata krytycyzmu, iluzja „jedyne go słusznego rozwiązania”, cenzura (auto-cenzura) itp.\* Bliskim, w sensie negatywnych skutków, syndromowi grupowego myślenia jest zjawisko syndromu degeneracji woluntarystycznej\*\*. Obejmuje ono całość systemu polityczno-instytucjonalnego (organy decyzyjne, sztabowe, system informacji, system doboru kadr, propaganda itp.). Polega na arbitralności decyzji, przy czym chodzi tu o arbitralność wbrew obiektywnym prawidłowościom rozwojowym, wbrew dostępnemu poznaniu dojrzałych potrzeb i możliwości. Syndrom degeneracji woluntarystycznej może przynieść takie zjawiska, jak: rozwój form arbitralnych, „arogancja władzy”, ograniczenie informowania i zniekształcanie informacji, degeneracja doboru kadr itp.

Inne charakterystyczne zjawiska ujawniają się podczas analizy typowych sytuacji uczestnictwa w procesie decyzyjnym (tabela 3.6).

Tabela 3.6

Typowe formy uczestnictwa w procesie decyzyjnym

Zachowanie podwładnych zmierające do zwiększenia uczestnictwa	Zachowanie przełożonych (decydentów) zmierzające do ograniczenia udziału podwładnych	
	Silne	Słabe
Silne	Walka o władzę	Rotacja decydentów
Słabe	Stabilna struktura władzy	Władza „jako przykry obowiązek”

\* J. Reykowski: *Teoria motywacji a zarządzanie*. PWE, W-wa 1979 r.

\*\* J. Pajestka: *Sposób funkcjonowania gospodarki socjalistycznej*. Determinanty postępu — II. PWE 1979 r.

W sytuacjach niepewnych podczas tworzenia reprezentacji i spostrzegania prawdopodobieństwa subiektywnego mogą powstawać pewne zniekształcenia, takie jak \*:

— tzw. „złudzenie Monte Carlo” \*\*, polegające na braku wiary w niezależność zdarzeń losowych (np. jeżeli w ruletce 20 razy pod rząd wyszło czerwone, to uważa się, że lada moment musi wyjść czarne);

— „zasada reprezentatywności”, odwrotna do zjawiska poprzedniego (większe prawdopodobieństwo wystąpienia przypisuje się zdarzeniu podobnemu do zaszłych uprzednio);

— przypisywanie zdarzeniu cech procesu losowego, który je wytworzył (np. mało kto uwierzy, że prawdopodobieństwo wylosowania w Toto-Lotku 1, 2, 3, 4, 5, 6 jest takie samo, jak któregośkolwiek innego układu).

Szczególną uwagę należy przypisać wnioskowi z analizy decyzyjnej, mówiącemu, że w procesie rozwiązywania zadań złożonych, niekonwencjonalnych i twórczych podstawowe znaczenie odgrywają heurystyki (reguły heurystyczne). Są one preferowane przez zdecydowaną większość decydentów.

Do reguł heurystycznych można zaliczyć tzw. fortele sformułowane przez T. Kotarbińskiego, które pozwalają rozstrzygać różnorodne konflikty. Oto niektóre z nich \*\*\*:

— Dbaj o swobodę działania własnych sił i środków oraz krępuj swobodę manewru swego przeciwnika.

— Staraj się obezwładnić przede wszystkim organy kierownicze przeciwnika biorącego udział w konflikcie.

— Stwarzaj fakty dokonane.

— Gdy czas pracuje na twoją korzyść, stosuj zasadę kunktacji, czyli „graj na zwłokę”.

Fundamentalne znaczenie dla badań nad myśleniem heurystycznym mają prace Newella, Shawa i Simona \*\*\*\*. Istnieje po-

\* J. Koziński, wyd. cyt.

\*\* Zwane także złudzeniem Aleksego Iwanowicza bohatera „Gracza” Dostojewskiego.

\*\*\* T. Kotarbiński: *Traktat o dobrej robocie*. Ossolineum, 1965 r.

\*\*\*\* H. A. Simon: *The sciences of the artificial*. MIT 1969 r. Zob. także E. Feigenbaum, J. Feldman (red.): *Maszyny matematyczne i myślenie*. PWN, Warszawa 1972 r.

gląd, że współczesne badania nad strategiami heurystycznymi (heurystykami decyzyjnymi) należą do największych osiągnięć psychologii. Z tego powodu muszą być uwzględniane podczas projektowania racjonalnych systemów decyzyjnych.

Wśród technik heurystycznych rozwiązywania problemów decyzyjnych wyróżnia się:

1) heurystyczne techniki „subiektywne”, pozwalające na uzyskanie rozwiązania na podstawie:

- doświadczenia i (lub) rutyny,
- intuicji,
- reguł, których stosowanie nie daje się w sposób racjonalny uzasadnić;

2) heurystyczne techniki „obiektywne”, czyli specjalnie opracowywane, sformalizowane algorytmy programowania heurystycznego;

3) heurystyczne techniki „mieszane”, pozwalające na rozwiązywanie problemów decyzyjnych:

- drogą stosowania prostych, uniwersalnych reguł poszukiwania rozwiązań,
- drogą eksperymentowania i obserwacji wyników eksperymentów realizowanych przy wykorzystaniu modeli różnych typów.

Jedną ze znanych technik jest poszukiwanie heurystyczne jako proces iteracji\*:

- wybór stanu w przestrzeni problemu, od którego prowadzi się dalsze poszukiwania,
- wybór operatora, który zastosowany do wybranego stanu prowadzi do stanu nowego,
- ocena nowego stanu i decyzja o jego zaakceptowaniu lub odrzuceniu,
- zamknięcie cyklu jednym z trzech wyborów: zastosowanie kolejnego operatora do początkowego stanu, zastąpienie początkowego stanu nowym, bądź wreszcie porzucenie ścieżki zapoczątkowanej stanami początkowymi nowym i powrót do punktu wyjścia.

\* A. Newell, H. A. Simon: *Human Problem Solving*. Prentice Hall 1972 r.

Powyższa technika dobrze charakteryzuje idee programowania heurystycznego\*.

Uważamy, że postęp w dziedzinie badań nad podejmowaniem decyzji militarnych uzależniony jest w większej, niż to się często uważa, mierze od postępu badań nad myśleniem heurystycznym.

Wreszcie, zgodnie z zapowiedzią w poprzednim rozdziale, rozpatrzmy istotę informacyjnych uwarunkowań procesów decyzyjnych, dostrzegając tę istotę w zagadnieniu wartości (w sensie użyteczności) informacji. Informacja, która niewiedzę decydenta częściowo lub całkowicie redukuje, jest — z punktu widzenia decydenta — pożądana. Ważność informacji dla decydenta zależy\*\*:

— od problemu decyzji, gdyż z pewnością mniej cenna jest informacja wówczas, gdy przy każdym stanie rzeczy skutki działań niewiele się między sobą różnią co do wartości, niż — gdy są one pod tym względem drastycznie zróżnicowane;

— od jakości informacji, ponieważ cenniejsza jest informacja pełna od niepełnej, aktualna od nieaktualnej, niezawodna od zawodnej.

Załóżmy, że dane jest zadanie decyzyjne:  $\langle A, S, u \rangle$  oraz zbiór  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_r\}$  zwany zbiorem odpowiedzi. Z każdym elementem  $s \in S$  związany jest rozkład prawdopodobieństwa na zbiorze odpowiedzi  $p_s(x)$ , czyli prawdopodobieństwo odpowiedzi  $x$ , jeśli zachodzi stan rzeczy  $s$ . Zatem informacją na temat zbioru  $S$  nazywa się parę uporządkowaną  $I_s = \langle X, \{p_s\} \rangle$ . Wybór działania uzależniony jest więc od odpowiedzi na pytanie generowane przez  $X$ . Załóżmy, że dana jest funkcja decyzji określona na zbiorze  $X$  i przyjmująca wartości ze zbioru  $A$ , czyli

$$d : X \rightarrow A$$

$d(x) = a$  oznacza, że jeśli decydent otrzymał odpowiedź  $x$ , to podejmie działanie  $a$  ze względu na określony przez  $d$  sposób wykorzystywania informacji. Ponadto zakłada się, że uzyskanie informacji pociąga za sobą nieujemny koszt  $c$ . Wtedy — użytecz-

\* Zob. także J. Skibiński: *Wstęp do programowania heurystycznego* (szkic metodologiczny). ASG WP, 1970 r.

\*\* K. Szaniawski: *Pragmatyczna wartość informacji*. [W:] Problemy psychologii matematycznej. PWN W-wa 1971 r.



ność osiągnięta za pomocą  $d$ , gdy zachodzi stan rzeczy  $s$ , a koszt informacji wynosi  $c$ , daje się określić następująco

$$u_c(d, s) = \sum_{x \in X} [u(d(x), s) - c] p_s(x) = \sum_{x \in X} u(d(x), s) p_s(x) - c$$

Wartość informacji w sensie np. kryterium  $\max - \min$  określa się z warunku

$$\max_{d \in D} \min_{s \in S} \sum_{x \in X} [u(d(x), s) p_x(x) - c] \geq \max_{a \in A} \min_{s \in S} u(a, s)$$

czyli

$$\max_d \min_s u(d, s) - \max_a \min_s u(a, s) \geq c$$

Po wprowadzeniu oznaczenia

$$u(d, s) = \sum_x u(d(x), s) p_s(x)$$

wartość informacji w sensie kryterium  $\max - \min$  wyniesie

$$V_1 = \max_d \min_s u(d, s) - \max_a \min_s u(a, s)$$

W analogiczny sposób można określić wartość informacji dla pozostałych kryteriów podejmowania decyzji.

Zgodnie z przedstawionym ujęciem, wartość informacji ustalana jest ze względu na problem decyzyjny i kryterium podejmowania decyzji. Określa to relatywizację tzw. pragmatycznego aspektu informacji. Tak rozumiana wartość informacji może posłużyć jako kryterium wyboru najkorzystniejszej funkcji decyzyjnej  $d^* \in D$  oraz właściwego kryterium podejmowania decyzji. Jest to dodatkowy aspekt wiążący sytuację decyzyjną z sytuacją informacyjną, a każdy system decyzyjny z „obsługującym” go systemem informacyjnym.

#### 4. Analiza decyzyjna w sytuacjach szczególnie złożonych

Mówiąc o szczególnie złożonych sytuacjach decyzyjnych mamy na uwadze sytuacje złożone, dynamiczne, niepewne, związane

z występowaniem konfliktów i ryzyka, a więc i ogromnej odpowiedzialności za powzięte decyzje. Do takich sytuacji należą te, w których znajdują się dowódcy i sztaby na polu walki. Do wymienionych cech należy dodać podejmowanie decyzji w ograniczonym czasie i w warunkach zagrożenia, w tym także w warunkach użycia broni jądrowej. Z tych powodów wszystkie formy wspomagania podejmowania decyzji przez dowódców zasługują na uwagę. Niektóre z nich przedstawiliśmy uprzednio. W badaniu procesów decyzyjnych w systemach dowodzenia ważną rolę odgrywają zasady metodologiczne, będące podstawą stosowania wielu różnych metodyk w praktyce dowodzenia wojskami. Uważa się, że umiejętne rozłożenie wysiłków podległych wojsk na poszczególne obiekty niszczonego przez nie zgrupowania nieprzyjaciela lub na kierunki w pasie natarcia związku operacyjnego, związku taktycznego lub oddziału jest podstawowym i obowiązującym elementem decyzji. Znaczenie tego podziału sił i środków określone jest zasadami sztuki wojennej, a zatem: wybór kierunku głównego uderzenia stanowi podstawę decyzji. Dla broni jądrowej, lotnictwa, marynarki wojennej, których działania bojowe nie są związane z poszczególnymi kierunkami, podstawę decyzji do ich wykorzystania stanowi wybór rejonów ześrodkowania głównych wysiłków. Dowódca powinien w swojej decyzji uwzględniać ugrupowanie wojsk i sił w położeniu wyjściowym, zmianę ugrupowania w toku działań bojowych, rozwiązać zagadnienia manewru siłami i środkami, czasu i miejsca wprowadzenia do bitwy drugich rzutów, odtwarzania drugich rzutów i odwodów itp. W procesie podejmowania decyzji dowódczych istotne znaczenie posiadają zdolności dowódcy i oficerów sztabu do obiektywnej oceny możliwości wojsk własnych, przewidywania zamiaru nieprzyjaciela, wykorzystania własności terenu i warunków atmosferycznych oraz wykorzystania własnych doświadczeń.

Cechy działań bojowych (walki, operacji), a więc i cechy dowodzenia powodują, że do badania procesu podejmowania decyzji nie wystarczają metody i techniki proponowane przez teorię decyzji. Stwarza to konieczność sięgania poza repertuar „klasycznych” metod i technik badania oraz wspomagania decydentów.

Jako zasadniczą cechę omawianych sytuacji przyjmujemy ry-

zyko. Pojęciu ryzyka poświęcimy nieco uwagi. Często wyróżnia się pewne odmiany ryzyka, a mianowicie:

a) ryzyko prawdopodobne, tj. ryzyko związane z działaniem czynników przypadkowych, których nie można uwzględnić w analizowanym procesie; występuje ono niekiedy w postaci wartości przeciętnych określonych parametrów losowych;

b) ryzyko sytuacyjne charakteryzujące sytuacje złożone, lecz przy braku ostrego konfliktu i rozważnego przeciwdziałania (np. zmagania z przyrodą);

c) ryzyko operacyjne charakteryzujące sytuacje złożone w warunkach ostrego konfliktu (przede wszystkim działania bojowe).

Racjonalny decydent podejmując decyzję może zarówno dążyć do redukcji ryzyka, zachować się wobec niego neutralnie lub nawet aktywnie szukać ryzyka. W ostatnim przypadku może np. preferować taką alternatywę, która przynosi „wszystko albo nic”. Charakteryzować go będzie wtedy skłonność do ryzyka.

Uważa się, że sprawa w tych przypadkach, tj. sytuacjach ryzykownych nie polega właściwie na ucieczce od ryzyka, ale na kontroli nad nim, na wyborze takich działań, w których ryzyko staje się opłacalne. Ważnym zatem zagadnieniem staje się umiejętność oceny ryzyka, z którym spotyka się decydent. Ocena taka powinna obejmować określenie prawdopodobieństwa niepowodzenia (straty, katastrofy) oraz jego wielkości. Nie jest to proste, gdyż wielu ludzi ma duże trudności z identyfikacją sytuacji niebezpiecznych i zagrażających\*.

Pojęcie ryzyka definiowane jest bądź jako wariancja wyników, rozpiętość między najwyższym i najniższym wynikiem itp., bądź przyjmowane jako pojęcie pierwotne, charakteryzowane przez układ postulatów.

Dla jednego z układów postulatów\*\* rozważa się sytuację lo-

\* J. Kozielecki przytacza rysunek satyryczny (z „Chicago Sun Time”), przedstawiający dwóch mężczyzn stojących przy wyrzutni z pociskami jądrowymi. Koło stóp jednego z nich znajduje się pojemnik z aerozolem. Wskazując na niego powiedział on: „Oto, co nas zniszczy”. Taka reakcja wywołała zdziwienie drugiego mężczyzny. Zapewne różnili się oni w ocenie poziomu ryzyka związanego zarówno z używaniem „aerozoli”, jak i produkcji broni jądrowej.

\*\* M. Nowakowska: *Zarys problematyki pomiaru użyteczności i ryzyka*. Organizacja i Kierowanie, nr 4 (6), 1976 r.

terii, w której wyniki mierzone są w odpowiednich jednostkach użyteczności. Każdą taką loterię przedstawia się w postaci zmiennej losowej  $X$  o rozkładzie  $p$ , zaś z nią związane jest ryzyko  $R(p)$ . Jeden z postulatów mówi, że ryzyko jest addytywne przy udziale w niezależnych loteriach. Jeżeli więc  $p \circ f$  jest loterią polegającą na udziale najpierw w loterii  $p$ , a potem loterii  $f$ , to  $R(p \circ f) = R(p) + R(f)$ . Żąda się również, aby dla loterii o zerowej wartości oczekiwanej ryzyko wzrastało przy zwiększeniu stawki: jeżeli  $E(p) = 0$  i  $a > 1$ , to ryzyko w loterii  $ap$  jest większe niż ryzyko w loterii  $p^*$ . Orzeka się też, że dodanie stałej dodatniej zmniejsza ryzyko: loteria  $p$  jest bardziej ryzykowna niż loteria  $p+c$  ( $c > 0$ ), gdzie loteria  $p+c$  polega na tym, że bierze się udział w loterii  $p$ , i ponadto otrzymuje się wygraną  $c$  niezależnie od wyniku loterii. Teza twierdzenia o ryzyku orzeka, że funkcja ryzyka ma postać

$$R(p) = qV(p) - (1 - q)E(p)$$

gdzie  $V(p)$  i  $E(p)$  oznaczają odpowiednio wariancję i wartość oczekiwaną loterii  $p$ , a  $q$  jest pewną stałą spełniającą warunek  $0 < q \leq 1$ . Dla zerowej wartości oczekiwanej ryzyko jest proporcjonalne do wariancji, a przy stałej wariancji maleje ono liniowo wraz ze wzrostem wartości oczekiwanej.

W innym ujęciu przyjmuje się aksjomaty\*\*:

— dwie loterie o jednakowych wartościach oczekiwanych i jednakowych wariancjach są preferencyjnie równoważne, i postrzegane jako jednakowo ryzykowne,

— jeżeli trzy loterie o jednakowych wartościach oczekiwanych uporządkowane są względem stopnia ryzyka, to środkowa loteria nie jest nigdy najmniej preferowana,

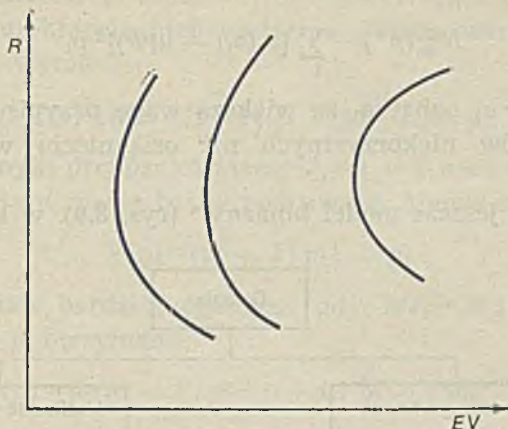
— z dwóch loterii o idealnym poziomie ryzyka preferowana jest ta, która ma wyższą wartość oczekiwaną.

Z aksjomatów tych wynika, że preferencja decydenta jako funkcja wartości oczekiwanej i ryzyka implikuje istnienie rodziny tzw. krzywych indyferencji (np. rys. 3.8). Dla ustalonej

\* Jest to zgodne z potocznym odczuciem, np. gra o stawkę 100 zł jest bardziej ryzykowna niż gra o stawkę 10 zł.

\*\* J. Koziielecki, wyd. cyt.

wartości oczekiwanej istnieje najbardziej preferowany poziom ryzyka: zwiększenie lub zmniejszenie ryzyka powoduje zmniejszenie atrakcyjności loterii.



3.8. Krzywe indyferencji w analizie decyzyjnej ryzyka

Najogólniejszym wynikiem z dziedziny teorii ryzyka jest twierdzenie Sayekiego \*, którego przedmiotem jest wyznaczenie funkcji użyteczności uwzględniającej również ryzyko. Zgodnie z nim użyteczność sytuacji ryzykownej (loterii) jest tym wyższa, im wyższa jest wartość oczekiwana  $E(p)$  i im większy jest drugi moment tzw. części dodatniej loterii, określanej względem postulowanego punktu zerowego (wyniku „neutralnego”)  $\Phi$  (gdy z większymi prawdopodobieństwami mogą pojawić się wysoko korzystne wyniki). Jeżeli  $p^+$  i  $p^-$  oznaczają odpowiednio część dodatnią i ujemną loterii  $p$ , tj. rozkłady warunkowe prawdopodobieństwa na zbiorze wyników odpowiednio „dodatnich” (lepszych od  $\Phi$ ) i „ujemnych” (gorszych od  $\Phi$ ), a  $u$  oznacza użyteczność wyników w sytuacji bez ryzyka, to użyteczność loterii  $p$  określa wyrażenie

$$U(p) = E(p) - u(\Phi) + \frac{a_1 M_{\Phi}^2(p^+) - a_2 M_{\Phi}^2(p^-)}{u(e^+) - u(\Phi)}$$

\* M. Nowakowska: *Nowe idee w naukach społecznych*. Ossolineum, Wrocław 1980 r.

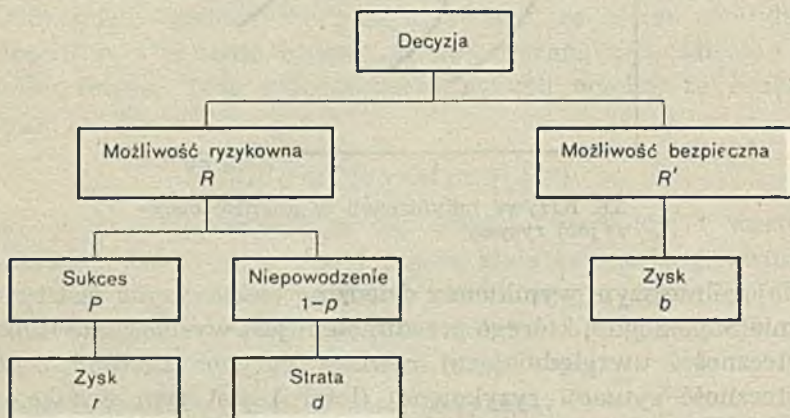
gdzie  $a_2 > a_1 > 0$  są stałymi,  $e^+$  jest ustaloną dodatnią jednostką,  $M_\Phi^2$  oznacza drugi moment względem punktu  $\Phi$ .

Jeżeli loteria  $p^+$  daje wyniki  $a_1, a_2, \dots$  z prawdopodobieństwami  $p_1, p_2, \dots$ , to

$$M_\Phi^2(p^+) = \sum_i [u(a_i) - u(\Phi)]^2 p_i$$

Warunek  $a_2 > a_1$  oznacza, że większą wagę przypisuje się uniknięciu wyników niekorzystnych niż osiągnięciu wyników korzystnych.

Rozpatrzmy jeszcze model binarny\* (rys. 3.9), w którym decy-



3.9. Binarny model ryzykownej sytuacji decyzyjnej według M. Nowakowskiej

dent ma wybrać między działaniem ryzykownym  $R$  i działaniem nieryzykownym  $R'$ . Działanie nieryzykowne przynosi nagrodę  $b$ . Działanie ryzykowne może prowadzić do jednego z dwóch rezultatów: sukcesu i niepowodzenia, z prawdopodobieństwami subiektywnymi  $p$  oraz  $1 - p$ . Sukces daje nagrodę  $r$ , a niepowodzenie przynosi stratę  $d$ . Zakładając dla tych działań użyteczność  $u(r)$  i  $u(-d)$  wyznacza się wartość oczekiwaną działania ryzykownego

$$V(p) = pu(r) + (1 - p)u(-d) = p[u(r) - u(-d)] + u(-d)$$

która jest funkcją rosnącą liniową parametru  $p$ .

\* M. Nowakowska: *Nowy model wyboru w sytuacji ryzyka*. *Prakseologia*, nr 3 (79), 1980 r.

Rozszerzając model, wprowadza się dwie wielkości: siłę  $M$  motywu osiągnięcia sukcesu oraz siłę  $F$  motywu uniknięcia niepowodzenia (obawy przed niepowodzeniem) oraz funkcje:  $J_s(p, r)$  — wartości pobudkowej sukcesu i  $J_{af}(p, d)$  — wartości pobudkowej uniknięcia niepowodzenia. Wtedy wartość działania ryzykownego wyniesie

$$V(p) = p M I_s(p, r) + (1 - p) F I_{af}(p, d)$$

W szczególnym przypadku mamy  $J_s = 1 - p$  oraz  $J_{af} = -p$ , czyli zyski  $r$  i straty  $d$  nie są brane pod uwagę. Mamy wówczas

$$V(p) = (M - F) p(1 - p)$$

W przypadku bardziej ogólnym, gdy  $MJ_s = M(1 - p) + r$  oraz  $FJ_{af} = -Fp - d$  otrzymano

$$V(p) = -(M - F) p^2 + (r + d + M - F) p - d$$

Z tego wynika, że ocena działania ryzykownego może przyjmować różną postać, natomiast sytuacja decyzyjna opisana jest parametrami  $p$ ,  $r$ ,  $d$ ,  $b$ , zaś decydenta charakteryzują wielkości  $M$  i  $F$ .

Niewątpliwie „modele ryzyka” zawierają wiele założeń upraszczających. Dlatego wymagają dalszych badań. Nie ulega natomiast wątpliwości, że pomiar i ocena ryzyka musi stanowić istotny czynnik analizy decyzyjnej, dotyczącej przede wszystkim sytuacji szczególnie złożonych.

Wydawać by się mogło, że z „klasycznego” repertuaru metod najodpowiedniejszymi są metody teorii gier\*, a w szczególności metody rozwiązywania gier strategicznych (antagonistycznych)\*\*.

Przypomnijmy, że jednym z trudniejszych zagadnień w tej dziedzinie jest określenie strategii partnera (przeciwnika), czyli zbioru wszystkich możliwych dla niego sposobów działania. Do innych ograniczeń zastosowań wojennych modeli teorii gier zaliczyć można:

— oprócz krańcowych możliwości sił i środków brak jest w konflikcie wojennym „reguł” gry,

\* Zob. „Gra jako model działania”

\*\* Dresher: *Gry strategiczne*. MON, ASG WP 1968 r.

— wcześniej nie jest znana własna decyzja, należy ją dopiero wypracować,

— „organizator” gry zmuszony jest także do „opracowania” decyzji przeciwnika,

— nie uwzględniana jest dezinformacja,

— elementy macierzy gry mogą być bardzo zróżnicowane (np. przy stosowaniu jednej strategii osiąga się znaczne straty w technice nieprzyjaciela, a przy innej — żołnierzy wroga,

— konieczność uwzględnienia stosunkowo niewielkiej ilości czynników.

Pomimo tych ograniczeń, a zwłaszcza, co należy szczególnie wyraźnie podkreślić, nieuwzględniania faktu, że w historii wojen wprowadzenie przeciwnika w błąd stosowane było częściej, niż udane fortele, modele teorii gier powinny być preferowane w analizie decyzyjnej procesów dowodzenia.

Rozpatrzmy pewien „nieklasyczny” przypadek \*. Zakładamy, że możliwości i decyzje stron znane są tylko częściowo, czyli strony posiadają pewne ukryte możliwości i decyzje. Jedno z zadań w procesie decyzyjnym polegać będzie na tym, aby ujawnić te możliwości i decyzje, a następnie dokonać ich oceny.

Dane aprioryczne o działaniach stron przedstawimy w postaci macierzy gry, przy czym część wierszy i kolumn pozostanie niewypełniona. Każdy element macierzy przedstawia dane typu: „wynik dodatni”, „nakłady na osiągnięcie wyniku”, tj.  $\{G^{(1)}, S^{(1)}\}$ , przy czym  $G^{(1)} = (G_1^{(1)}, G_2^{(1)}, \dots, G_n^{(1)})$ ,  $S^{(1)} = (S_1^{(1)}, S_2^{(1)}, \dots, S_n^{(1)})$ .

Macierz gry dla strony I ma postać

$$A^I = [(G_{vu}^{(1)}, S_{vu}^{(1)})]_{\substack{v=1,2,\dots \\ u=1,2,\dots}}$$

a macierz gry dla strony II ma postać

$$A^{II} = [(G_{vu}^{(2)}, S_{vu}^{(2)})]_{\substack{v=1,2,\dots \\ u=1,2,\dots}}$$

W związku z powyższym efektywność działania poszczególnych stron, gdy strona I przyjmie  $v$ -tą strategię, a strona II — stra-

\* N. Worobiew: *O niektórych metodologicznych problemach teorii gier*. w: *Strategia gier*. KiW, W-wa 1969 r.



tegię  $u$ -tą, wyniesie odpowiednio:  $E_{vu}^{(1)} = E^{(1)}[(G_{vu}^{(1)}, S_{vu}^{(1)})]$  oraz  $E_{vu}^{(2)} = E^{(2)}[(G_{vu}^{(2)}, S_{vu}^{(2)})]$ , przy czym  $G_{vu}^{(1)}, S_{vu}^{(1)}, G_{vu}^{(2)}, S_{vu}^{(2)}$  oznaczają odpowiednio efekty i straty obu stron przy danych strategiach.

Załóżmy, że  $G^{(1)}=S^{(1)}$  oraz  $S^{(2)}=G^{(2)}$  i rozpatrzmy przykłady, dla których dane ilościowe przedstawiono w tabelach 3.7 — 3.9\*.

Tabela 3.7

Strona II \ Strona I		Strona II			
		1	2	3	4
1	5,3	2,—	0,1	5,—	
2	2,1	1,0	4,4		
3	0,1	5,4	4,1	—,2	

Tabela 3.8

Strona II \ Strona I		Strona II		
		1	2	3
1	2,4	3,3	0,6	
2	3,2	1,5	6,1	
3	4,0	5,1	1,5	

Tabela 3.9

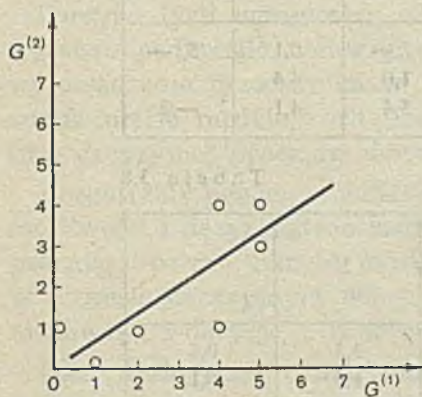
Strona II \ Strona I		Strona II		
		1	2	3
1	2,4	5,5	0,6	
2	3,5	1,3	6,1	
3	4,4	5,2	1,5	

Wyniki analizy rezultatów przedstawiono w postaci wykresów linii regresji. Wynika stąd, że działania opisane w tabeli 3.7 charakteryzuje współpraca stron (rys. 3.10a), w tabeli 3.8 —

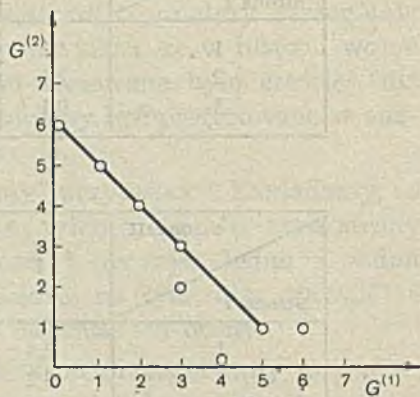
\* W. Drużynin, D. Kontorow: *Woprosy wojennej sistemotechniki*. Moskwa 1976 r.

ostry konflikt (rys. 3.10b), a w tabeli 3.9 — łagodny konflikt (rys. 3.10c).

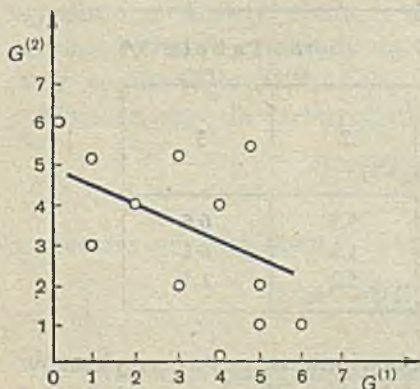
W przykładzie tym, gdy nie wiadomo, którą z tablic będzie posługiwać się strona II i czy dysponuje ona informacjami o niewypełnionych wierszach, nie można stosować decyzji growej (strategii czystych lub mieszanych). Nie istnieje również zapewne „jedyne słuszne” rozwiązanie. Rzecz polega więc na znalezieniu dogodnych strategii, a następnie na wypracowaniu takiego planu działania, który doprowadzi do realizacji tych odpowiednich decyzji.



a)



b)



c)

### 3.10. Analiza relacji pomiędzy uczestnikami sytuacji decyzyjnej:

a — współpraca, b — ostry konflikt, c — „łagodny” konflikt (według W. Drużynina i D. Kontorowa)

I tak np. w tabeli 3.7 pożądaną jest połączenie strategii (3,2), gdyż wtedy wspólna wygrana wynosi 9. Niebezpieczeństwo polega jednak na tym, że strona II nie mając rozeznania w zamiarach strony I, może skłaniać się ku strategii 1, a wówczas wariant (3,1) daje wygraną tylko 1.

Z kolei, w sytuacji przedstawionej w tabeli 3.8 wydaje się słuszne przyjęcie strategii 2, jeżeli byłoby wiadome, że strona II zastosuje strategię 1. Ale strona II może przyjąć strategię 2 lub jeszcze bardziej niekorzystną. Z tablicy 3.9 wynika natomiast, że wątpliwe jest przyjęcie wariantu (2,3) z uwagi na duże niebezpieczeństwo.

We wszystkich analizowanych sytuacjach występowała duża nieokreśloność spowodowana trudnością przewidzenia decyzji strony II.

W procesie podejmowania decyzji należy dążyć do zmniejszenia tej nieokreśloności stosując możliwe metody i techniki heurystyczne, a w tym podjęcia takich przedsięwzięć dezinformujących, ażeby strona II była przekonana, że strona I działa zgodnie z określoną strategią. Przedsięwzięcia te, wraz z poprzedzającą je analizą typu stosunków stron przeciwnych (współpraca, ostry konflikt, łagodny konflikt), powinny zwiększyć stopień znajomości problemu decyzyjnego, ujawnienie możliwych działań przeciwnika oraz wyeliminowanie niespodzianek. Taki sposób analizy decyzyjnej został przedstawiony w cytowanej książce Drużynina i Kontorowa. Łączy on metody analityczne z technikami heurystycznymi, ściśle kalkulacje z oszacowaniami, opis ilościowy z opisem werbalnym itp. Dokonano ponadto określenia zależności  $G$  i  $S$  od wskaźników efektywności systemów walki obu przeciwnych stron.

Doskonalenie metod analiz decyzyjnych wymaga prowadzenia wielu eksperymentów symulacyjnych z wykorzystaniem komputerów. Jednym z nich była gra „napad-obrona” prowadzona na mapach\*. Jednemu operatorowi polecono opracowanie planu przełamania obrony określonego zgrupowania. Następnie jego decyzje przekazano innemu operatorowi kierującemu OPL, który powinien dokonać odpowiednich przegrupowań i odeprzeć nalot. Sy-

\* W. Drużynin, D. Kontorow, wyd. cyt.

tuacje ponawiano, aż dopóki któryś z operatorów nie przyzna się do swojej porażki, bądź rozjemca po dokonaniu 10 rozgrywek nie wskaże zwycięzcy na podstawie efektywności wszystkich podjętych decyzji. Warunki gry ulegały następującym zmianom:

1) uczestnikom gry przekazywano pełne decyzje ich przeciwników;

2) nie ujawniano 20% informacji;

3) nie ujawniano 40% informacji;

4) nie ujawniano 80% informacji.

Z kolei operatorzy dysponowali następującymi możliwościami:

a) sami oceniali efektywność decyzji, a dla jej przygotowania i oceny dysponowali czasem nieograniczonym (średnio 50 minut);

b) oceny efektywności dokonywała EMC według programu nieznanego uczestnikom gry, który trwał 1 minutę, a na przygotowanie decyzji przeznaczono 10 minut;

c) operatorzy znali program na EMC i mieli możliwość korygowania go w procesie podejmowania decyzji, zaś czas podejmowania decyzji został skrócony do 5 minut.

W eksperymencie uwaga koncentrowała się na trzech zasadniczych czynnikach: efektywności, czasie i nieokreśloności. Analiza rezultatów jednoznacznie wskazuje wręcz na konieczność komputerowego wspomaganie decydentów, nie tylko ze względu na oszczędność czasu, lecz także większe możliwości twórczego spojrzenia na sytuację decyzyjną i pomoc w wysuwaniu nowych idei rozwiązań.

Wspomnieć również trzeba o rozwoju interaktywnych metod podejmowania decyzji (metod optymalizacji) w systemach „człowiek-komputer” (np. algorytm Franka-Wolfa, program CONCORD — Conference Coordinator itp.)\*. Z rozwojem tych metod należy z pewnością wiązać największe nadzieje na postęp w usprawnianiu procesów decyzyjnych w systemach dowodzenia. Jest to jednak bardzo rozwinięta forma komputerowego wspomaganie decydentów. Formą mniej rozwiniętą jest dialog „człowiek-maszyna”, polegający na zadawaniu prostych pytań i wyszukiwaniu w bazie danych informacji, z których tworzona jest odpowiedź.

\* Zob. np. zbiór artykułów pt. *Woprosy analiza i prociedury priniatija rieszenij*. Mir, Moskwa 1976 r.

Przykładem tego może być system Deacon. Oto fragment dialogu prowadzonego w tym systemie\*:

...  
UŻYTKOWNIK: JAKA JEST GOTOWOŚĆ BATALIONU PPLK. PARKERA?  
URZ. KOŃCOWE: POMARAŃCZOWA  
UŻYTKOWNIK: DANE: 425 OPUŚCI FORT LEWIS O 21950  
URZ. KOŃCOWE: W PORZĄDKU  
UŻYTKOWNIK: DANE: 638 PRZYBĘDZIE DO FORTU LEWIS O 20000  
URZ. KOŃCOWE: W PORZĄDKU  
UŻYTKOWNIK: CZY USTALONO PRZYBYCIE 638 DO FORTU LEWIS PRZED OPUSZCZENIEM FORTU LEWIS PRZEZ 425?  
URZ. KOŃCOWE: TAK  
UŻYTKOWNIK: ILE BOJOWYCH KOMPANII INŻYNIERYJNYCH MIAŁO W TYM ROKU ĆWICZENIA W FORCIE IRWIN?  
URZ. KOŃCOWE: 6  
UŻYTKOWNIK: ILE ZNAJDUJE SIĘ TAM JEDNOSTEK SZÓSTEJ ARMII?  
URZ. KOŃCOWE: 38  
UŻYTKOWNIK: JAKA JEST ODLEGŁOŚĆ 638 BATALIONU OD SAN DIEGO?  
URZ. KOŃCOWE: 61  
...

Możemy więc powiedzieć, że przedstawiona forma dialogu człowieka z komputerem stanowi komputerowe wspomaganie procesu przeddecyzyjnego, podczas którego zdobywane są informacje szczegółowe niezbędne do powzięcia trafnej decyzji.

#### Przykład:

Na stanowisku dowodzenia związku operacyjnego operator dysponuje grafoskopem, czyli monitorem ekranowym z tzw. piórem świetlnym. Operatorowi potrzebne są dane o stanie wojsk własnych, a wtedy żąda za pomocą urządzenia końcowego „STAN WOJSK WLAS”. Na ekranie monitora otrzymuje informację typu:

WOJSKA WLAS		
1 ZO	STAN ETAT	LUDZIE
11 ZT Z	STAN EWID	CZOLGI
12 ZT Z	STAN FAKT	TRANSP
13 ZT Z		ARMATY
14 ZT PANC		SR PPANC
15 ODDZ ART		

\* J. Martin: *Dialog człowieka z maszyną cyfrową*. WNT, W-wa 1976 r.

Operatora interesuje faktyczny stan czołgów tylko w 14 pancernym związku taktycznym 1-go związku operacyjnego. Za pomocą pióra świetlnego („dotykając” odpowiednich nazw wyświetlonych na ekranie) wprowadza do maszyny cyfrowej: 1 ZO STAN FAKT CZOŁGI. Po wprowadzeniu tej informacji na ekranie monitora ukaze się komunikat: „131, W TYM 63 CZOŁGI CIĘŻKIE. CZEKAM NA PYTANIE”. Komunikatów i pytań podobnych treści można przytoczyć wiele.

### Przykład:

Jako inny przykład systemu decyzyjnego ze wspomaganiami komputerowym rozważymy system obrony powietrznej. W systemie tym na stanowisku dowodzenia znajduje się grafoskop umożliwiający obustronną komunikację dowódcy z komputerem\*. Proces decyzyjny analizować będziemy w charakterystycznych chwilach:

$t=0$ : w maszynie cyfrowej brak jest informacji o jakimkolwiek celu;

$t=0+10$  s: system obserwacyjny stacji radiolokacyjnych wykrył dwa cele, zarejestrowane w pamięci jako cele A i B. Maszyna komunikuje operatorowi, że pojawiły się dwa cele. Na podstawie położenia celów i możliwości środków OPL komputer przedstawia propozycję decyzji: najpierw — zniszczyć cel A, potem — zniszczyć cel B.

$t=0+15$  s: operator zgadza się z propozycją maszyny cyfrowej.

$t=0+20$  s: maszyna cyfrowa zaczyna działać według ustalonej kolejności: rozpoczyna się przygotowanie wyrzutni raketowych do zniszczenia celu A. W tym czasie pojawia się cel C o znacznie większej prędkości niż A i B, który należałoby zniszczyć w pierwszej kolejności. Maszyna cyfrowa dokonuje analizy nowej sytuacji i wraz z poprzednią propozycją przedstawia nową propozycję decyzji:

w czasie  $t+15$  s — zniszczyć cel C,

\* M. Stolarski: *Nowoczesna komunikacja graficzna człowieka z maszyną cyfrową* [W:] Problemy przetwarzania informacji, T. 1, WNT, W-wa 1970 r.

$t + 88$  s — zniszczyć cel B,

$t + 110$  s — zniszczyć cel A.

Operator może akceptować lub nie propozycję maszyny cyfrowej, przy czym możliwe są następujące warianty postępowania:

1. Kontynuować poprzedni wariant decyzji.
2. Zażądać od maszyny jeszcze innych wariantów rozwiązania.
3. Podjąć decyzję na podstawie dialogu z maszyną.
4. Samemu zaproponować nową decyzję.

Dialog z maszyną może przebiegać następująco:

$t = 0 + 25$  s:

OPERATOR: JEŻELI CEL C PRZYJME ZA PIERWSZY, CZY BĘDĘ MÓGL NASTĘPNIE ZNISZCZYĆ A, NIE GUBIĄC B?

$t = 0 + 27$  s:

KOMPUTER: TAK.

$t = 0 + 30$  s:

OPERATOR: W JAKI SPOSÓB?

$t = 0 + 32$  s:

KOMPUTER: C PO 10 S, A PO 80 S, B PO 120 S

$t = 0 + 35$  s:

OPERATOR: DLACZEGO ZAPROPONOWAŁAŚ KOLEJNOŚĆ CBA, A NIE CAB?

$t = 0 + 38$  s:

KOMPUTER: W TEN SPOSÓB OSTATNI OBIEKT ZOSTANIE ZNISZCZONY O 5 KM DALEJ OD CELU ATAKU NIŻ W WARIANCIE DRUGIM.  
UWAGA! ABY NIE STRACIĆ MOŻLIWOŚCI ZNISZCZENIA CELU C MUSISZ ZDECYDOWAĆ SIĘ NA JEDEN Z WARIANTÓW W CIĄGU 5 S.

Decyzja dowódcy związana jest ze złożonym procesem myślowym, a także z umiejętnością przedstawiania informacji zawartej w niej w postaci werbalnej, pisemnej i graficznej (na mapie, planie, grafiku). Jednocześnie wraz ze wzrostem zakresu informacji opartych na intuicji i analizie „myślowej” rośnie rozmiar i złożoność zadań obliczeniowych związanych z oceną sytuacji i optymalizacją. Wzrosło znaczenie zadań zawierających dane ilościowe i dane topologiczne (rejony ześrodkowania wojsk, trasy marszu itp.) oraz dane jakościowe. Dla zadań tych opracowywane są algorytmy i programy na EMC, które dotyczą np. przydziału celów, tworzenia zgrupowań, dystrybucji środków, wyboru marszrut itp. W procesie realizacji tych zadań do komputera wpro-

wadza się opis sytuacji, tj. mapę z naniesioną sytuacją operacyjną dotyczącą wojsk własnych i przeciwnika, charakterystyki terenu i przewidywane działania stron. Za pomocą EMC dokonuje się modelowania działań i na żądanie operatora mogą być wydawane wyniki pośrednie (np. mapa z naniesionymi rubieżami i ilościowymi charakterystykami). Na podstawie ich operator dokonać może zmiany zadań jednostek, przemieszczenia środków itp. Modelowanie działań realizowane jest dopóty, dopóki operator uzna proponowane rozwiązania za, co najmniej, zadowalające. Dialog z maszyną cyfrową powinien więc być prowadzony w systemie decyzyjnym nie według zasady „jak zrobić”, lecz „co zrobić” (co jest możliwe do zrealizowania). Dialog ten stanowić może jedną z głównych form doskonalenia procesów decyzyjnych w szczególnie złożonych sytuacjach.

Na zakończenie tych rozważań rozpatrzmy pewien ogólny prosty przypadek.

#### Przykład:

Rozpatrzmy proces planowania operacji zaczepnej przez stronę A. Analizowane są trzy warianty ugrupowania:

- $A_1$  — trzy zmechanizowane związki taktyczne w I rzucie, dwa pancerne związki taktyczne w II rzucie;
- $A_2$  — dwa zmechanizowane związki taktyczne i jeden pancerny w I rzucie, jeden zmechanizowany i jeden pancerny związek taktyczny w II rzucie;
- $A_3$  — dwa pancerne i jeden zmechanizowany związek taktyczny w I rzucie, dwa zmechanizowane związki taktyczne w II rzucie.

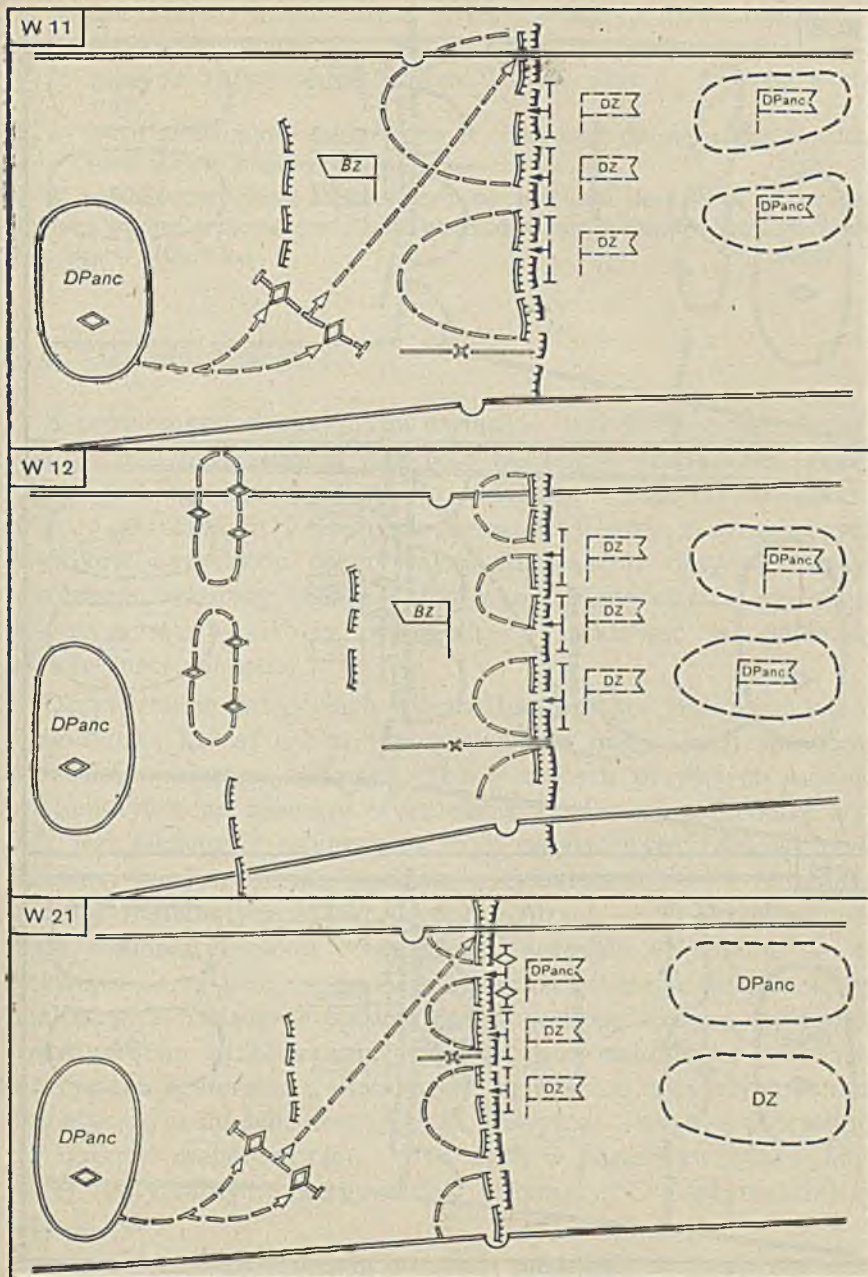
Przewiduje się, że strona B mając w II rzucie korpusu dywizję pancerną może ją wykorzystać w jednym z wariantów:

- $B_1$  — wykonać kontratak,
- $B_2$  — przejść do obrony drugiego pasa.

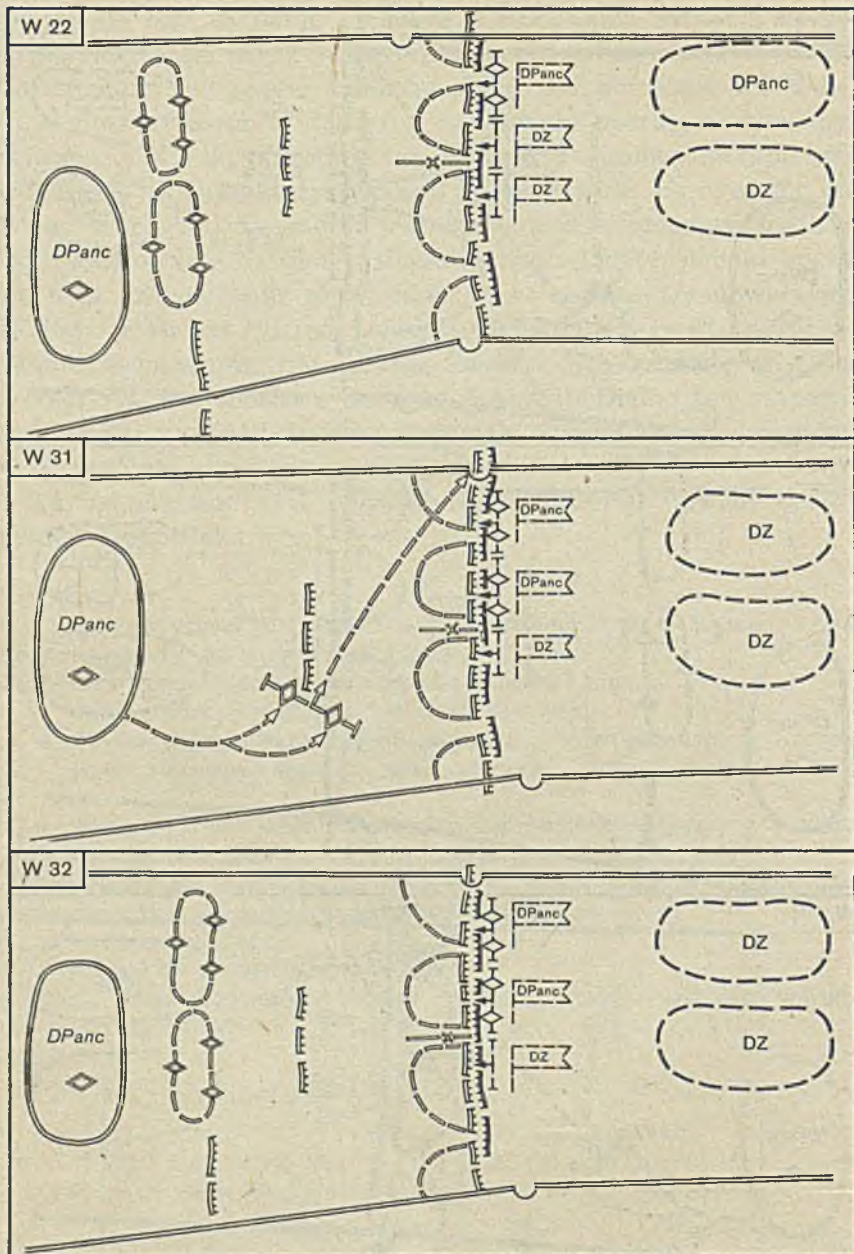
Istnieje zatem konieczność analizy decyzyjnej sześciu możliwych wariantów walki (rys. 3.11):

Strona A			
	$A_1$	$A_2$	$A_3$
Strona B			
$B_1$	$W_{11}$	$W_{21}$	$W_{31}$
$B_2$	$W_{12}$	$W_{22}$	$W_{32}$





3.11. Warianty sytuacji decyzyjnej (przykład)



3.11. Warianty sytuacji decyzyjnej (c.d. przykładu)

W zależności od działań strony  $B$  ( $B_1$  lub  $B_2$ ) strona  $A$  może podjąć następujące działania (rys. 3.11):

- $C_1$  — jeden ze związków taktycznych II rzutu użyć do odparcia kontrataku,
- $C_2$  — jeden ze związków taktycznych II rzutu użyć do pokonania drugiego pasa obrony nieprzyjaciela.

W analizie decyzyjnej wykorzystywany jest graf decyzyjny, za pomocą którego można oszacować wielkość przewidywanych efektów stosując funkcję:  $u_{ijk} = u(C_i/A_jB_k)$ .

## 5. Optymalizacja

Z problemami decyzyjnymi związane jest ściśle pojęcie optymalizacji. Optymalizacją nazywać będziemy działalność, której celem jest uzyskanie najlepszego rezultatu w danych warunkach i przy określonym kryterium oceny. Najlepszy z otrzymanych wyników nazywamy optymalnym. Rozważania dotyczące optymalizacji będziemy łączyć tylko z matematycznymi modelami decyzyjnymi, a metody optymalizacji traktować jako metody stricte matematyczne.

Oczywiście w kategoriach optymalizacji można traktować każdą działalność, której celem jest znalezienie najlepszych sposobów i środków działania, jednak tylko w ramach przyjętego modelu matematycznego możemy orzec obiektywnie, czy dokonany wybór jest faktycznie najlepszym, czyli optymalnym. Dlatego, podkreślimy to jeszcze raz, zadanie optymalizacji — to określone zadanie matematyczne, metoda optymalizacji — to określona metoda matematyczna, a rozwiązanie (decyzja) optymalne — to rozwiązanie za pomocą danej metody określonego zadania optymalizacji. Rozwiązanie optymalne nie jest najlepszym „w ogóle” rozwiązaniem problemu decyzyjnego, lecz najlepszym w sensie przyjętego kryterium i określonych ograniczeń przyjętych w matematycznym modelu decyzyjnym. Powyższe uwagi są potrzebne, by uniknąć nieporozumień wyrażanych w postaci zwrotów: „bardziej optymalny”, „najbardziej optymalny”, „optymalniejszy niż...” itp.

W problemie decyzyjnym będącym zadaniem optymalizacyjnym

kryterium podejmowania decyzji przedstawione jest w postaci funkcji (funkcjonału) na ogół wielu zmiennych, tzw. zmiennych decyzyjnych. Decyzja polega więc na wyborze pewnych wartości tych zmiennych, przy czym obszar możliwych wyborów nie jest dowolny, lecz na ogół dokładnie określony przez podanie układu nierówności (lub równań) — tzw. ograniczeń wiążących zmienne decyzyjne. Spośród dopuszczalnych, tzn. należących do określonego wyżej obszaru, czyli zbioru rozwiązań dopuszczalnych, należy dokonać wyboru takich wartości, dla których funkcja kryterialna przyjmie wartość maksymalną (lub minimalną). Zatem optymalizacją nazywać będziemy maksymalizację lub minimalizację funkcji kryterialnej przy zadanych ograniczeniach

Zadanie optymalizacji polega więc na podaniu pewnego zbioru  $X_0 \subset X$ , pewnej funkcji  $F$  określonej na tym zbiorze i przyjmującej wartości ze zbioru  $R$  liczb rzeczywistych oraz poszukiwaniu takiego  $x^* \in X_0$ , że

$$\bigwedge_{x \in X_0} F(x^*) \geq F(x)$$

lub

$$\bigwedge_{x \in X_0} F(x^*) \leq F(x)$$

Pierwszy warunek odpowiada zadaniu maksymalizacji funkcji  $F$ , a drugi — minimalizacji tej funkcji, przy czym należy pamiętać, że  $[\max F(x) = -\min [-F(x)]]$ .

Klasyczne zadanie optymalizacji można sformułować w sposób następujący: \*

niech dane będą funkcje:

$$F : R^n \rightarrow R^1$$

oraz

$$G_i : R^n \rightarrow R^1, \quad i=1, 2, \dots, m.$$

Oznacza to, że jeżeli każdemu elementowi  $x \in X \subset R^n$  został jednoznacznie przyporządkowany pewien element  $y \in Y \subset R^1$ , to na zbiorze  $X$  została określona funkcja  $F$  przyjmująca war-

\* Przypomnijmy, że zbiór  $X$  nazywamy dziedziną funkcji  $F$ , a zbiór  $F(x)$  wszystkich wartości, jakie przyjmuje  $F$  na  $X$ , nazywamy przeciwdziedziną funkcji  $F$ . Symbol  $F : X \rightarrow Y$  oznacza, że funkcja  $F$  odwzorowuje zbiór  $X$  w zbiór  $Y$ .

tości  $y=F(x)$  w zbiorze  $Y$  (analogicznie dla funkcji  $G_i(x)=y$ ,  $i=1, 2, \dots, m$ ). Zadanie optymalizacji polega na znalezieniu wektora  $x^*$  należącego do zbioru

$$X_0 = \left\{ x : G_i(x) \begin{cases} \geq \\ = \\ \leq \end{cases} 0, \quad i=1, 2, \dots, m \right\}$$

takiego, że dla każdego  $x \in X_0$  spełniony jest warunek

$$F(x^*) \leq F(x)$$

co jest równoważne poszukiwaniu

$$\min_{x \in X_0} F(x)$$

Zadania optymalizacji można klasyfikować ze względu na różne kryteria (tabela 3.10), np. ze względu na charakter zbioru rozwiązań dopuszczalnych  $X_0$  i relacji porządkującej określonej na tym zbiorze. Jeżeli zbiór ma przeliczalną lub skończoną liczbę elementów, to mamy do czynienia z zadaniem dyskretnym, w przeciwnym wypadku — z zadaniem ciągłym. Zauważmy, że na ogół można założyć, że zbiór rozwiązań dopuszczalnych jest pewnym podzbiorem liniowej przestrzeni topologicznej, przy czym dla większości zastosowań obliczeniowych wystarcza też silniejsze założenie, że zbiór ten jest podzbiorem przestrzeni Hilberta\*. Relacje porządku na zbiorze rozwiązań dopuszczalnych mogą być deterministyczne i probabilistyczne. Jeśli porządek ten ustalają: pewna funkcja rzeczywista określona na tym zbiorze

oraz relacje typu  $\begin{cases} \geq \\ = \\ \leq \end{cases}$ , to dane jest zadanie jednokryterialne,

natomiast jeżeli porządek ten określają: pewien operator działający w przestrzeni  $R^n$  oraz relacja przynależności do stożka do-

\* Zbiór  $X$  nazywa się przestrzenią topologiczną, jeżeli została wyróżniona pewna rodzina jego podzbiorów, zwanych zbiorami otwartymi, spełniająca następujące warunki:

- zbiór pusty i cała przestrzeń są zbiorami otwartymi,
- część wspólna dwóch zbiorów otwartych jest zbiorem otwartym,
- suma dowolnej mnogości zbiorów otwartych jest zbiorem otwartym.

Przestrzenią Hilberta nazywamy przestrzeń unitarną (tj. przestrzeń unormowaną o normie wyznaczonej przez iloczyn skalarny) zupełną.

datniego w tej przestrzeni, to dane jest zadanie wielokryterialne (polioptymalizacji). Ponadto wyróżnia się zadania bez ograniczeń (optymalizacji bezwarunkowej) i z ograniczeniami (optymalizacji warunkowej). Jeżeli elementy zbioru rozwiązań dopuszczalnych należą do przestrzeni skończenie wymiarowej  $R^n$ , to mamy do czynienia z zadaniem optymalizacji statycznej, natomiast gdy rozwiązania dopuszczalne są elementami przestrzeni nieskończenie wymiarowych, to — optymalizacji dynamicznej (tabela 3.10).

Tabela 3.10

Klasyfikacja zadań optymalizacyjnych

Kryterium klasyfikacji	Rodzaj zadania
Postać funkcji kryterialnej i ograniczeń	— Liniowe — Nieliniowe (wypukłe, kwadratowe)
Postać zmiennych decyzyjnych	— Ciągłe — Dyskretne (całociszbowe, binarne)
Charakter parametrów	— Deterministyczne — Probabilistyczne
Liczba stopni (etapów) procesów decyzyjnych	— Statyczne — Dynamiczne (ciągłe, dyskretne)
Liczba funkcji kryterialnych	— Jednokryterialne — Wielokryterialne
Typ pojęć opisujących zadanie	— „Ostre” — „Nieostre” (rozmyte)

Najczęściej spotykany podział zadań optymalizacyjnych opiera się na własnościach funkcji  $F$  i  $G_i$ , i tak — jeżeli funkcja  $F$  oraz wszystkie funkcje  $G_i$ ,  $i=1, m$  są funkcjami liniowymi, to wtedy dane jest zadanie optymalizacji liniowej, natomiast gdy chociaż jedna z tych funkcji jest funkcją nieliniową (wklęsłą lub wypukłą), to dane jest zadanie optymalizacji nieliniowej\*.

\* Często mówi się o zadaniach programowania liniowego i programowania nieliniowego.

Zadanie optymalizacji liniowej można sformułować w postaci

$$F(x) = \langle c, x \rangle$$

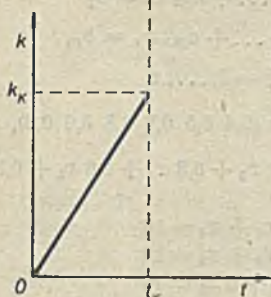
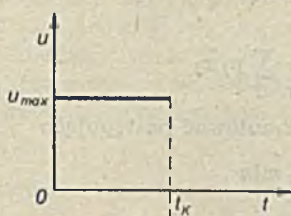
$$G_i(x) = b_i - \langle a_i, x \rangle, \quad i=1, \dots, m$$

gdzie wektory  $c$ ,  $a_i$  oraz  $b_i$  są znane oraz  $x \geq 0$ .

Typowymi zadaniami praktycznymi formułowanymi w kategoriach optymalizacji liniowej są np.:

— zadania transportowe (z kryterium czasu lub kryterium kosztów), polegające na takim dostarczeniu środków materiałowych z baz (magazynów) do odbiorców, aby czas (koszt) dowozu tych środków był minimalny;

— zadania przydziału, polegające na takim przydziale zadań wykonawcom, aby ogólny efekt realizacji wszystkich zadań był maksymalny;



3.12. Sterowanie optymalne (przykład)

— zadania przydziału środków komunikacyjnych na linii komunikacyjne, polegające na takim wyborze wariantu planu przydziału, aby zapewnić przewiezienie określonej ilości materiałowych środków przy minimalnych kosztach;

— zadania wyboru systemu uzbrojenia, czyli określenia takiej

ilości zestawów uzbrojenia poszczególnych typów, aby uzyskać maksymalną efektywność całego systemu uzbrojenia;

— zadania rozmieszczenia uzbrojenia i osprzętu samolotu, aby uzyskać maksymalną efektywność bojową samolotu przy danych ograniczeniach;

— zadania znalezienia najkrótszej drogi w sieci komunikacyjnej i zadania maksymalnego strumienia w sieci;

— zadania określenia optymalnej diety, itp.

#### Przykład:

Należy systemy uzbrojenia  $m$ -typów przydzielić  $n$  nosicielom, przy czym dane są ilości poszczególnych systemów uzbrojenia  $b_i$ ,  $i=1, \dots, m$  oraz możliwości ich przydziału poszczególnym nosicielom  $a_{ij}$ ,  $i=1, \dots, m$ . Ponadto znane są prawdopodobieństwa zniszczenia nosicieli systemów uzbrojenia  $p_j$ ,  $j=1, \dots, n$ . Jeżeli oznaczymy przez  $x_j$ ,  $i=1, \dots, n$  liczbę nosicieli, to funkcja kryterialna może mieć postać:

$$F(x) = \sum_{j=1}^n p_j x_j$$

a zadanie optymalizacyjne można sformułować następująco

$$F(x) \rightarrow \min$$

przy ograniczeniach

$$\begin{aligned} a_{11} b + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n &= b_1 \\ a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{mn} x_n &= b_m \\ x_j &\geq 0, \quad j=1, \dots, n \end{aligned}$$

Załóżmy, że  $m=4$ ,  $n=6$  oraz  $p=(0,4 \ 0,5 \ 0,2 \ 0,8 \ 0,6 \ 0,3)$ , a wtedy

$$F(x) = 0,4 x_1 + 0,5 x_2 + 0,2 x_3 + 0,8 x_4 + 0,6 x_5 + 0,3 x_6$$

przy ograniczeniach

$$\begin{aligned} 4 x_1 + x_4 &= 16 \\ 2 x_2 + x_5 &= 10 \\ x_3 + 2 x_4 + 6 x_5 &= 76 \\ 4 x_1 + 3 x_2 + x_6 &= 24 \\ x_j &\geq 0, \quad j=1, \dots, 4 \end{aligned}$$

Optymalne rozwiązanie zadania uzyskane za pomocą metody graficznej jest następujące

$$x_1^* = 4, \quad x_2^* = 0, \quad x_3^* = 16, \quad x_4^* = 0, \quad x_5^* = 10, \quad x_6^* = 8,$$

a wtedy  $F(x^*) = 13,2$ .



Wynika stąd, że oczekiwane straty nosicieli wyposażonych w wymaganą ilość uzbrojenia odpowiednich typów będą minimalne, gdy zostaną użyte nosiciele pierwszego typu — 4, 16 nosicieli trzeciego typu, 10 nosicieli piątego typu i 8 nosicieli szóstego typu, natomiast nie należy uzbrajać i używać nosicieli drugiego i czwartego typu.

### Przykład:

Składnica środków materiałowych zaopatruje dwa rodzaje jednostek:  $A_1$  i  $A_2$  w cztery grupy środków:  $B_1, B_2, B_3, B_4$ . Dla zaopatrzenia jednej jednostki  $A_1$  potrzeba: 4 t środków  $B_1$ , 1,5 t środków  $B_2$ , 2,5 t środków  $B_3$ . Dla zaopatrzenia jednej jednostki  $A_2$  potrzeba: 3 t środków  $B_1$ , 3 t środków  $B_2$ , 2 t środków  $B_3$  i 2 t środków  $B_4$ . W ciągu jednego dnia składnica powinna wydać nie mniej niż 16 t środków  $B_1$  i 15 t środków  $B_2$  oraz nie więcej niż 20 t środków  $B_3$  i 12 t środków  $B_4$ . Do załadunku tych środków materiałowych na odpowiednie środki transportowe wyznaczono grupę załadowczą, która może załadować środki przeznaczone dla jednostki  $A_1$  w ciągu 70 minut, a dla jednostki  $A_2$  — w ciągu 90 minut. Należy określić ile jednostek  $A_1$  i  $A_2$  może składnica zaopatrzyć w ciągu dnia mając na uwadze to, aby łączny czas pracy grupy załadowczej był jak najkrótszy. Oznaczmy przez  $x_1$  — ilość jednostek  $A_1$  zaopatrywanych w ciągu dnia, przez  $x_2$  — ilość jednostek  $A_2$  zaopatrywanych w ciągu dnia.

Zadanie optymalizacyjne ma postać

$$F(x_1, x_2) = 70 x_1 + 90 x_2 \rightarrow \min$$

przy ograniczeniach

$$4 x_1 + 2 x_2 \geq 16$$

$$1,5 x_1 + 3 x_2 \geq 15$$

$$2,5 x_1 + 2 x_2 \leq 20$$

$$2 x_2 \leq 12$$

$$x_1 \geq 0, \quad x_2 \geq 0$$

Rozwiązanie optymalne zadania jest następujące  $x_1^* = 2$ ,  $x_2^* = 4$ ; dla tych wartości zmiennych decyzyjnych funkcja kryterialna przyjmuje wartość  $F(2,4) = 8 \frac{1}{3}$  godziny. Zatem w ciągu dnia składnica może zaopatrzyć dwie jednostki  $A_1$  i cztery jednostki  $A_2$ , a minimalny czas pracy grupy załadowczej wynosi 8 godzin i 20 minut.

Szczególnym przypadkiem optymalizacji liniowej jest binarne zadanie optymalizacji liniowej, zwane także programowaniem liniowym zerojedynkowym. W zadaniach tych zmienna decy-

zyjna przyjmuje tylko dwie wartości: 1 lub 0. Przykładowo zadanie tego typu może mieć postać

$$F(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min$$

przy ograniczeniach

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i, i=1, 2, \dots, m$$

$$x_j = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad j=1, 2, \dots, n$$

$$c_j \geq 0$$

Klasycznym zadaniem binarnym optymalizacji liniowej jest tzw. zadanie komiwojażera: należy „odwiedzić”  $(n - 1)$  punktów i powrócić do punktu startu. W jakiej kolejności należy te punkty „odwiedzać” pod warunkiem, że każdy punkt jest odwiedzany jeden i tylko jeden raz, aby droga przebyta była jak najkrótsza? Z zadania wynika, że dana jest macierz  $C = [c_{ij}]$ ,  $i, j=1, 2, \dots, n$  odległości (lub kosztów) między punktami i poszukuje się macierzy  $X = [x_{ij}]$  takiej, aby minimalizowana była funkcja

$$F(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min$$

przy ograniczeniach

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1,$$

$$X^p \neq I, \text{ gdy } p < n \text{ oraz } X^n = I$$

( $I$  — macierz jednostkowa)

gdzie

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{gdy przebywana jest droga z punktu } i \text{ do punktu } j; \\ 0, & \text{w przeciwnym przypadku.} \end{cases}$$

**Przykład:**

Bateria dysponuje pięcioma pociskami raketowymi przeznaczonymi do niszczenia pięciu celów. Prawdopodobieństwa  $p_{ij}$  zniszczenia  $i$ -tym pocis-

kiem raketowym  $j$ -tego celu przedstawiono w tabeli 3.11. Należy dokonać optymalnego przydziału pocisków raketowych do niszczenia celów, tzn. takiego przydziału, który maksymalizuje wartość oczekiwaną liczby zniszczonych celów.

Tabela 3.11

Pociski raketowe $i$	Cele $j$				
	1	2	3	4	5
1	0,12	0,02	0,50	0,43	0,15
2	0,71	0,18	0,81	0,05	0,26
3	0,84	0,76	0,26	0,37	0,52
4	0,22	0,45	0,83	0,81	0,65
5	0,49	0,02	0,50	0,26	0,27

Zadanie optymalizacji ma postać

$$F(x) = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 p_{ij} x_{ij}$$

gdzie

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jeśli } i\text{-ty pocisk raketowy niszczy } j\text{-ty cel,} \\ 0, & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

przy ograniczeniach

$$\sum_{j=1}^5 x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, 5$$

$$\sum_{i=1}^5 x_{ij} = 1, \quad j = 1, \dots, 5$$

$$x_{ij} \geq 0$$

Rozwiązanie zadania przedstawiono w tabeli 3.12.

Wartość oczekiwana liczby zniszczonych celów przyjmuje wartość maksymalną, gdy pocisk raketowy nr 1 niszczy cel nr 4, pocisk raketowy nr 2 niszczy cel nr 3, pocisk raketowy nr 3 niszczy cel nr 2, pocisk raketowy nr 4 niszczy cel nr 5, pocisk raketowy nr 5 niszczy cel nr 1.

Oddzielną klasę zadań optymalizacji stanowią zadania optymalizacji dyskretnej

$$F(x) \rightarrow \max$$

Pociski rakietowe	Cele	1	2	3	4	5
	1					1
2				1		
3			1			
4						1
5		1				

przy ograniczeniach

$$G_i(x) \leq 0, \quad i=1, \dots, m$$

$x \in D$  — zbiór co najwyżej przeliczalny.

Zbiór dopuszczalny  $X_0 = \{x : G_i(x) \leq 0, x \in D, i=1, \dots, m\}$  jest niespójny i niewypukły.

Do najbardziej znanych algorytmów rozwiązywania zadań optymalizacji dyskretnej należą: algorytm Gomory'ego, algorytm addytywny Balasa oraz algorytmy oparte na tzw. metodzie podziału i ograniczeń (np. algorytm Land i Doiga)\*.

#### Przykład \*\*:

Należy zniszczyć cel grupowy składający się z trzech celów cząstkowych minimalną liczbą pocisków. Dysponujemy trzema rodzajami pocisków w wystarczającej liczbie. Wymaga się, aby straty wyrządzone w każdym z celów cząstkowych wyniosły 100 jednostek. Stopień skuteczności pocisków każdego typu wyrażono w jednostkach strat  $c_{ij}$ . Jest on różny w zależności od rodzaju celu cząstkowego (tabela 3.13)

Przez  $x_i, i=1, 2, 3$  oznaczono liczbę pocisków  $i$ -tego typu. Wielkość strat przeciwnika rośnie proporcjonalnie do liczby oddanych strzałów. Zadanie polega na ustaleniu liczby pocisków każdego rodzaju, którymi należy ostrzelać cel grupowy, takiej, aby suma zużytych pocisków była jak najmniejsza. Zadanie optymalizacji sformułowano następująco

$$F(x) = \sum_{i=1}^3 x_i \rightarrow \min$$

\* Np. W. Grabowski: *Programowanie matematyczne*. PWE, W-wa 1980 r.

\*\* E. Wentzel: *Wwiedienije w issledowanije operacii*. Moskwa 1968 r.

Tabela 3.13

Cel \ Rodzaj pocisku	Rodzaj pocisku		
	$B_1$	$B_2$	$B_3$
$A_1$	9	4	2
$A_2$	5	2	8
$A_3$	7	10	6

przy ograniczeniach

$$\begin{aligned} 9x_1 + 4x_2 + 2x_3 &\geq 100 \\ 5x_1 + 2x_2 + 8x_3 &\geq 100 \\ 7x_1 + 10x_2 + 6x_3 &\geq 100 \\ x_1 &\geq 0 \end{aligned}$$

Minimalny rozchód amunicji, niezbędny do zadania każdemu celowi częściowemu strat o wymaganym poziomie 100 jednostek, wyniesie

$$x_1^* \approx 10, \quad x_2^* \approx 0, \quad x_3^* \approx 6,$$

czyli należy użyć 10 pocisków typu  $B_1$  i 6 pocisków typu  $B_3$  (pocisków typu  $B_2$  nie należy używać).

Jak zaznaczyliśmy uprzednio, wszystkie zadania, w których co najmniej jedna z funkcji  $F$ ,  $G_i$  jest nieliniowa, zaliczane są do optymalizacji nieliniowej. Załóżmy, że funkcja kryterialna  $F$  oraz ograniczenia  $G_i$ ,  $i=1, \dots, m$ , są funkcjami wypukłymi\*, a więc dane jest tzw. zadanie programowania wypukłego. Zadanie to ma dwie interesujące odmiany\*\*:

a) znaleźć

$$\min F(x)$$

przy ograniczeniach liniowych

$$Ax \geq b \quad x \geq 0$$

gdzie  $A$  jest macierzą  $m \times n$ ,  $\dim x = n$ ,  $\dim b = m$ ;

\* Przypomnijmy, że funkcja  $F(x)$  w  $R^n$  określona na pewnym zbiorze wypukłym  $X$  nazywa się wypukłą, jeżeli dla dwóch dowolnych punktów  $x$  i  $y$ , zachodzi

$$F(\lambda x + (1 - \lambda)y) \leq \lambda F(x) + (1 - \lambda)F(y)$$

dla  $0 \leq \lambda \leq 1$ .

\*\* W. Findeisen, J. Szymanowski, A. Wierzbiński: *Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji*. WNT, W-wa 1977 r.

**Przykład:**

$$\begin{aligned} \min F(x) &= (x_1 - 2)^2 + (x_2 - 1)^2 \\ G_1(x) &= x_1^2 - x_2 \leq 0 \\ G_2(x) &= x_1 + x_2 - 2 \leq 0 \end{aligned}$$

b) znaleźć

$$\min F(x) = \langle c, x \rangle + \langle x, Dx \rangle$$

przy ograniczeniach

$$\begin{aligned} Ax &\geq b \\ x &\geq 0 \end{aligned}$$

gdzie  $D$  jest macierzą symetryczną  $n \times n$ .

Jest to tzw. zadanie programowania kwadratowego.

**Przykład:**

$$\begin{aligned} \min F(x) &= x_1^2 - x_1 + x_2^2 - \frac{x_2}{2} \\ G_1(x) &= x_1 + x_2 - 1 \leq 0 \\ G_2(x) &= -x_1 \leq 0 \\ G_3(x) &= -x_2 \leq 0 \end{aligned}$$

Aby powyższe zadanie przedstawić w typowej postaci, należy  $G_2$  i  $G_3$  pomnożyć przez  $-1$  oraz podstawić

$$\begin{aligned} c &= \left[ -1, -\frac{1}{2} \right]^T, \quad A = [1, 1], \quad b = 1 \\ D &= \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Rozpatrzmy jeszcze dwa charakterystyczne przypadki:

c) zadanie programowania rozdzielnego

$$\min F(x) = \sum_{j=1}^n F_j(x_j)$$

przy ograniczeniach

$$\begin{aligned} G_i(x) &= \sum_{j=1}^n G_{ij}(x_j) \leq 0, \quad i=1, \dots, m \\ x_j &\geq 0, \quad j=1, \dots, n \end{aligned}$$

d) zadanie programowania geometrycznego

$$\min F(x)$$

przy ograniczeniach

$$G_i(x) \leq 1, \quad i=1, \dots, m$$
$$x_j > 0,$$

przy czym funkcje  $F$  oraz  $G_i$ ,  $i=1, \dots, m$ , są wielomianami dodatnimi, tj. można je przedstawić w postaci

$$h(x) = \sum_{i=1}^k c_i \left[ \prod_{j=1}^n x_j^{a_{ij}} \right]$$

gdzie  $c_i > 0$ ,  $x_j > 0$ .

Do popularnych zadań optymalizacji należy następujące zadanie\*: danych jest  $N$  jednorodnych środków walki. Każdy ze środków użyty do niszczenia  $i$ -tego celu o ważności  $A_i$ ,  $i=1, \dots, n$ , niszczy go z prawdopodobieństwem  $p_i = 1 - \varepsilon_i$  (lub powoduje względne straty  $p_i$ ). Należy dokonać takiego przydziału środków do niszczenia poszczególnych celów, aby całkowity efekt ich użycia był największy.

Należy zatem określić taki wektor

$$x^* = \langle x_1^*, \dots, x_n^* \rangle$$

aby maksymalizować funkcję

$$F(x) = \sum_{i=1}^n F_i(x_i) = \sum_{i=1}^n A_i (1 - \varepsilon_i^{x_i})$$

przy ograniczeniach

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq N$$

$$x_i \in \{0, 1, \dots, N\}$$

$$0 \leq p_i \leq 1, \quad A_i > 0, \quad i=1, \dots, n.$$

Ze względu na to, że

\* Zadaniom tego typu poświęcona jest praca: J. Bierzin: *Optimalnoje raspredieleniye riesursow i eliemienty sintieza sistem*, Moskwa 1974 r.

$$F(x^*) = \max_x F(x) = \sum_{i=1}^n A_i - \min_x \sum_{i=1}^n A_i \varepsilon_i^{x_i} \approx \min_x \sum_{i=1}^n A_i \varepsilon_i^{x_i}$$

zadanie optymalizacji sprowadza się do minimalizacji funkcji

$$\tilde{F}(x) = \sum_{i=1}^n A_i \varepsilon_i^{x_i}$$

Przedstawione zadanie można sformułować w następujących wariantach:

a) minimalizacja środków na zapewnienie wymaganej efektywności rażenia:

znaleźć

$$N(x^*) = \min_x \sum_{i=1}^n x_i$$

przy ograniczeniach

$$F(x) = \sum_{i=1}^n A_i (1 - \varepsilon_i^{x_i}) \geq F_0$$

$$x_i \in \{0, 1, \dots, N\}, \quad i=1, \dots, n$$

$$A_i (1 - \varepsilon_i^{x_i}) \leq F_{i0}$$

b) dla nowych ograniczeń typu

$$x_i \leq a_i, \quad i=1, \dots, n$$

a wtedy można dokonać zmiany postaci funkcji  $F_i(x_i)$  na funkcję

$$F_i(x_i) = \begin{cases} F_i(x_i), & \text{dla } x_i \leq a_i, \\ F_i(a_i), & \text{dla } x_i > a_i \end{cases}$$

c) przy wprowadzonym ograniczeniu typu:

$$\sum_{i=1}^n x_i g_i \leq g$$

Zadanie optymalizacji ulegnie skomplikowaniu, jeżeli wprowadzimy prawdopodobieństwo  $\omega_i$  zniszczenia  $i$ -tego celu. Funkcja kryterialna wyraża wartość oczekiwaną strat obiektów o wagach  $A_i$  dla wariantu przydziału środków  $x = \{x_j\}$ , czyli należy znaleźć taki wektor  $x^* = \{x_j^*\}$ , który maksymalizuje funkcję



$$\psi(x) = \sum_{i=1}^n A_i \left( 1 - \prod_{j=1}^m \varepsilon_{ji}^{x_j} \right)$$

przy ograniczeniach

$$\sum_{j=1}^m x_j \leq N$$

$$x_j \in \{0, 1, \dots, N\}$$

$$0 \leq (\varepsilon_{ji} = 1 - \omega_{ji}) \leq 1, \quad A_i > 0,$$

$$i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, m$$

**Przykład:**

Należy przydzielić  $N = 8$  środków do niszczenia  $n = 3$  celów. Ważność celów i prawdopodobieństwa ich zniszczenia podano w tabeli 3.14.

Tabela 3.14

j	i		
	1	2	3
	$A_i$		
	20	50	30
$\omega_{ji}$			
1	0,50	0,20	0,20
2	0,30	0,30	0,60
3	0,20	0,40	0,30
4	0,30	0,50	0,20
5	0,50	0,20	0,30

Funkcja  $\psi(x)$  przyjmuje maksymalną wartość 97,8 dla następującego wariantu użycia środków walki:

$$x_1^* = 0, \quad x_2^* = 4, \quad x_3^* = 0, \quad x_4^* = 4, \quad x_5^* = 0,$$

**Przykład\*:**

Załóżmy, że należy  $m$  grup obserwatorów przydzielić do obserwacji  $n$  rejonów. W każdej grupie znajduje się  $N_i$  obserwatorów,  $i = 1, 2, \dots, m$ .

\* W. Abczuk, W. Suzdał: *Poisk obiektów*. Moskwa 1977 r.

Oznaczmy przez  $\omega_j$  prawdopodobieństwo zaobserwowania obiektu w  $j$ -tym rejonie,  $j=1, \dots, m$ , a przez  $p_{ij}$  — prawdopodobieństwo wykrycia przez środki  $i$ -tej grupy. Zakładając niezależność działania środków obserwacyjnych, przyjmujemy jako kryterium wartość oczekiwaną liczby wykrytych środków

$$F(x) = \sum_{j=1}^n \omega_j \left[ 1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_{ij})^{x_{ij}} \right]$$

gdzie  $x_{ij}$  — ilość obserwatorów  $i$ -tego typu prowadzących poszukiwania w  $j$ -tym rejonie;  
przy ograniczeniach

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = N_i \quad i=1, \dots, m$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i=1, \dots, m; \quad j=1, \dots, n.$$

Przyjmijmy np., że  $m=2$ ,  $n=3$ . Pozostałe charakterystyki podano w tabelach: 3.15 — 3.16.

Tabela 3.16

Tabela 3.17

Tabela 3.15

	1	2	3
$N_i$	6	10	—
$\omega_j$	0,3	0,2	0,5

		$P_{ij}$		
		$j$	1	2
$i$	$j$			
1	1	0,40	0,10	0,50
2	2	0,20	0,40	0,20

		$X_{ij}$		
		$j$	1	2
$i$	$j$			
1	3	3	0	3
2	3	3	5	2

Rozwiązanie zadania, dla którego  $F(x^*) = 0,911$ , przedstawiono w tabeli 3.17. Wynika stąd, że środki typu 1 należy przeznaczyć po trzy do rejonów 1 i 3, natomiast środki typu 2 należy przydzielić w sposób następujący: pięć do rejonu nr 2, trzy do rejonu nr 1 oraz pozostałe dwa do rejonu nr 3. Zauważmy, że w rozpatrzonym przykładzie liczba możliwych planów przydziału środków obserwacji wynosiła  $\frac{(m+n-1)!}{m!(n-1)!} = 6$

Zadania optymalizacji z parametrem, który jest zmienną losową o znanym rozkładzie, przyjęto nazywać zadaniami **programowania stochastycznego**. Ogólna postać zadania jest następująca: wyznaczyć maximum (minimum) funkcji kryterialnej

$$E[F(x, \omega)]$$

przy ograniczeniach

$$G_i(x, \omega) \left\{ \begin{array}{l} \leq \\ \geq \end{array} \right\} b_i(\omega), \quad i=1, \dots, m$$

$$x \in R^n, \quad F(x, \omega) \in R^1, \quad G_i(x, \omega) \in R^1, \quad b_i(\omega) \in R^1$$

gdzie:  $\omega$  — zmienna losowa o wartościach z  $R^n$ ,

$E$  — symbol wartości oczekiwanej.

Przy modelach oszacowanych statystycznie spełnienie warunków można uważać za losowe, np. dla modelu liniowego

$$P_r \left\{ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j > b_i \right\} \geq \alpha_i, \quad i=1, \dots, m$$

Dla danych zmiennych losowych  $b_i$  o dystrybuantach  $\Phi_i$  wyznaczamy najmniejsze wartości  $\omega_i$ , takie że:

$$\Phi_i(\omega_i) \geq \alpha_i$$

czyli

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq \omega_i$$

a więc ograniczenia losowe zastępujemy deterministycznymi. Gdy założony jest warunek losowości na wszystkie ograniczenia jednocześnie

$$P_r \left\{ \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j > b_i, \quad i=1, \dots, m \right\} \geq \alpha$$

i przy założeniu, że  $b_i$  są niezależnymi zmiennymi losowymi mamy

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = y_i$$

$$\prod_{i=1}^m F_i(y_i) \geq \alpha$$

albo

$$\sum_{i=1}^m \ln F_i(y_i) \geq \ln \alpha$$

Uwzględniając parametr losowy w funkcji kryterialnej

$$F(x, \omega) = c(\omega) x$$

wyróżnia się następujące modele, w których tworzy się funkcję kryterialną deterministyczną:

a)  $E$  — model, w którym przy danych ograniczeniach należy podjąć decyzję  $x$ , minimalizującą oczekiwany koszt (straty)

$$E\{\min_x [c(\omega) x]\} = \min_x \{E[c(\omega) x]\}$$

b)  $V$  — model, w którym należy podjąć decyzję  $x$ , aby oczekiwana wartość odchylenia kwadratowego funkcji  $c(\omega) x$  od zadanej wartości  $F_0$  była minimalna

$$\min_x \{E[c(\omega) x - F_0]^2\}$$

w przypadku gdy  $F_0 = E[c(\omega) x]$ , wówczas należy podjąć decyzję, dla której wariancja zmiennej  $c(\omega) x$  będzie minimalna;

c)  $P$  — model, w którym maksymalizuje się prawdopodobieństwo tego, że funkcja  $c(\omega) x$  nie przekroczy zadanej wartości  $k$

$$\max_x Pr\{c(\omega) x \leq k\}$$

d) modele przybliżone:

dla modeli z funkcją kryterialną  $F_1(x, b)$ , gdzie losowość występuje w wektorze ograniczeń, lub  $F_2(x, c)$ , gdzie losowość występuje w wektorze współczynników funkcji kryterialnej można uzyskać oszacowanie

$$v_b = \min_x E[F_1(x, b)],$$

$$v_c = \min_x E[F_2(x, c)]$$

dwoma sposobami:

— przez zastąpienie zmiennych losowych ich wartościami oczekiwanymi, odpowiednio  $E[b]$ ,  $E[c]$ ;

— przez rozwiązanie modeli jednoetapowych

$$E[\min_b F_1(x, b)], \quad \text{lub} \quad E[\min_c F_2(x, c)].$$

Programowanie dynamiczne obejmuje zadania, w których określanie optymalnych wartości zmiennych ujmuje się w postaci

wieloetapowego procesu decyzyjnego, przy czym decyzje podjęte na jednym etapie warunkują zakres i wartości decyzji na etapach następnych. Przy rozwiązywaniu zadań optymalizacji dynamicznej podstawową rolę odgrywa zasada Bellmana: optymalny ciąg decyzji ma tę własność, że niezależnie od stanu początkowego  $S_N$  i początkowej decyzji  $X_N$  pozostałe decyzje muszą stanowić ciąg optymalny ze względu na stan wynikający z pierwszej decyzji.

Rozpatrzmy następujący model

$$F(x) = \sum_{i=0}^N f_i(s_i, x_i) \rightarrow \min$$

przy ograniczeniach:

$$\begin{aligned} s_N &= a, & x_0 &= 0, \\ s_{k-1} &= \varphi_k(s_k, x_k), & k &= 1, \dots, N \end{aligned}$$

Zgodnie z zasadą optymalności mamy

$$\begin{aligned} & \min_{x_N, \dots, x_1} [f_N(s_N, x_N) + f_{N-1}(s_{N-1}, x_{N-1}) + \dots + f_1(s_1, x_1) + f_0(s_0)] = \\ & = \min_{x_N} \{ f_N(s_N, x_N) + \min_{x_{N-1}, \dots, x_1} [f_{N-1}(s_{N-1}, x_{N-1}) + \dots + f_1(s_1, x_1) + f_0(s_0)] \} \end{aligned}$$

Oznaczając

$$F_k(s_k) = \min_{x_k, \dots, x_1} [f_k(s_k, x_k) + \dots + f_1(s_1, x_1) + f_0(s_0)]$$

dla  $k=1, \dots, N$

zapiszemy

$$F_N(s_N) = \min_{x_N} \{ f_N(s_N, x_N) + F_{N-1}(s_{N-1}) \}$$

$$F_k(s_k) = \min_{x_k} \{ f_k(s_k, x_k) + F_{k-1}(s_{k-1}) \}, \quad k=1, \dots, N$$

Wprowadźmy pomocnicze oznaczenia

$$Q_1(s_1, x_1) = f_1(s_1, x_1) + f_0(s_0),$$

$$Q_k(s_k, x_k) = f_k(s_k, x_k) + F_{k-1}(s_{k-1}) = f_k(s_k, x_k) + F_{k-1}[\varphi_k(s_k, x_k)]$$

Procedurę rozwiązywania zadania optymalizacji dynamicznej można przedstawić w postaci  $N$  etapowej optymalizacji:

etap 1: dla każdego dopuszczalnego  $S_1$  obliczamy

$$F_1(s_1) = \min_{x_1} Q_1(s_1, x_1)$$

etap 2: dla każdego dopuszczalnego  $S_2$  obliczamy

$$F_2(s_2) = \min_{x_2} Q_2(s_2, x_2) = \min_{x_2} [f_2(s_2, x_2) + F_1(s_1)]$$

przy czym dla  $s_1 = \varphi_1(s_2, x_2)$  wartość  $F_1(s_1)$  uzyskujemy z obliczeń w etapie 1;

etap k: dla każdego dopuszczalnego  $S_k$  obliczamy

$$F_k(s_k) = \min_{x_k} Q_k(s_k, x_k) = \min_{x_k} [f_k(s_k, x_k) + F_{k-1}(s_{k-1})]$$

przy czym  $F_{k-1}(s_{k-1})$  uzyskujemy z etapu  $k-1$  dla  $s_{k-1} = \varphi_k(s_k, x_k)$ .

etap N: dla zadanego  $X_N$  obliczamy

$$F_N(s_N) = \min_{x_N} Q_N(s_N, x_N) = \min_{x_N} [f_N(s_N, x_N) + F_{N-1}(s_{N-1})]$$

W etapie N otrzymujemy optymalną wartość funkcji kryterialnej oraz optymalną decyzję  $X_N^*$ . Znając  $S_N$  oraz  $X_N^*$ , możemy określić  $s_{N-1}^* = \varphi_N(s_N, x_N^*)$  itd. Kontynuując postępowanie znajdujemy kolejno optymalne stany  $S_{N-2}^*, \dots, S_0^*$  oraz optymalny ciąg decyzji  $X_{N-1}^*, \dots, X_1^*$ .

#### Przykład\*:

Planowany jest nalot  $n$  samolotów na obiekty bronione przez środki OPL rozmieszczone na  $m$  rubieżach. Całkowita liczba środków wynosi

$$N = \sum_{i=1}^m N_i$$

gdzie  $N_i$  jest liczbą środków OPL rozmieszczonych na  $i$ -tej rubieży.

Z  $n$  samolotów ma być sformowane  $m$  fal, czyli

$$n = \sum_{i=1}^m n_i$$

gdzie  $n_i$  jest liczbą samolotów wchodzących w skład  $i$ -tej fali, których zadaniem bojowym jest zniszczenie środków OPL na  $i$ -tej rubieży.

\* E. Wentzel: *Elementy programowania dynamicznego*. PWE, W-wa 1966 r.

Zakłada się, że samoloty podczas nalotu nie zmieniają szyku, a każda fala leci przed następną z takim wyprzedzeniem czasowym, że do chwili jej przylotu zdoła wykonać swoje zadanie bojowe. Każdy samolot przechodząc przez strefę działania środków OPL poszczególnych rubieży jest poddany działaniu tych środków, zaś tylko te samoloty, które pomyślnie przeszły strefę działania środków danej rubieży, mogą je atakować.

Przyjęto następujące wskaźniki efektywności bojowej:

a) prawdopodobieństwo zniszczenia jednego samolotu przelatującego strefę działania środków OPL  $i$ -tej rubieży

$$\pi_i = 1 - e^{-\alpha_i \bar{N}_i}$$

gdzie  $\bar{N}_i$  — średnia liczba nie zniszczonych środków OPL na  $i$ -tej rubieży,  
 $\alpha_i$  — współczynnik skuteczności ognia środków OPL;

b) średnia liczba środków OPL  $i$ -tej rubieży, zniszczonych przez falę samolotów skierowaną na obiekty osłaniane przez te środki

$$Q_i = N_i \left[ 1 - e^{-\nu_i \frac{p_i}{N_i}} \right]$$

gdzie  $\nu_i$  — średnia liczba samolotów w  $i$ -tej fali, które nie zostały zniszczone podczas przechodzenia strefy działania środków OPL  $i$ -tej i wszystkich poprzednich rubieży,  $p_i$  — średnie prawdopodobieństwo zniszczenia jednego środka OPL przez atakujący samolot.

Zadanie polega na wyznaczeniu takiego składu fal atakujących samolotów, tj.  $n_1^*, n_2^*, \dots, n_m^*$ , żeby średnia liczba zniszczonych celów na wszystkich rubieżach była maksymalna

$$F(n) = \sum_{i=1}^m f_i(n_i) \rightarrow \max$$

gdzie  $f_i(n_i)$  jest średnią liczbą zniszczonych celów  $i$ -tej rubieży.

Załóżmy, że do strefy środków  $i$ -tej rubieży zbliża się pewna liczba samolotów  $Z_{i-1}$ , które pomyślnie przebyły, wszystkie  $i-1$  poprzednich rubieży obrony. Wielkość tę należy rozdzielić na dwie części:  $x_i$  — samoloty kierujące się do niszczenia środków  $i$ -tej rubieży oraz  $y_i = Z_{i-1} - x_i$  — samoloty do niszczenia środków rubieży następnych. Pierwsze napotykają nieosłabiony ogień środków  $i$ -tej rubieży, drugie — ogień osłabiony już przez poprzednie działania  $x_i$  samolotów. Do strefy działania środków  $m$ -tej rubieży zbliżyło się  $Z_{m-1}$  samolotów. Decyzją optymalną w  $m$ -tym kroku będzie więc

$$x_m^*(Z_{m-1}) = Z_{m-1}$$

przy czym prawdopodobieństwo zniszczenia każdego z wydzielonych samolotów wyniesie

$$\pi_m = 1 - e^{-\alpha_m N_m}$$

a średnio liczba samolotów, które pomyślnie przebędą strefę działania, wyniesie

$$\nu_m(Z_{m-1}) = Z_{m-1}(1 - \pi_m) = Z_{m-1} e^{-\alpha_m N_m}$$

Samoloty te zniszczą średnią liczbę środków  $m$ -tej rubieży, wynoszącą

$$F_m(Z_{m-1}) = N_m \left[ 1 - e^{-\frac{\nu_m(Z_{m-1})}{N_m} p_m} \right]$$

Następnie dla kroku  $m-1$  otrzymujemy: do strefy  $m-1$  dotarło  $Z_{m-2}$  samolotów; decyzję optymalną  $X_{m-1}^*(Z_{m-2})$  otrzymujemy z warunku maksymalnego efektu w dwóch ostatnich krokach, czyli

$$F_{m-1,m}^*(Z_{m-2}) = \max_{0 \leq x_{m-1} \leq Z_{m-2}} [Q_{m-1}(x_{m-1}) + F_m^*(Z_{m-1})]$$

gdzie  $Q_{m-1}(x_{m-1})$  — średnia liczba celów zniszczonych w  $(m-1)$ -ej strefie przez  $X_{m-1}$  samolotów

$$Q_{m-1}(x_{m-1}) = N_{m-1} \left[ 1 - e^{-\frac{\nu_{m-1}}{N_{m-1}} p_{m-1}} \right]$$

$$\nu_{m-1} = x_{m-1}(1 - \nu_{m-1}) = x_{m-1} e^{-\alpha_{m-1} N_{m-1}}$$

W ten sposób uzyskujemy ogólne wyrażenia pozwalające podejmować optymalne decyzje w dowolnym kroku

$$F_{i,i+1,\dots,m}^*(Z_{i-1}) = \max_{0 \leq x_i \leq Z_{i-1}} [Q_i(x_i) + F_{i+1,\dots,m}^*(Z_i)]$$

gdzie:

$$Q_i(x_i) = N_i \left[ 1 - e^{-\frac{\nu_i}{N_i} p_i} \right]$$

$$\nu_i = x_i e^{-\alpha_i N_i}$$

$$Z_i = (z_{i-1} - x_i) e^{-\alpha_i \bar{N}_i}$$

$$\bar{N}_i = N_i - Q_i(x_i)$$

Zgodnie z zasadą optymalności proces decyzyjny trwa do pierwszego kroku, po którym szuka się ciągu decyzji optymalnych

$$x_1^*, x_2^*, \dots, x_m^*$$



Aby określić optymalną liczbę  $n_i^*$ ,  $i=1, 2, \dots, m$  samolotów w  $i$ -tej fali, należy dodać do  $X_i^*$  średnie straty tej fali na wszystkich poprzednich rubieżach.

Dla przykładu przyjmijmy następujące dane liczbowe:  $m=4$ ,  $n=80$  oraz dane w tabeli 3.18.

Uzyskano następującą decyzję optymalną:

Tabela 3.18

$i$	$N_i$	$p_i$	$i$
1	10	0,4	0,05
2	12	0,5	0,04
3	15	0,4	0,04
4	10	1,0	0,05

$$n_1^* = 34, \quad n_2^* = 27, \quad n_3^* = 0, \quad n_4^* = 19,$$

dla której maksymalna możliwa zniszczona średnia liczba celów wynosi  $F^* = 14,1$ .

Wynika stąd, że ogółem z 80 samolotów stracimy w działaniach średnio 42, niszcząc średnio 14 ośrodków OPL.

Jest to optymalny wariant nalotu, którego stosunkowo niska efektywność (straty własne są trzykrotnie wyższe od strat nieprzyjaciela) stawia pod znakiem zapytania celowość realizacji tego zadania bojowego.

Obok programowania dynamicznego do najbardziej finezyjnych metod optymalizacji zaliczana jest zasada maksimum Pontriagina\*. W zasadzie maksimum oprócz podstawowych zmiennych: współrzędnych stanu  $X = \langle X^1, X^2, \dots, X^n \rangle$  oraz wielkości sterujących  $U = \langle U^1, U^2, \dots, U^r \rangle$ , występują zmienne pomocnicze  $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n$ , które nie występują w sformułowaniu zadania sterowania optymalnego. Zasada maksimum pozwala na uzyskanie dostatecznej informacji potrzebnej do rozwiązania zadania optymalizacji: spośród wszystkich trajektorii prowadzących z punktu początkowego  $x_0$  do punktu  $x_1$  umożliwia wyodrębnie-

\* W. G. Bołtianski: *Matematyczne metody sterowania optymalnego*. WNT, W-wa 1971 r. oraz *Sterowanie optymalne układami dyskretnymi*. WNT, W-wa 1978 r.

nie tylko tych trajektorii, które spełniają warunki konieczne i one tylko mogą być trajektoriami optymalnymi.

Badany proces opisuje układ równań:

$$\frac{dx}{dt} = f(x, u(t)), \quad x(t_0) = x_0, \quad t > t_0$$

Tzw. zadanie sterowania czaso-optymalnego polega na znalezieniu takiego sterowania  $u(t)$ , dla którego trajektoria  $x(t)$  przechodzi przez punkt  $x_1$  oraz przejście ze stanu  $x_0$  do  $x_1$  odbywa się w najkrótszym czasie.

Założmy, że stan końcowy  $x_1$  jest ustalony oraz, że w punkcie tym spełnione są hipotezy:

H1: Dla dowolnego punktu  $x$  przestrzeni stanów różnego od  $x_1$  istnieje czaso-optymalny proces przejścia z punktu  $x$  do punktu  $x_1$ .

H2: Funkcja  $\omega(x) = -T(x)$ , gdzie  $T(x)$  stanowi czas przejścia ze stanu  $x$  do stanu  $x_1$ , jest ciągła i wszędzie, z wyjątkiem punktu  $x_1$ , ma ciągle pochodne cząstkowe

$$\frac{\partial \omega}{\partial x^1}, \quad \frac{\partial \omega}{\partial x^2}, \quad \dots, \quad \frac{\partial \omega}{\partial x^n}$$

H3: Funkcja  $\omega(x)$  ma dla  $x \neq x_1$  ciągle drugie pochodne  $\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^i \partial x^j}$ ,  $i, j = 1, 2, \dots, n$ , zaś funkcje  $f^i(x, u)$  mają ciągle pierwsze pochodne  $\frac{\partial f^i(x, u)}{\partial x^j}$ ,  $i, j = 1, 2, \dots, n$ .

Twierdzenie (zasada maksimum): Założmy, że dla rozpatrywanego obiektu sterowanego, opisywanego równaniem

$$\frac{dx}{dt} = f(x, u), \quad u \in U \quad (A)$$

i zadanego z góry stanu końcowego  $x_1$  są spełnione hipotezy H1, H2, H3.

Niech będzie dany pewien proces  $(u(t); x(t))$ ,  $t_0 \leq t \leq t_1$ , przeprowadzający obiekt ze stanu początkowego  $x_0$  do stanu  $x_1$ . Wprowadźmy funkcję  $H$  zależną od zmiennych  $x^1, \dots, x^n$ ,  $u^1, \dots, u^r$  oraz od pewnych zmiennych pomocniczych  $\psi_1, \dots, \psi_n$

$$H(\psi, x, u) = \sum_{i=1}^n \psi_i f^i(x, u) \quad (\text{B})$$

Za pomocą funkcji  $H$  zapiszemy następujący układ równań różniczkowych dla zmiennych pomocniczych

$$\dot{\psi}_k = - \frac{\partial H(\psi, x(t), u(t))}{\partial x^k}, \quad k=1, \dots, n \quad (\text{C})$$

gdzie  $(u(t); x(t))$  — rozpatrywany proces. Jeśli proces dla  $t_0 \leq t \leq t_1$  jest procesem optymalnym, to istnieje funkcja  $\psi(t) = (\psi_1(t), \dots, \psi_n(t))$ ,  $t_0 \leq t \leq t_1$ , będąca nietrywialnym rozwiązaniem układu równań (C), taka, że dla dowolnej chwili  $t$ ,  $t_0 \leq t < t_1$  jest spełniony warunek maksimum hamiltonianu

$$H(\psi(t), x(t), u(t)) = \max_{u \in U} H(\psi(t), x(t), u)$$

oraz warunek:  $H(\psi(t), x(t), u(t)) = 1$ .

Zasada maksimum jest warunkiem koniecznym optymalności.

#### Przykład:

Należy uzyskać określony zasób  $k_1$  środków w najkrótszym możliwie czasie, przy czym proces narastania tego zasobu opisany jest równaniem

$$\frac{dk}{dt} = u$$

gdzie:  $k$  — zasób środków,

$u$  — strumień inwestycyjny ( $0 \leq u \leq U_{max}$ ).

Rozwiązanie zadania wymaga wyznaczenia sterowania i chwil czasu, w których następują zmiany strumienia inwestycyjnego. Zadanie optymalizacji przedstawiono w postaci

$$\int_{t_0}^{t_k} dt \longrightarrow \min$$

przy ograniczeniach

$$\frac{dk}{dt} = u, \quad 0 \leq u \leq U_{max}$$

$$k(t_0) = 0, \quad t_0 = 0,$$

$t_0$  — chwila początkowa,  $t_k$  — chwila końcowa procesu.

Wprowadźmy oznaczenia

$$\int_{t_0}^{t_k} dt = x_1 \quad \text{czyli} \quad \frac{dx_1}{dt} = 1 = f^1,$$

$$k = x_2 \quad \text{czyli} \quad \frac{dx_2}{dt} = u = f^2$$

oraz funkcję, będącą iloczynem skalarnym rozszerzonego wektora stanu oraz wektora parametrów

$$P = \sum_{i=1}^n l_i x_i = l_1 x_1 + l_2 x_2 \longrightarrow \min$$

gdzie  $l_1 = 1$ ,  $l_2 = 0$ .

Należy teraz wyznaczyć taki strumień inwestycyjny, który minimalizuje funkcję  $P$ , czyli maksymalizuje hamiltonian  $H$ :

1) wyznaczamy tzw. zmienne sprzężone z równania

$$\frac{d\psi_i}{dt} = - \sum_{j=1}^n \psi_j \frac{\partial f^j}{\partial x_i}, \quad i = \dots, n,$$

$$\frac{d\psi_1}{dt} = - \left( \frac{\partial f^1}{\partial x_1} \psi_1 + \frac{\partial f^2}{\partial x_1} \psi_2 \right) = - (0 \cdot \psi_1 + 0 \cdot \psi_2)$$

$$\frac{d\psi_2}{dt} = - \left( \frac{\partial f^1}{\partial x_2} \psi_1 + \frac{\partial f^2}{\partial x_2} \psi_2 \right) = - (0 \cdot \psi_1 + 0 \cdot \psi_2)$$

Stąd wynika, że w przedziale  $[t_0, t_k]$ :

$$\psi_1 = C_1, \quad \psi_2 = C_2, \quad \text{gdzie} \quad C_1, C_2 \text{ — stałe.}$$

2) tworzymy hamiltonian

$$H = \sum_{i=1}^n \psi_i f^i$$

a więc  $H = C_1 f^1 + C_2 f^2 = C_1 + C_2 u$ , czyli  $H$  osiąga wartość maksymalną, gdy  $u = U_{max}$ .

3) rozwiązanie równania procesu  $\frac{dk}{dt} = u$ , przy warunkach  $k(t_0) = 0$ ,  $t_0 = 0$  jest następujące:  $k(t) = t U_{max}$ , czyli moment końcowy procesu wynosi

$$t_k = \frac{k_k}{U_{max}}, \quad k_k = k(t_k)$$

Przebieg procesu optymalnego przedstawiono na rys. 3.12.

Jednym z interesujących problemów, który pojawił się w ostatnich latach, jest problem podejmowania optymalnych decyzji w tzw. warunkach rozmytych. Wiąże się on z koncepcją zbiorów rozmytych, którą zaproponował L. Zadeh w 1965 r.\* Pojęcie zbioru rozmytego służy do opisu różnych aspektów nieprecyzji; niedokładności oraz nieokreśloności otaczającego świata rzeczywistego, które to aspekty dotychczas wyrażano za pomocą pojęć probabilistycznych. Z pewnością zawiera się w tym także jeden z aspektów rzeczywistych procesów decyzyjnych. Przypomnijmy określenie zbioru rozmytego: niech  $U$  oznacza dowolny zbiór obiektów zwany przestrzenią. Zbiór rozmyty  $A$  w tej przestrzeni określany jest poprzez tzw. funkcję przynależności  $\mu_A(x)$ , która każdemu  $x \in U$  przyporządkowuje pewną liczbę rzeczywistą z przedziału  $[0, 1]$  zwaną stopniem przynależności elementu  $x$  do zbioru  $A$ , czyli

$$\mu_A: U \rightarrow [0, 1]$$

Niech  $X$  będzie zbiorem rozmytym, a  $P(X)$  — klasą wszystkich rozmytych podzbiorów  $X$ . Sformułujemy rozmyte zadanie optymalizacji. Niech będzie dana funkcja  $f: X \rightarrow R$ , a  $G \in P(X)$  będzie rozmytym ograniczeniem. Chcemy określić  $\sup f(x)$  na  $G$ . Zakładamy, że funkcja  $f$  jest ograniczona, a wtedy istnieje takie  $M \in R$ , że  $f(x) \leq M$  dla  $x \in X$ . Rozmyty zbiór  $C(x) = \frac{1}{M} f(x)$  będzie rozmytym celem, a rozmyta decyzja będzie miała postać:  $D = C \cap G$ . Zadanie optymalizacji sprowadza się do znalezienia optymalnej rozmytej decyzji, czyli znalezienia

$$\sup_{x \in X} D(x) = \sup_{x \in X} [G(x) \wedge C(x)]$$

Ogólnie powiemy, że: rozmytą decyzją nazywamy rozmyty zbiór  $D \in P(X)$ , określony w następujący sposób

$$D = \left( \bigcap_{i=1}^n C_i \right) \cap \left( \bigcap_{j=1}^m G_j \right)$$

\* L. Zadeh: *Fuzzy sets, Information and Control*, nr 8, 1965 r. Zob. także: R. Bellman, L. Zadeh: *Decision-making in fuzzy environment*, Management Science, nr 4, 1970 oraz E. Czogała, W. Pedrycz: *Elementy i metody teorii zbiorów rozmytych*. Skrypt Politechniki Śląskiej, Gliwice 1980 r.

Rozmytym ograniczeniem optymalnym nazywamy rozmyty zbiór  $D_M \in P(X)$ , określony następująco:

$$D_M(x) = \begin{cases} \max D(x) & \text{dla } x \in K \\ 0 & \text{dla } x \notin K \end{cases}$$

gdzie  $D$  jest rozmytą decyzją, a  $K = \{X : D(x) = \max D(x)\}$  nazywamy zbiorem maksymalnych elementów decyzyjnych, czyli zbiorem alternatyw maksymalizujących funkcję  $D(x)$ . Zadeh podał warunki, dla jakich zbiór  $K$  jest jednoelementowy: niech  $X = \mathbb{R}^n$ . Jeżeli rozmyty zbiór decyzji jest silnie wypukły, to istnieje dokładnie jeden maksymalny element decyzyjny.

Teoria zbiorów rozmytych jest stosunkowo nową dziedziną, jednak należy sądzić, że jej znaczenie dla rozwoju metod optymalizacji w warunkach „nietypowych”, tj. nie dających się wyrazić klasycznym językiem rachunku ekstremalizacyjnego i probabilistyki, będzie ogromne. Z pewnością należy z jej rozwojem wiązać nadzieję na powstanie efektywnych metod rozwiązania wielu zadań optymalizacji, przed którymi stają decydenci w rzeczywistych systemach decyzyjnych.

W rzeczywistych procesach podejmowania decyzji ekonomicznych i wojskowych (dowódczych) jednokryterialne problemy decyzyjne występują raczej rzadko. Z pewnością częściej decydenci muszą mieć na uwadze równocześnie wiele celów, które w matematycznym modelu decyzyjnym wyrażane są wieloma funkcjami kryterialnymi, wymagającymi równoczesnej optymalizacji. Mamy wtedy do czynienia z zadaniami **optymalizacji wielokryterialnej**.

Zagadnienie to H. A. Simon ujął następująco: „...odkryliśmy, że jest rzeczą wątpliwą, czy decyzje bywają zwykle skierowane na osiągnięcie jednego celu. Łatwiej i jaśniej jest rozpatrywać decyzje jako dotyczące wyboru kierunku działania zaspokajającego cały zbiór (...) «potrzeb». To ten zbiór, a nie żaden z jego elementów, jest tym czymś, co najtrafniej można rozpatrywać jako cel działania” \*.

Praktyka decyzji zmusza do podejmowania decyzji „możliwie

\* E. Konarzewska-Gubała: *Programowanie przy wielorakości celów*. PWN, W-wa 1980 r.

najlepszych", tj. decyzji „pośredkujących” efekty wynikające z poszczególnych celów działania.

Rozważać będziemy następujące zadanie\*: dany jest zbiór rozwiązań dopuszczalnych  $X_0 \subset R^n$  oraz wektor-funkcja

$$F = (F_1, \dots, F_k, \dots, F_K)$$

taka, że wartość  $k$ -tej funkcji kryterialnej wynosi

$$F_k(x) \in R, \quad x \in X_0, \quad k=1, 2, \dots, K.$$

Funkcje kryterialne spełniają następujące założenia:

— funkcje  $F_k(x)$ ,  $k=1, \dots, K$ , osiągają wartości maksymalne  $M_k$  oraz wartości minimalne  $N_k$  w zbiorze  $X_0$  i wartości te są różne od zera,

— wszystkie funkcje kryterialne traktowane są równorzędnie,

— z punktu widzenia interpretacji (ekonomicznej lub bojowej) funkcje kryterialne są niewspółmierne,

— nie istnieje program optymalizujący równocześnie wszystkie funkcje kryterialne,

— przyjęto, że  $l$  pierwszych funkcji kryterialnych podlega maksymalizacji, natomiast  $K-l$  pozostałych funkcji minimalizacji.

Dla powyższych założeń punkt  $x^* = (x_1^*, \dots, x_K^*)$  ze zbioru rozwiązań dopuszczalnych  $X_0$  nazywać będziemy decyzją optymalną w sensie Pareto, jeżeli nie istnieje w zbiorze  $X_0$  punkt  $x'$  różny od punktu  $x^*$ , dla którego:

$$(P) \left\{ \begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} F_i(x') > F_i(x^*) \quad \text{dla pewnego } i, 1 \leq i \leq l, \\ \text{lub} \\ F_j(x') < F_j(x^*) \quad \text{dla pewnego } j, l+1 \leq j \leq K, \end{array} \right. \\ \text{oraz} \\ \left\{ \begin{array}{l} F_p(x') \geq F_p(x^*) \quad \text{dla } p \neq i, 1 \leq p \leq l, \\ F_p(x') \leq F_p(x^*) \quad \text{dla } p \neq j, l+1 \leq p \leq K. \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Zadanie optymalizacji sformułowano następująco: wyznaczyć punkt  $x^*$  należący do zbioru rozwiązań dopuszczalnych  $X_0$  i spełniający warunek Pareto (P) dla wektora-funkcji  $F$ . Metoda optymalizacji powyższego zadania obejmuje następujące etapy:

\* S. Trojanowski: *Wielokryteriowa optymalizacja w sensie Pareto niewspółmiernych funkcji celu*. Przegląd Statystyczny, nr 3, 1975 r.

1) dla każdej funkcji  $F_k$ ,  $k=1, \dots, K$ , wyznacza się optymalną (w sensie optymalizacji jednokryterialnej) decyzję  $X_k^*$  oraz odpowiednie wartości  $M_k$  i  $N_k$  funkcji kryterialnych w zbiorze  $X_0$ , czyli

$$M_k = \max_{x \in X_0} F_k(x) \quad \text{dla } k=1, 2, \dots, l$$

oraz

$$N_k = \min_{x \in X_0} F_k(x) \quad \text{dla } k=l+1, \dots, K;$$

2) tworzy się  $K$  funkcji względnych odległości wartości poszczególnych funkcji kryterialnych od swych wartości optymalnych, czyli

$$f_k(x) = \begin{cases} \frac{M_k - F_k(x)}{M_k} & \text{dla } k=1, 2, \dots, l, \\ \frac{F_k(x) - N_k}{N_k} & \text{dla } k=l+1, \dots, K. \end{cases}$$

3) tworzy się globalną funkcję kryterialną  $f(x)$  jako sumę odchyień względnych wartości poszczególnych funkcji kryterialnych od wartości optymalnych, czyli

$$f(x) = \sum_{k=1}^K f_k(x) = \sum_{k=1}^l \frac{M_k - F_k(x)}{M_k} + \sum_{k=l+1}^K \frac{F_k(x) - N_k}{N_k}$$

4) wyznacza się minimum globalnej funkcji kryterialnej  $f(x)$ , czyli określa się taką decyzję, dla której suma odchyień względnych wartości poszczególnych funkcji kryterialnych od wartości optymalnych osiąga minimum w zbiorze  $X_0$ .

Można wykazać, że punkt  $x^*$  minimalizujący funkcję  $f(x)$  spełnia warunek Pareto dla niewspółmiernych funkcji kryterialnych  $F=(F_1, F_2, \dots, F_K)$ .

W przedstawionej metodzie abstrahuje się zarówno od postaci funkcji kryterialnych  $F_k(x)$ ,  $k=1, \dots, K$ , jak również od charakteru zbioru  $X_0$ .

Omawiając zadania optymalizacji skoncentrowano uwagę jedynie na wybranych typach zadań i wybranych metodach optymalizacji. Przedstawiono metody uważane powszechnie za pod-



stawowe i znajdujące się w stanie rozwoju, który świadczy o znacznych ich walorach aplikacyjnych. Nie omawialiśmy także konkretnych algorytmów optymalizacji, które składają się na poszczególne metody. Omówienie tylko niektórych algorytmów, np. optymalizacji liniowej (lub nieliniowej) spowodowałoby znaczne przekroczenie zakresu niniejszej pracy. Dlatego powyższe rozważania należy traktować jako ogólną charakterystykę problemów optymalizacji niezbędną do przedstawienia koncepcji systemów decyzyjnych.

## 6. Zakończenie

Badania systemowe polegające na porównaniu rzeczywistego zachowania decydentów w złożonych sytuacjach decyzyjnych z racjonalnym przepisem pozwalają sformułować wiele hipotez na temat genezy, struktury i funkcjonowania systemów decyzyjnych. Pozwalają także przewidywać, choćby w skromnym, jeszcze zakresie, przyszłe zachowanie decydentów oraz kierunki rozwoju przyszłych systemów decyzyjnych.

Należy wyraźnie podkreślić, że postęp w dziedzinie systemów decyzyjnych w znacznym stopniu zależy od tego, z jaką intensywnością będą prowadzone badania naukowe w dziedzinie decyzji politycznych, ekonomicznych i militarnych (dowódczych), a także w jakim stopniu motyw obiektywizmu cechować będzie badaczy analizujących przyczyny najbardziej brzemiennej w skutki decyzji, a przede wszystkim mechanizmów ich podejmowania. Ponadto badania te muszą mieć charakter interdyscyplinarny, eliminujący wąskie, partykularne widzenie zjawisk.

Co się tyczy przyszłych systemów decyzyjnych, to należy oczekiwać postępującej racjonalnej instrumentalizacji procesów decyzyjnych. Mamy tu na uwadze głównie komputerowe wspomaganie decydentów. Może ono być realizowane w systemie decyzyjnym wyposażonym w „adaptacyjny system banku algorytmów i heurystyk decyzyjnych”. Decydent, po wystąpieniu potrzeby, identyfikuje sytuację decyzyjną oraz formułuje zadanie decyzyjne. Następnie automatycznie zostanie dokonany wybór optymalnego

algorytmu decyzyjnego, który zostanie zrealizowany w komputerze, np. w trybie interaktywnym. Oczywistym warunkiem realizacji tej koncepcji jest sprzężenie systemu decyzyjnego z efektywnym systemem informatycznym dysponującym bankiem danych. Innym natomiast warunkiem będzie wszechstronne przygotowanie decydentów do działania w nowoczesnych systemach decyzyjnych.

## 6. Zaključenie

Budowa systemów pomocy w podejmowaniu decyzji jest procesem wieloetapowym, który wymaga od decydenta posiadania odpowiednich umiejętności i wiedzy. W tym celu należy wykonać szereg działań, które mają na celu przygotowanie decydenta do działania w nowoczesnych systemach decyzyjnych. W tym celu należy wykonać szereg działań, które mają na celu przygotowanie decydenta do działania w nowoczesnych systemach decyzyjnych.

## Systemy kierowania

„Mądrość jest to zdolność dostrzegania długookresowych konsekwencji bieżących działań, gotowość do poświęcenia krótkookresowych zysków dla większych, długookresowych korzyści oraz umiejętność kierowania tym, czym można kierować, i niemartwienie się tym, czym kierować nie można. Kwintesencją mądrości jest więc troska o przyszłość. Nie jest to ten rodzaj zainteresowania przyszłością, który cechuje wróżbitę: ten bowiem próbuje tylko przepowiadać przyszłość. Mądry człowiek stara się nią pokierować.”

(Russel L. ACKOFF)

„...w rzeczywistości tylko ta strona kieruje swoimi działaniami, która dąży do ich rozwoju zgodnie z własnym planem, a to oznacza, że rzeczywiste kierowanie walką powinno być kierowaniem całym procesem walki, czyli nie tylko własnymi działaniami, ale w jakimś stopniu również działaniami przeciwnika, narzuconymi mu przez nasze działania. Sztuka dowodzenia wymaga zrozumienia tego złożonego, sprzecznego procesu.”

(Michał N. TUCHACZEWSKI)

### 1. Wprowadzenie

Rewolucja naukowo-techniczna, będąc procesem wywołującym wielostronne skutki, oddziałuje na formy organizacyjne, w jakich społeczeństwo działa. Wywiera także wpływ na całokształt procesów informacyjno-decyzyjnych realizowanych w danym społeczeństwie. Wpływ ten przejawia się w zmianach systemów kierowania, przemianach ich struktur, stylów, metod i technik oddziaływania na procesy itp. Zjawisko to obejmuje przede wszystkim zmiany w systemach zarządzania gospodarką. Niedoceniecie procesów informacyjnych i decyzyjnych, jakie towarzyszą każdej produkcji materialnej, niedoskonalenie ich wraz z rozwojem technologii i wielkości produkcji może stanowić istotny hamulec rozwoju społeczno-ekonomicznego. Podobnie niedoceniecie konieczności doskonalenia wraz z rozwojem gospodarki i państwa procesów informacyjnych i decyzyjnych, składających

się na działalność administracji państwowej i gospodarczej, może przynieść znaczne straty społeczne i ekonomiczne\*.

Analogiczne zjawiska są obserwowane w siłach zbrojnych w sferze procesów dowodzenia. Efektywność dowodzenia jest czynnikiem decydującym w walce, bitwie, operacji i wojnie. W okresie pokoju system dowodzenia wojskami jest zasadniczym czynnikiem zapobiegania uzyskaniu przez przeciwnika zaskoczenia, a zatem uniknięcia ewentualnych strat. Organizacja i dowodzenie jest zatem istotnym elementem potencjału bojowego wojsk.

Przypomnijmy, że coraz częściej wyrażane jest przekonanie, że oprócz trzech sił wytwórczych, tj. pracy, środków rzeczowych i nauki, występuje w dobie współczesnej siła czwarta: organizacja i kierowanie, gdyż koordynuje ona i modyfikuje pozostałe czynniki produkcji.

Organizacja i kierowanie stały się przedmiotem nauki stosunkowo niedawno. Było to wyrazem dążenia do zaspokojenia nowych potrzeb społecznych, które pojawiły się na przełomie XIX i XX wieku wraz z koncentracją produkcji, rozwojem produkcji masowej i nasilającą się konkurencją międzynarodową. Nowe potrzeby wiązały się z żądaniem obniżki kosztów produkcji, stymulującym dążenie do racjonalizacji pracy przez usprawnienie organizacji oraz wprowadzeniem naukowych zasad zarządzania\*\*.

Wystąpienie powyżej kilku różnych pojęć (kierowanie, zarządzanie, dowodzenie) wymaga pewnych wyjaśnień, gdyż kwestie terminologiczne, aczkolwiek nie najważniejsze, są nadal aktualne i charakterystyczne dla krajowych publikacji poświęconych omawianym zagadnieniom. Pogłębia ten stan dodatkowo fakt, że zajmują się nimi, poza naukami wojskowymi (teoria dowodzenia), takie dyscypliny, jak: prakseologia, nauka o organizacji i kierowaniu, a zwłaszcza cybernetyka. Szczególne znaczenie miało powstanie cybernetyki jako nauki o sterowaniu. Cybernetykę łączy z monodyscyplinami konkretnymi — konkretność problematyki, a z dyscyplinami abstrakcyjnymi — ogólność problematyki. Fakt,

\* A. Straszak: *Cybernetyczny aspekt zarządzania*. [W:] *Metody cybernetyczne w zarządzaniu*. Ossolineum, Warszawa — Wrocław 1979 r.

\*\* W. Kieżun: *Ewolucja sprawnego zarządzania*. PWE, W-wa 1978 r.

że na sterowaniu opiera się funkcjonowanie maszyn, organizmów i społeczności, świadczy, jak rozległy jest zakres cybernetyki\*.

Sterowanie, w szerokim, cybernetycznym znaczeniu, jest wywieraniem pożądanego wpływu na określone zjawiska. Przypomnijmy, że w prakseologii działaniem nazywa się oddziaływanie zmierzające do celu i to z zachowaniem przez rzecz oddziałującą poczucia, że ma swobodę wyboru zamierzonego skutku (celu) i sposobu jego osiągnięcia. Działanie może polegać zarówno na wywoływaniu zmian, jak i na przeciwdziałaniu zmianom.

Dalsze wyjaśnienia połączymy z istotą zjawisk zachodzących w podstawowych klasach systemów rzeczywistych, a więc w systemach biologicznych, technicznych i społecznych. I tak, sterowaniem w węższym znaczeniu będziemy określać sterowanie w systemach biologicznych i technicznych. Sterowanie w systemach społecznych (i systemach działania) nazywać będziemy kierowaniem. Z kolei, kierowanie w systemach ekonomicznych (gospodarczych) określimy jako zarządzanie, natomiast kierowanie w systemach wojskowych nazwiemy dowodzeniem. Wynika stąd, że kierowanie można traktować jako immanentną cechę systemów działania. W wąskim znaczeniu można mówić o kierowaniu przez podmiot samym sobą, a zatem kierowanie to tyle co sterowanie ludźmi lub ludźmi wyposażonymi w odpowiednie narzędzia (sposoby i środki) działania, ale także kierowanie rzeczami nie mogącymi działać, lecz tylko funkcjonować\*\*. Przyjęta konwencja odpowiada najczęściej wyrażanym poglądom.

Mówiąc o sterowaniu w systemach społecznych nie można pominąć zjawiska władzy, jako faktycznej możliwości realizacji swej woli w życiu społecznym, a więc będącej stosunkiem między ludźmi. Mamy tu na uwadze zarówno władzę polityczną w ogóle, jak i jedną z jej postaci — władzę państwową. Z władzą państwową wiąże się zjawisko określane terminem „rządzenie”, które kojarzy się zwykle z procesem podejmowania i realizacji decyzji w organizacji państwowej. Rządzenie jako podejmowanie i przekazywanie do realizacji decyzji przez organa państwowe jest —

\* M. Mazur: *Cybernetyka i charakter*, wyd. cyt.

\*\* J. Zieleniewski: *Podstawowe pojęcia teorii systemów, organizacji, sterowania i zarządzania (Próba systematyzacji pojęć i założeń)*. [W:] *Współczesne problemy zarządzania*, wyd. cyt.

w systemie praworządnym — od strony formy i treści regulowane przez prawo. Natomiast rządy jako zajęcie grupy (elity) rządzącej nie jest unormowane przez prawo, lecz ewentualnie przez normy polityczne\*. Jednym z warunków skuteczności sprawowania władzy politycznej jest efektywne funkcjonowanie systemów informacyjnych (w tym także systemów masowego komunikowania).

Istotą rządu jest podejmowanie decyzji politycznych, czyli wyborów dotyczących działań politycznych. O politycznym charakterze działania świadczy jego związek z interesami klas, warstw, narodów, tj. takimi interesami, których środkiem ich realizacji jest zdobycie władzy państwowej lub wpływu na decyzje państwowe. Uważa się, że: „Im większy jest stopień centralizacji i koncentracji władzy, tym bardziej iluzoryczny jest dialog w procesie wyboru celów i środków, tym bardziej zamyka się krąg twórców decyzji politycznych. Im większy jest stopień tajności w polityce, tym mniejsze szanse mają zwykli obywatele w konfrontacji opinii na temat priorytetów politycznych. Rosnąca złożoność gospodarki i kultury (związana ze skutkami uprzemysłowienia) powoduje, że spór o cele polityki państwa dotyczy wszystkich. W przyszłości prawdopodobnie będzie wzrastać zainteresowanie obywateli dla celów polityki państwa. Skutki złe wybranych celów będą bowiem coraz bardziej kosztowne”\*\*.

Zarządzanie zwykle jest, lecz nie zawsze musi być związane z procesami władzy politycznej, chociaż opiera się na stosunkach władzy (stosunki nadrzędności i podporządkowania). Choć decyzje organów zarządzających gospodarką, nauką, kulturą itp. mają zwykle charakter „techniczno-operatywny”, to często ich pośrednim celem jest realizacja lub ochrona interesu klasowego. Kierowanie, gdy władza opiera się przede wszystkim na własności zasobów niezbędnych kierowanym do zdobywania środków utrzymania lub na upoważnieniu otrzymanym od właściciela tych zasobów, jest zarządzaniem.

Dowodzenie jest szczególnym rodzajem kierowania ze względu

\* J. Kowalski, W. Lamentowicz, R. Winczorek: *Teoria państwa i prawa*. PWN, W-wa 1981 r.

\*\* J. Kowalski i inni, wyd. cyt.

na specyfikę zadań realizowanych przez siły zbrojne, zwłaszcza w warunkach działań wojennych. Współczesne kierowanie wojną jest możliwe przy uwzględnianiu i wykorzystaniu czynników politycznych, ideologicznych, moralno-politycznych, prawnych, ekonomicznych i innych, które określają warunki, w jakich przygotowuje się i prowadzi wojnę, w sytuacji wszechstronnej oceny sił i możliwości przeciwnika i charakteru jego działań oraz mobilizacji wysiłku kraju dla rozgromienia przeciwnika. „Sprawne, umiejętne dowodzenie jest koniecznym, lecz niewystarczającym warunkiem zwycięstwa, natomiast dowodzenie niesprawne i nie umiejętne jest wystarczającym warunkiem niepowodzenia. Na fakt ten zwracał już uwagę Napoleon I pisząc: „Aby wygrać bitwę, potrzeba kilku dywizji. Aby zaprzepaścić sukces na froncie — wystarczy kilku ludzi” \*.

Aczkolwiek uważa się, że naukowe ujęcie problemów organizacji i kierowania jest jednym z wytworów nauki XX wieku, to wiele cennych myśli na temat sztuki rządzenia, zarządzania i dowodzenia znajdujemy w pismach filozofów i uczonych w różnych okresach rozwoju cywilizacji (np. Platon, Arystoteles, Machiavelli, Pascal, Ampere i wielu innych). Niewątpliwym przełom w badaniach dokonał się wraz z powstaniem „klasycznej” nauki o organizacji i kierowaniu (Taylor, Fayol, Emerson, Gilbreth, Adamiecki), której okres największego rozwoju przypada na tzw. okres „neoklasyczny” w latach dwudziestych.

„Neoklasyczna” teoria organizacji i kierowania rozwijała się głównie dzięki wykorzystaniu pojęć i wyników badań zaczerpniętych z psychologii i socjologii, zwracając uwagę na stosunki międzyludzkie. W okresie tym zwraca uwagę tzw. „biurokratyczna” teoria M. Webera, oparta na specjalizacji funkcji, hierarchii i karierze, a także doktryna „stosunków międzyludzkich” E. Mayo \*\*.

\* L. Kuleszyński: *Dowodzenie wojskami a cybernetyka*. Wyd. MON, W-wa 1967 r.

\*\* Niekiedy wśród koncepcji klasyków naukowego zarządzania w kapitalizmie wyróżnia się nstp. kierunki: przemysłowy, administracyjny, psychosocjologiczny i współczesny (systemowy). Istnieje bogaty obszar doświadczeń burżuazyjnej nauki o uniwersalnym charakterze i dużym stopniu przydatności do celów adaptacyjnych. On też jest wykorzystywany przez socjalistyczną naukę o organizacji i zarządzaniu.

Prace socjologów i psychologów organizacji, specjalistów teorii decyzji i badań operacyjnych, cybernetyków i informatyków, ekonomistów oraz praktyków zarządzania i dowodzenia miały wpływ na kształtowanie się koncepcji nowoczesnych systemów kierowania oraz tzw. inżynierii systemów kierowania. Szczególne znaczenie należy przypisać koncepcji T. Parsonsa socjologii systemów społecznych oraz pracom H. A. Simona poświęconym podejmowaniu decyzji w organizacjach gospodarczych, „cybernetyce zarządzania” S. Beera, a zwłaszcza jego koncepcji „mózgu firmy”, metodologii planowania ekonomicznego R. L. Ackoffa, „empirycznej szkole zarządzania” P. Druckera, metodologii badania „dynamiki zarządzania” J. Forrestera, a także teorii wielkich systemów, reprezentowanej m.in. przez R. Kulikowskiego, A. Lernerę, W. Burkową, M. Mesaroviča\*.

Jeśli natomiast chodzi o naukę o dowodzeniu, to należy zauważyć, że rozwój jej odbywał się przede wszystkim pod wpływem doświadczeń wojennych i pism wybitnych wodzów i współczesnych dowódców. Mamy niewątpliwie do czynienia ze zjawiskiem rozwoju wiedzy o dowodzeniu, ale próby uogólnienia w postaci zasad dowodzenia formułowane są przede wszystkim w ramach taktyki i sztuki operacyjnej; dowodzenie rozpatruje się jako nieodłączny element sztuki wojennej. Można więc stwierdzić, że teoria dowodzenia, w tradycyjnym ujęciu, jest umiejscowiona w nauce wojennej, ale bez ściślejszego sprecyzowania jej istoty i przedmiotu. Nie wyodrębniono jej jednak jako względnie samodzielnej dyscypliny nauki wojennej, a poszczególne jej problemy przeplatają się z elementami strategii, sztuki operacyjnej i taktyki.

Wielokrotnie formułowano postulat opracowania teorii dowo-

\* P. Sienkiewicz: *Teoria efektywności systemów kierowania*. ASG WP, W-wa 1979 r.; P. Sienkiewicz: *Inżynieria systemów kierowania*. Systemy Zabezpieczenia Wojsk, z. 6, WAT 1981 r.

T. Parsons: *Szkice z teorii socjologicznej*. PWN, W-wa 1972 r.

H. A. Simon: *Działanie administracji*. PWN, W-wa 1976 r.

S. Beer: *Brain of the Firm*. London 1972 r.

R. L. Ackoff: *Zasady planowania w korporacjach*. PWN, W-wa 1973 r.

P. Drucker: *Skuteczne zarządzanie*. PWN, W-wa 1976 r.

J. Forrester: *Industrial Dynamics*. Massachusetts 1969 r.

Np. R. Kulikowski: *Sterowanie w wielkich systemach*. WNT, W-wa 1970 r.



dzenia odpowiadającej potrzebom współczesnego pola walki i aktualnym tendencjom rozwoju badań naukowych w dziedzinie organizacji i kierowania. Świadczy o tym znaczna ilość publikacji na łamach czasopism wojskowych\*. Stosunkowo niewiele istnieje wydawnictw książkowych odpowiadających powyższemu potrzebom\*\*. Lepiej przedstawia się sytuacja w zakresie analiz historycznych dowodzenia wojskami\*\*\*. Jednakże i w tej grupie prac trudno byłoby jednoznacznie oddzielić rozważania na temat przemian w zasadach sztuki wojennej od rozważań dotyczących rozwoju metod i organów dowodzenia. Powyższe fakty niewątpliwie utrudniają pełną identyfikację aktualnego stanu teorii dowodzenia. Nie budzi wątpliwości natomiast potrzeba opracowania nowoczesnej, w sensie metodologii, teorii dowodzenia, a raczej — teorii systemów dowodzenia. Tak rozumiana teoria dowodzenia obejmowałaby teoretyczne podstawy wojskowych systemów kierowania, teorię procesów informacyjnych w dowodzeniu, teorię podejmowania decyzji operacyjno-taktycznych, służbę sztabów, metody i techniczne środki dowodzenia, psychospołeczne problemy dowodzenia itp. Kształtuje się ona na styku nauk wojskowych z matematycznymi, technicznymi, społecznymi i humanistycznymi naukami oraz pod wpływem cybernetyki, prakseologii, teorii organizacji i kierowania, a także systemologii. Biorąc pod uwagę systemowy charakter współczesnych procesów dowodzenia naturalny wydaje się fakt postępującego znaczenia metodologii badań systemowych dla rozwoju nowoczesnej nauki o dowodzeniu\*\*\*\*.

Każde przeobrażenia świadome i celowe rzeczywistości materialnej związane są z różnorodnymi działaniami ludzi. Każde

\* J. Nowakowski: *O teorii dowodzenia*. Myśl Wojskowa, nr 3, 1971 r.  
B. Kulińczyk: *Rozważania o teorii dowodzenia*. Myśl Wojskowa, nr 4, 1971 r.

\*\* D. Iwanow, W. Sawieljew, P. Szemanski: *Zasady dowodzenia wojskami*. Wyd. MON, W-wa 1973 r.

Z. Gołąb, S. Kołcz: *Współczesne dowodzenie wojskami*. Wyd. MON, W-wa 1974.

\*\*\* F. Skibiński: *Dowodzenie jednostkami polskimi na Zachodzie w skali skrypcyjnej*. Wyd. MON, W-wa 1973 r.

J. Orzechowski: *Dowodzenie i sztaby*. T. 1—3. Wyd. MON.

\*\*\*\* P. Sienkiewicz: *Problemy dowodzenia w świetle badań systemowych*. Myśl Wojskowa, nr 9, 1981 r.

działanie jest działaniem czegoś lub czymś, ma swój podmiot i przedmiot. Cel jest atrybutem każdego działania związanym z koniecznością zaspokojenia określonej potrzeby. Potrzeba dowolnego systemu działania to taka jego cecha, ze względu na którą warunkiem niezakłóconego funkcjonowania tego systemu jest osiągnięcie zamierzonych (antycypowanych) celów. Można wyróżnić następujące rodzaje potrzeb:

— potrzeby, których niezaspokojenie prowadzi do zagłady (unicestwienia) systemu,

— potrzeby, których niezaspokojenie pociąga za sobą niemożliwość pełnienia przez dany system pewnych jego funkcji,

— potrzeby, których niezaspokojenie prowadzi do zakłóceń w pełnieniu przez system pewnych funkcji,

— potrzeby, których niezaspokojenie prowadzi do zakłóceń w rozwoju systemu.

Rozwój sił wytwórczych spowodował powstanie nowych potrzeb społecznych i indywidualnych związanych z realizacją procesów informacyjno-decyzyjnych. Ich zaspokojenie przyniosło specjalizację w zakresie funkcji informowania i decydowania w systemach działania. Przyniosło wyodrębnienie, a następnie rozwój systemów kierowania\*.

„Aby produkować — na każdym etapie rozwoju ludzkości — trzeba było posługiwać się informacją. Najpierw jeden mózg potrafił przetworzyć wszystkie niezbędne informacje i skutecznie kierować zespołem robotników, powiedzmy w manufakturze. Ale już do kierowania złożonego organizmu, jakim była np. armia Czingiz-Chana, nie wystarczył jeden człowiek, powstał cały aparat zarządzający, drabina hierarchiczna dowodzenia. Wraz z rozwojem ludzkości — szybciej niż środki techniczne — wzrasta ilość informacji, która nie przetworzona w porę stwarza bariery nie do pokonania w dalszym rozwoju społecznym”.\*\*

\* P. Sienkiewicz: *Rozwój systemów kierowania*. Systemy Zabezpieczenia Wojsk, z. 3, WAT 1978 r.

\*\* W. Głuszkow, wywiad w tygodniku „Polityka”, marzec 1977 r.

## 2. Modelowanie systemów kierowania

Przyjęto następujące ogólne założenia:

1) kierowanie jest działaniem, czyli oddziaływaniem zmierzającym do celu i polegającym zarówno na wywoływaniu zmian, jak i przeciwdziałaniu zmianom niepożądanym;

2) kierowanie polega na oddziaływaniu na ludzi (kierowanie zespołami) bądź na ludzi i czynniki pozaludzkie (kierowane systemami działania);

3) kierowanie jest procesem informacyjnym, bowiem „nośnikiem” działania są informacje;

4) kierowanie posiada sens tylko i wyłącznie wtedy, gdy istnieje obiekt (proces, system) kierowania;

5) kierowanie posiada sens, gdy istnieje potrzeba osiągnięcia przez system określonych celów;

6) kierowanie jest procesem realizowanym w systemie kierowania (zarządzania, dowodzenia);

7) kierowanie jest zarówno decydowaniem, jak i informowaniem, czyli jest procesem informacyjno-decyzyjnym;

8) kierowanie jest złożonym (wielowymiarowym i wieloaspektowym) procesem, najczęściej — o znacznym stopniu niepewności, ryzyka i nieokreśloności;

9) kierowanie jest procesem, który może być wspomagany komputerowo;

10) kierowanie jest skuteczne, gdy organizacja (system działania) osiąga zamierzone cele działania.

Najważniejszą cechą kierowania jest rozwiązywanie problemów, a więc takich zadań (sytuacji), których podmiot nie może rozwiązać za pomocą posiadanego zasobu wiedzy. Rozwiązanie ich jest możliwe dzięki czynnościom myślenia produktywnego, które prowadzą do wzbogacenia wiedzy podmiotu. Kierowanie jest więc procesem twórczym. Rozwiązywane zadania, które mają cechy sytuacji trudnych, nowych i niepewnych tworzą klasę problemów kierowania. Ogólnie problemy te można podzielić na trzy podstawowe grupy:

1) problemy informacyjne (orientacyjne, poznawcze) powstające w trakcie czynności, których celem jest zdobycie informacji

o procesach kierowanych, otoczeniu organizacji i o samym systemie kierowania;

2) problemy decyzyjne powstające w trakcie podejmowania decyzji, czyli dokonywania świadomych wyborów i rozwiązywania szczegółowych zadań;

3) problemy wykonawcze powstające w trakcie realizowania podjętych decyzji, związane z zapewnieniem ich realizacji zgodnie z wolą podmiotu i treścią decyzji nadrzędnych.

Zakładamy ponadto, że dla każdego systemu kierowania istnieje system nadrzędny. Kierowanie w istocie rzeczy jest formą walki ze sprzecznościami wewnątrz organizacji i pomiędzy nią a otoczeniem, formą „łagodzenia” sprzeczności i konfliktów organizacyjnych. W zjawisku „sterowania” sprzecznościami i konfliktami w organizacjach, także „wewnątrz” systemów kierowania, należy dostrzegać źródła rozwoju organizacyjnego. Na przykład: sprzeczności pomiędzy systemem decyzyjnym a systemem informacyjnym są z pewnością źródłem obecnego rozwoju systemów kierowania, którego wyrazem jest zjawisko informatyzacji.

W rozważaniach nad modelem systemu kierowania nie można pomijać aspektu władzy organizacyjnej. Decyzje podejmowane w systemach kierowania są, bezpośrednio lub pośrednio, realizacją wcześniejszych centralnych decyzji politycznych kształtujących rzeczywistość społeczną. Wszystkie decyzje kierownicze, a w szczególności podejmowane przez dowódców, są formą konkretyzacji ogólnych decyzji politycznych. Inne zagadnienie wiąże się z osobowością podmiotu podejmującego decyzje, z jego predyspozycjami do rozwiązywania problemów kierowania. Zwróćmy uwagę na to, że nadal nie utracił aktualności pogląd Arystotelesa wyrażający cechy „osobowości przywódcy”: przywódca musi posiadać *ethos*, *pathos* i *logos*. Oznacza to, że musi on przestrzegać zasad etycznych, umieć przedstawiać ludziom dramatyzm sytuacji i wiedzieć, jak trafić do ludzi.

Kolejna kwestia, którą należy rozstrzygnąć, dotyczy funkcji kierowania. Na ten temat napisano wiele, dokonując zestawienia wielu różnych klasyfikacji i typologii funkcji kierowania\*.

\* Np. J. Zieleniewski: *Organizacja i zarządzanie*. PWN, W-wa 1972 r.

Jako punkt wyjścia do sformułowania koncepcji funkcji kierowania przyjmujemy założenie, że rozwiązywanie problemów kierowania jest projektowaniem określonych sytuacji. „...projektowaniem zajmują się nie tylko inżynierowie. W rzeczy samej, projektujemy zawsze wówczas, gdy opracowujemy sposoby przekształcania danej sytuacji w inną, dogodniejszą” \*.

Projektowaniem będziemy określać koncepcyjne przygotowanie działania, wybór i ocenę działania spośród działań możliwych. Rezultatem tak rozumianego projektowania są decyzje. Równie istotnym co projektowanie przedsięwzięciem jest zapewnienie wykonania — realizacji projektowanego działania. Pierwsze z wymienionych przedsięwzięć obejmuje problemy informacyjne i decyzyjne, drugie — informacyjne i wykonawcze.

Kierowanie jako proces działania stanowi realizację dwóch podstawowych funkcji (rys. 4.1):

- projektowanie działania oraz
- zapewnienie realizacji projektów działania.

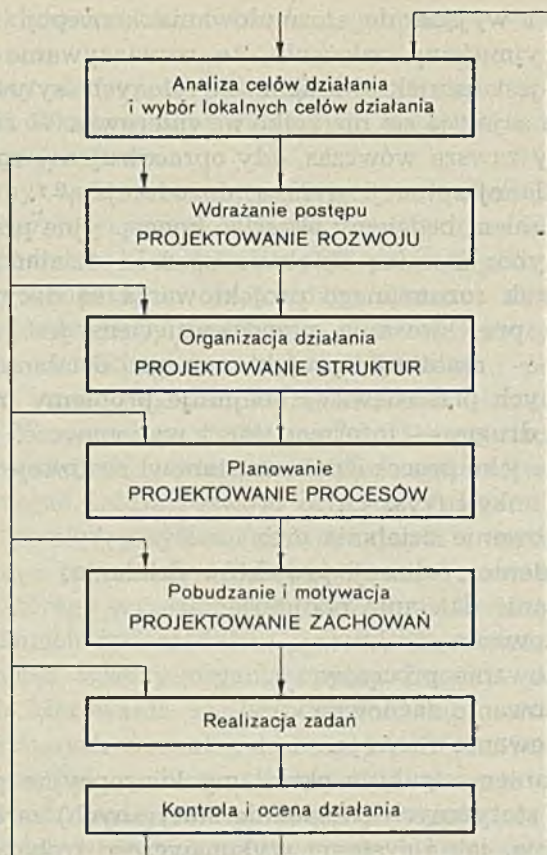
Projektowanie działania obejmuje:

- projektowanie struktur,
- projektowanie procesów,
- projektowanie zachowań,
- projektowanie rozwoju.

Projektowaniem struktur określamy koncepcyjne przygotowanie struktur statycznych (względnie statycznych) zarówno systemu kierowania, jak i systemu wykonawczego (roboczego), optymalnych w sensie efektywności działania, odpowiadających aktualnym i przyszłym celom i zadaniom. Mówiąc o strukturach statycznych wyróżniamy te struktury organizacyjne, funkcjonalne, informacyjne, decyzyjne i wykonawcze, które stanowią stałą cechę organizacji w dostatecznie długim okresie czasu. Przyjęcie struktur dynamicznych (zmiennych w okresie działania) oznacza konieczność określenia zasad adaptacji strukturalnej, tj. zasad przystosowywania się struktur do zmian otoczenia.

Projektowaniem procesów będziemy określać koncepcyjne przygotowanie organizacji procesów informacyjnych, decyzyjnych

\* H. A. Simon (wg W. Gasparski): *Projektowanie. Koncepcyjne przygotowanie działań*. PWN, W-wa 1978 r.



4.1. Ogólny model procesu kierowania

i wykonawczych, czyli określenie np. zbiorów wejść, wyjść i stanów poszczególnych procesów oraz powiązań w czasie pomiędzy procesami elementarnymi. W szczególności oznacza to konieczność określenia: „kto, co, czym, jak i kiedy”.

Projektowanie zachowań to koncepcyjne przygotowanie motywacji w systemie działania, czyli takie ukierunkowanie wysiłków jednostek i grup ludzi w organizacji, aby doprowadziły do osiągnięcia celów organizacji. Wiąże się ono z koniecznością rozwiązania problemów ukierunkowywania zachowań uczestników organizacji w zależności od liczby możliwych kierunków działania,

sposobu ich zorganizowania (monomotywacja — polimotywacja), stopnia konfliktowości (konflikty wartości i czasów realizacji). Jest to także forma zabezpieczenia organizacji przed występowaniem konfliktów.

Projektowanie rozwoju jest związane z koncepcyjnym przygotowaniem perspektywicznych celów, sposobów i środków działania. Oznacza to konieczność wytyczania kierunków postępu naukowo-technicznego i organizacyjnego w systemie działania.

W. Trapeznikow uważa, że formuła racjonalnej organizacji i kierowania wyraża się w czterocłonowej postaci: wiedzą — mają — chcą — nadążają\*.

Zapewnienie realizacji projektów działania (struktur — procesów — zachowań — rozwoju) jest funkcją kierowania, której istota polega na urzeczywistnieniu projektów w procesach wykonawczych (roboczych) — osiągnięcia celów systemu działania. Realizacja tej funkcji polega na akceptacji odpowiednich projektów działania, bezpośrednim przekazaniu do wykonawców, kontroli stanu gotowości systemu roboczego do podjęcia działania, kontroli realizacji projektów, kontroli i ocenie stanów końcowych.

Rezultaty realizacji funkcji kierowania uzyskują w procesie działania określoną postać fizyczną bądź dokumentów, bądź dokumentów i materialnych efektów działania. Dokumenty traktujemy jako materialne nośniki decyzji i informacji. Do nich zaliczymy:

- projekty planów działania i plany działania (projekty, które uzyskały akceptację),
- projekty programów działania i programy działania,
- projekty interwencji (rozkazów, zarządzeń) i interwencje,
- meldunki.

Programy i plany działania, interwencje są podstawowymi dokumentami decyzyjnymi zawierającymi decyzje dotyczące: celów, sposobów i środków działania. Różnią się one stopniem pilności i horyzontem realizacji. Są dokumentami obligatoryjnymi.

Wśród meldunków — dokumentów informacyjnych o charakterze faktycznym — wyróżnimy:

\* W. A. Trapeznikow: *Woprosy upravlenija ekonomiczieskimi sistemami*. Awtomatika i tieliemiechanika, nr 1, 1969 r.

— diagnozy, czyli meldunki zawierające informacje dotyczące charakteru stanów, w których znajdują się procesy, oraz charakterystycznych zdarzeń istotnych z punktu widzenia celów działania (uzyskuje się je w wyniku kontroli realizacji programów, planów i interwencji),

— oceny, czyli meldunki zawierające informacje, wyrażające aprobatę lub dezaprobatę dla badanych stanów procesów,

— prognozy, czyli meldunki zawierające informacje, grupujące hipotezy na temat przyszłych stanów procesów działania i otoczenia systemu.

Na podstawie dotychczasowych rozważań, założeń i postulatów można sformułować ogólne zasady systemów kierowania.

#### 1. Zasada identyfikacji potrzeb:

wszelkie działania determinuje wystąpienie określonych potrzeb — proces kierowania determinuje stopień identyfikacji potrzeb w systemie działania.

#### 2. Zasada systemu wartości:

dla każdego działania nadrzędną rolę spełniają określone wartości wyrażające hierarchię zaspokajanych potrzeb — proces kierowania powinien być podporządkowany wartościom obowiązującym w danym systemie działania.

3. Zasada twórczej postawy podmiotu kierowania: istotą kierowania jest rozwiązywanie problemów — podmiot kierowania powinna cechować twórcza postawa wobec rzeczywistości.

4. Zasada koncepcyjnego przygotowania działania: każde działanie w systemie kierowania powinno poprzedzać projektowanie działania (struktur, procesów, zachowań, rozwoju) dla danych warunków.

#### 5. Zasada celowości działania:

podstawą projektowania działania powinno być określenie celów wyrażających dążenie do zaspokojenia określonych potrzeb.

#### 6. Zasada zabezpieczenia działania:

po akceptacji projektów działania wysiłek systemu kierowania powinien być skoncentrowany na zapewnieniu realizacji projektów przez system wykonawczy.

#### 7. Zasada ciągłości decydowania i informowania:

informowanie stwarza warunki decydowaniu — konieczne jest



prorowadzenie ciągłej kontroli, diagnozy, oceny i prognozy działania.

8. Zasada nadrzędności decyzji politycznych: podstawą procesu kierowania są nadrzędne decyzje polityczne, wyrażające wartości i związane z nimi potrzeby działania.

9. Zasada informacyjnego determinizmu: trafność decyzji zależy od wartości (użyteczności i jakości) informacji dostarczanych systemowi decyzyjnemu przez system informacyjny.

10. Zasada ograniczonej racjonalności: w rzeczywistym systemie kierowania model decyzji zadowalających jest realniejszy niż model decyzji racjonalnych (dla celów kreowania modelu decydenta).

11. Zasada systemu kierowania: każdy proces kierowania jest realizowany w systemie kierowania jako podsystemie każdego systemu działania.

12. Zasada dwóch podsystemów: każdy system kierowania tworzą dwa podstawowe podsystemy — system decyzyjny i system informacyjny.

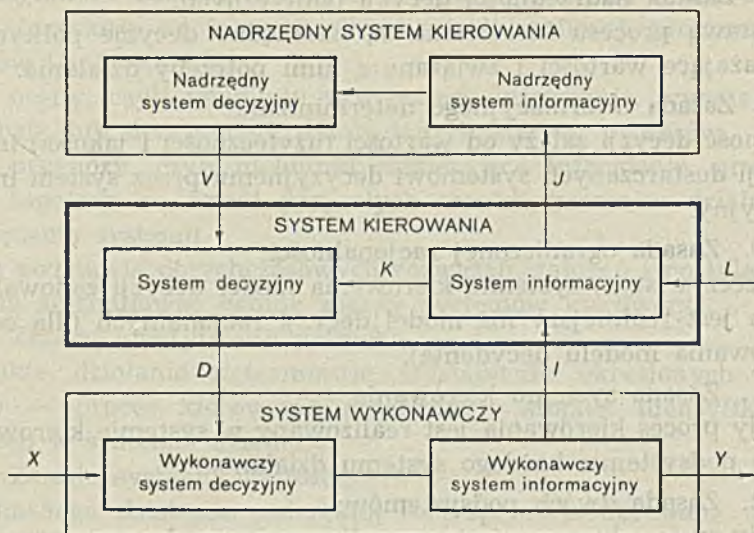
13. Zasada dualizmu w systemie wykonawczym (roboczym): w każdym systemie wykonawczym istnieją elementy decyzyjne — „receptory” decyzji i jednocześnie „przetworniki” decyzji w czynności wykonawcze oraz elementy informacyjne — „efektory” informacji pierwotnych (źródłowych).

Przejdźmy do skonstruowania ogólnego modelu systemu kierowania (rys. 4.2).

W opisie przyjęto następujące oznaczenia:

- $V$  — zbiór możliwych decyzji nadrzędnych,
- $D$  — zbiór dopuszczalnych decyzji w systemie kierowania,
- $K$  — zbiór informacji otrzymywanych przez system decyzyjny z systemu informacyjnego,
- $I$  — zbiór informacji pierwotnych (źródłowych),
- $L$  — zbiór informacji z otoczenia systemu,
- $J$  — zbiór informacji przeznaczonych dla szczebla nadrzędnego,
- $X$  — zbiór wejść zasileniowych (energomaterialnych),

$Y$  — zbiór wyjść zasileniowych,  
 $T$  — zbiór momentów czasu.



4.2. Ogólny model systemu kierowania

Proces działania w organizacji opisano przekształceniem

$$P: X \times D \times T \rightarrow Y$$

a do oceny wielkości uzyskanych w systemie efektów przyjęto funkcję

$$F: D \times X \times Y \times T \rightarrow R$$

Proces decyzyjny opisuje przekształcenie

$$\delta: K \times V \times T \rightarrow D$$

czyli istnieje taka funkcja

$$\delta(k, v, t) = d^* \in D$$

że  $F(d^*, x, y, t) \geq F(d, x, y, t)$

dla  $P(x, d^*, t) = y$

Decyzję  $d^* \in D$ , spełniającą powyższe warunki, nazywać będziemy decyzją optymalną.

Procesem informacyjnym nazywamy przekształcenia

$$H_w: I \times L \times T \rightarrow K$$

$$H_z: K \times L \times T \rightarrow J$$

gdzie:  $H_w$  — funkcja informowania wewnętrznego,

$H_z$  — funkcja informowania zewnętrznego.

Zakłada się, że istnieje funkcja  $H_w(i, l, t) = k \in K$ , taka że  $V_k(k, t) \geq V_0$  oraz  $H_z(k, l, t) = j \in J$ , taka że  $V_j(j, t) \geq V_{j0}$ , gdzie  $V_k(k, t)$ ,  $V_j(j, t)$  — funkcje wartości informacji,  $V_{k0}$ ,  $V_{j0}$  — pożądane wartości informacji udostępnianych przez system informacyjny.

Systemem kierowania nazywamy podsystem każdego systemu działania określony następująco

$$SK = \langle \mathcal{M}^K, \mathcal{Q}^K \rangle$$

gdzie  $\mathcal{M}^K = \mathcal{M}^D \cup \mathcal{M}'$ ,  $\mathcal{Q}^K = \langle \mathcal{Q}^D, \mathcal{Q}', \mathcal{Q}^{D'} \rangle$

$\mathcal{Q}^{D'} \subset \mathcal{M}^D \times \mathcal{M}'$  (zbiór powiązań informacyjno-decyzyjnych).

System kierowania realizuje działania — procesy

$$A^K = \langle A^D, A' \rangle,$$

gdzie:  $A^D = \langle K, V, D, T; \delta, F \rangle$

$$A' = \langle I, L, K, J, T; H_w, H_z, V_k, V_j \rangle$$

Dokonajmy analizy systemu kierowania zgodnie z przyjętą konwencją

$$P: X \times D \times Y \times T \rightarrow Y$$

czyli

$$y = P(x, d, y, t)$$

gdzie:  $d = \delta(k, v, t)$ ,  $k = H_w(i, l, t)$ ,  $v = \delta^N(j, t)$ ,  $j = H_z(k, l, t)$

a wtedy

$$y = P(x, \delta(H_w(i, l, t), \delta^N(j, t), t), P(x, d(t''), t'), t)$$

przy założeniu, że

$$F(x, d, y, t) \rightarrow \max$$

dla

$$d = \delta(H_w(i, l, t), \delta^N(i, t), t)$$

$$y = P(x, d(t''), t')$$

$$t > t' > t''$$

Z powyższej analizy wynikają uwarunkowania informacyjno-decyzyjne każdego działania.

Dla oceny efektywności systemu kierowania można posłużyć się następującym wskaźnikiem

$$\varepsilon_{SK} = \frac{F(x, y, d) - F(x, y)}{F(x, y, d^*) - F(x, y)}$$

gdzie:  $F(x, y)$  — efektywność działania w warunkach braku decyzji,

$F(x, y, d)$  — efektywność działania w warunkach podjęcia danej decyzji,

$F(x, y, d^*)$  — efektywność działania w warunkach decyzji optymalnej, tj.

$$F(x, y, d^*) = \max_{d \in D_i} F(x, y, d)$$

System kierowania jest optymalny, gdy  $\varepsilon_{SK}=1$ , natomiast system jest racjonalny, gdy np.  $\varepsilon_{SK} > 0,5$ , a o systemie, dla którego  $0 < \varepsilon_{SK} \leq 0,5$  możemy powiedzieć, że jest zadowalający. System kierowania efektywny to po prostu taki system, dla którego spełniony jest warunek:  $\varepsilon_{SK} > 0$ .

W systemie kierowania zarówno „surowcem”, jak i „produktem” jest informacja, od której zależy efektywność całego systemu działania. Zależności te badał W. A. Trapeznikow, który określił podstawowe związki analityczne\*.

Wprowadzenie informacji decyzyjnej do systemu powoduje zmniejszenie nieokreśloności (entropii) w systemie

$$J = H_0 - H_K$$

gdzie:  $H_0, H_K$  — odpowiednio początkowa i końcowa (po wprowadzeniu informacji) entropia.

Powyższe zjawisko wiąże się ze zmianą stopnia nieuporządkowania charakteryzującego dany system, czyli

$$J = H_0 - H_K = c \ln B_0 - c \ln B_K = c \ln \frac{B_0}{B_K}$$

\* W. A. Трапезникoв: *Управление экономика, техничeский прогрeсs*. Nauka, Moskwa 1971 r.

gdzie  $c$  — wielkość stała charakteryzująca system określonej klasy, a stąd

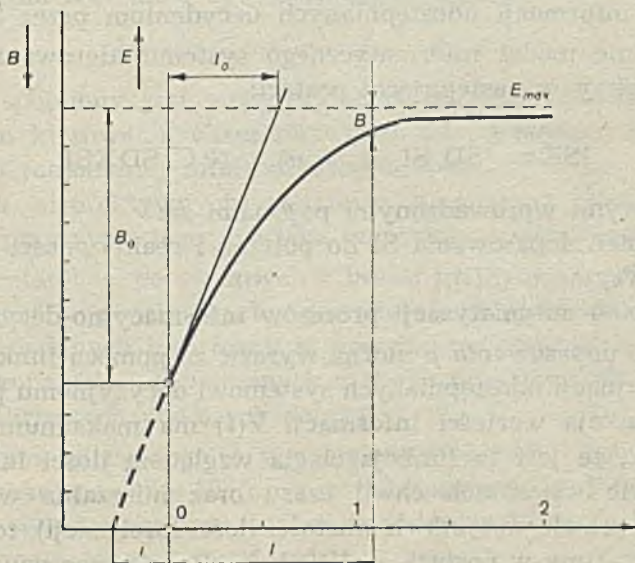
$$B_K = B_0 e^{-\frac{J}{c}}$$

Wiadomo bowiem, że entropia systemu pozostawionego samemu sobie (bez sterowania) wzrasta, czyli wzrasta nieuporządkowanie systemu. Kierowanie jest więc procesem antyentropijnym, walką z nieuporządkowaniem. Wynika stąd, że zależność efektywności od stopnia nieuporządkowania systemu jest typu

$$E = E_{max}[1 - f(B)]$$

gdzie  $E_{max}$  — efektywność systemu „idealnego” („całkowicie uporządkowanego”).

Trapeznikow zaproponował zależność wykładniczą (rys. 4.3), która dobrze oddaje istotę zjawiska, a mianowicie



4.3. Zależność efektywności kierowania od ilości informacji:

$I$  — informacja wprowadzona przez człowieka,  $I$  — informacja wprowadzona przez zautomatyzowany system informacyjny (według W. Trapeznikowa)

$$E = E_{max} [1 - B_0 e^{-\frac{J_0}{J}}]$$

gdzie  $J_0$  — ilość informacji pierwotnej.

Jedną z podstawowych nowoczesnych form doskonalenia systemów kierowania jest informatyzacja, rozumiana jako proces informatycznego (komputerowego) wspomagania procesów informacyjno-decyzyjnych. W ten sposób kształtuje się nowa „generacja” systemów kierowania.

Informatycznym systemem kierowania będziemy nazywać taki system kierowania, którego działanie opiera się na wykorzystaniu systemu informatycznego w sferze realizacji procesów informacyjnych i tych procesów decyzyjnych, których istotę stanowi podejmowanie decyzji — rozwiązań (decyzji programowanych). Z powyższego określenia wynika m.in., że decyzje — wybory (akty świadomego wyboru) pozostają w gestii decydentów. W wyniku zastosowania SI powinno wzrosnąć prawdopodobieństwo trafności decyzji — wyborów ze względu na oczekiwany wzrost wartości informacji udostępnianych decydentom przez SI.

Formalnie model informatycznego systemu kierowania (ISK) przedstawimy w następującej postaci:

$$ISK = \langle SD, SI, \mathcal{R}; \mu, \alpha \rangle, \quad \mathcal{R} \subset SD \times SI,$$

gdzie nowymi wprowadzonymi pojęciami są:

$\mu$  — stopień dopasowania SI do potrzeb i reaktywności systemu decyzyjnego (SD),

$\alpha$  — stopień automatyzacji procesów informacyjno-decyzyjnych.

Stopień dopasowania  $\mu$  można wyrazić za pomocą funkcji wartości informacji udostępnianych systemowi decyzyjnemu przez SI. Jeżeli funkcja wartości informacji  $V(I)$  ma maksimum (zakładamy np., że jest to funkcja ciągła względem ilości informacji dla prawie wszystkich chwil czasu oraz mierzalna względem czasu dla prawie wszystkich wartości ilości informacji), to wskaźnik  $\mu$  wyrazimy w postaci  $\mu = V(I)/V_{max}$ . Przyjmując pewną wartość graniczną  $V_0$  dla danego systemu kierowania do oceny stopnia dopasowania SI do potrzeb systemu decyzyjnego, posłużymy się wskaźnikiem

$$\mu = \frac{V(I) - V_0}{V_{max} - V_0}$$

Stopień automatyzacji  $\alpha$  określamy jako stosunek liczby elementarnych procesów informacyjno-decyzyjnych realizowanych w systemie za pomocą metod i środków informatyki do całkowitej liczby tych procesów realizowanych w systemie kierowania.

Ze zjawiskiem informatyzacji wiążą się określone koszty:

$K_A(\alpha)$  — koszty automatyzacji procesów informacyjno-decyzyjnych (budowy i eksploatacji SI),

$K_0(\alpha)$  — koszty opóźnień informacyjnych na skutek realizacji procesów informacyjno-decyzyjnych metodami tradycyjnymi.

Zakładamy, że funkcja  $K_A(\alpha)$  jest funkcją rosnącą względem  $\alpha$ , a  $K_0(\alpha)$  — funkcją malejącą względem  $\alpha$ . Zakładamy, że funkcja efektywności kierowania  $E(\alpha)$  ma maksimum, czyli istnieje taka wartość  $\alpha^*$ , że  $E(\alpha^*) \geq E(\alpha)$  dla wszystkich wartości  $\alpha$ . Przyjmujemy, że dla ISK musi być spełniony warunek

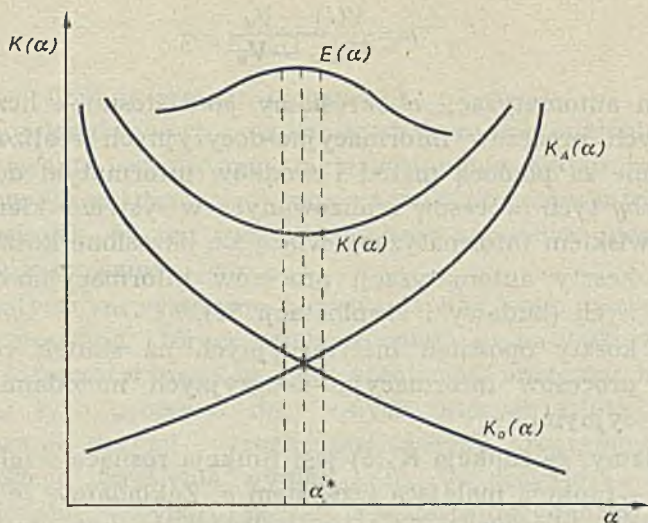
$$\alpha^* - \Delta\alpha \leq \alpha \leq \alpha^* + \Delta\alpha, \quad \Delta\alpha > 0.$$

Jeżeli spełniony jest powyższy warunek oraz ponadto  $\mu > 0$ , to system kierowania określamy jako ISK. Powiemy także, że dokonano racjonalnej informatyzacji systemu (rys. 4.4).

Analiza nieefektywnych systemów kierowania pozwala dostrzec przyczyny tego zjawiska w następujących błędach:

- orientacji — popełnianych z braku potrzebnych informacji,
- decyzji — popełnianych z powodu nieumiejętności wykorzystania posiadanych informacji w procesie podejmowania decyzji,
- wykonania — popełnianych z braku praktycznych umiejętności realizowania podjętych decyzji.

Przyczyną pierwszego z wymienionych błędów jest nieefektywne funkcjonowanie SI (np. pseudoinformowanie decydentów), drugiego — nieefektywne funkcjonowanie systemu decyzyjnego (np. niekompetencje decydentów), trzeciego — nieefektywne funkcjonowanie systemu wykonawczego (np. nieprzygotowanie realizatorów do podjęcia zadań) i (lub) nieumiejętność zapewnienia realizacji projektów działania.



4.4. Zależność efektywności systemu kierowania od stopnia automatyzacji procesów informacyjno-decyzyjnych

Postulat efektywności systemów kierowania opiera się na następujących założeniach:

- krytycznym mankamentem systemów jest przeważnie podejmowanie decyzji bez dostatecznej ilości informacji o pożądanej wartości,
- wymagane przez decydentów informacje są im rzeczywiście potrzebne,
- otrzymanie właściwych informacji zwiększa trafność decyzji,
- sprawna struktura informacyjno-decyzyjna zwiększa efektywność kierowania,
- decydent musi umieć korzystać z SI we właściwy sposób.

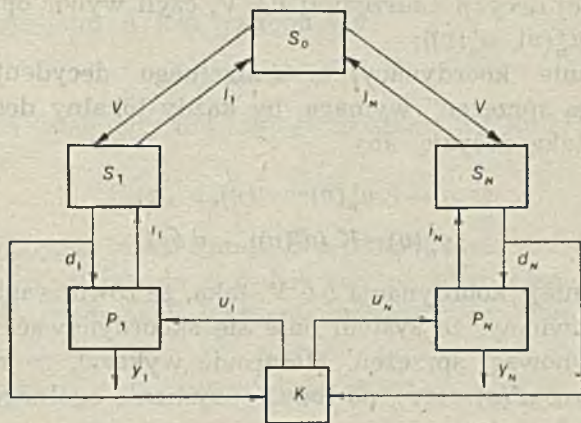
Cechy procesów kierowania pozwalają na wyróżnienie następujących typów systemów kierowania:

- 1) „prymitywne” systemy kierowania, których działanie opiera się na programowych decyzjach i „żywiółowym” informowaniu („od przypadku do przypadku”);
- 2) „rozwinęte” systemy kierowania oparte na antycypacji istotnych zjawisk oraz racjonalnym informowaniu decydentów;



3) „adaptacyjno-antycypacyjne” systemy kierowania oparte na przewidywaniu istotnych zjawisk oraz dostosowywaniu się do charakteru zjawisk nieprzewidzianych, a także na efektywnym funkcjonowaniu SI.

Współczesne systemy kierowania są z reguły wielopoziomowymi systemami o strukturze hierarchicznej. Na badaniu takich systemów koncentruje się obecnie uwaga w teorii systemów kierowania. Szczególne znaczenie ma tu zasada koordynacji sformułowana przez M. Mesaroviča \*. Pozwala ona określić optymalne działanie centralnego (nadrzędnego) układu kierowania w warunkach występowania interakcji między układami wykonawczymi. Rozpatrzmy system o strukturze dwupoziomowej (rys. 4.5).



4.5. Model dwupoziomowego systemu kierowania

Niech będzie danych  $N$  podprocesów roboczych:

$$P_n: D_n \times U_n \rightarrow Y_n, \quad n=1, 2, \dots, N$$

gdzie:  $D_n$  — zbiór decyzji  $n$ -tego podsystemu kierowania (lokalnego poziomu),

$Y_n$  — zbiór wyników  $n$ -tego procesu roboczego,

$U_n$  — zbiór interakcji związanych z procesem  $P_n$ , przy czym dana jest funkcja

\* M. Mesarovič, D. Macko, Y. Takahara: *Theory of Hierarchical Multilevel Systems*. Academic Press, New York 1970 r.

$$K_n: D \rightarrow U_n$$

gdzie  $D = D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$ .

Zakłada się, że:

a) globalnym celem systemu jest minimalizacja funkcji

$$F: D \times Y \times V \rightarrow E$$

$$Y = Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_n, \quad E = E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n$$

$E$  — zbiór wartości efektów,  $V$  — zbiór decyzji koordynujących, przy ograniczeniu danym przez funkcję procesu  $P$ ;

b) lokalnym celem podsystemów jest minimalizacja funkcji

$$F_n: D_n \times Y_n \rightarrow E_n$$

dla dowolnej decyzji nadrzędnej  $v \in V$ , czyli wybór optymalnych wartości:  $[d_n^*(v), u_n^*(v)]$ ;

c) działanie koordynacyjne centralnego decydenta, zwane „równowagą sprzężeń” wymaga, by każdy lokalny decydent podejmował taką decyzję, aby

$$u_n^*(v) = u_n(v),$$

$$u_n^*(v) = K_n(d^*(v)), \quad d \in D$$

Jeżeli istnieje koordynacja  $v \in V$ , taka, że równowaga jest osiągnięta, to powiemy, że system daje się skoordynować za pomocą zasady równowagi sprzężeń. Mesarovič wykazał, że równowaga sprzężeń, tzn.  $u^*(v) = u(v)$ , powoduje uzyskanie ogólnego optimum zawsze wtedy, gdy:

a) istnieje taka funkcja

$$\psi: E \times \dots \times E \rightarrow E,$$

że dla wszystkich  $d \in D$

$$\psi(F_1(d_1, P_1(d_1, u_1), v), \dots, F_n(d_n, P_n(d_n, u_n), v)) = F(d, P(d))$$

zawsze wtedy, gdy  $u = K(d)$ ;

b)  $\psi$  jest funkcją monotoniczną.

Jeżeli będą spełnione powyższe warunki, to istnieje optymalna koordynacja systemu  $v^*$  dająca w rezultacie stan równowagi, tylko wtedy, gdy

$$\max_V \min_{D \times U} \psi = \min_D F$$

Rozpatrzmy obecnie kilka charakterystycznych sytuacji zakładając, że dany system działania tworzą dwa systemy  $A$  i  $B$  o odpowiednich funkcjach efektywności  $F_A$  i  $F_B$  i dopuszczalnych decyzjach  $d_A \in D^A$  i  $d_B \in D^B$ .

a) Załóżmy, że  $A$  określa wartość  $d_A$ , przyjmując, że  $B$  znając  $d_A$  wykorzysta to działanie tak, aby

$$F_B(d_A, d_B) \rightarrow \max$$

$A$  oczekuje, że decyzja systemu  $B$  będzie

$$d_B = d_B(d_A)$$

czyli cel systemu  $A$  jest następujący

$$F_A(d_A, d_B(d_A)) \rightarrow \max$$

a będzie on osiągnięty dla takiego działania  $d_A$ , które gwarantuje osiągnięcie

$$F_A(d_A, d_B(d_A)) \equiv F_A(d_A) \rightarrow \max$$

b) Załóżmy, że  $A$  informuje  $B$  o postaci funkcji decyzji  $d_A(d_B)$ . Oznacza to, że działanie  $A$  będzie zależeć od działania  $B$ . System  $A$  oczekuje więc, że  $B$  wybierze takie  $d_B$ , że spełniony będzie warunek

$$F_B(d_A(d_B), d_B) \rightarrow \max$$

Rozwiązaniem problemu jest więc działanie określone jako

$$d_B = d_B(d_A(d_B))$$

System  $A$  mając możliwość określenia działania systemu  $B$  stwarza możliwość wyboru swojego działania, tzn. wyboru  $d_A(d_B)$  takiego, aby rozwiązać problem

$$F_A(d_A(d_B), d_B(d_A(d_B))) \equiv F_A(d_A(d_B)) \rightarrow \max$$

\* Zob. N. Moisiejew: *Eliemienty teorii optimalnych sitem*. Nauka, Moskwa 1975 r.

P. Sienkiewicz: *Cechy kierowania w aktywnych systemach działania*. Systemy Zabezpieczenia Wojsk, nr 5, WAT 1980 r.

Por. także uwagi o tzw. kierowaniu „refleksyjnym”, w następnej części książki.

c) Załóżmy, że  $A$  określa funkcję decyzji w postaci  $d_A = d_A[d_B(d_A)]$ , czyli przyjmuje, że wielkość działania  $A$  zakłada, że  $B$  podejmuje decyzję  $d_B$  z warunku

$$F_B(d_A(d_B(d_A)), d_B) \rightarrow \max$$

czyli określi on rozwiązanie problemu w postaci

$$d_B = d_B\{d_A[d_B(d_A)]\}$$

a system  $A$  dokonuje wyboru działania

$$d_A = d_A[d_B(d_A)]$$

z warunku

$$F_A(d_A[d_B(d_A)], d_B\{d_A[d_B(d_A)]\}) \rightarrow \max$$

d) Załóżmy obecnie, że w systemie realizowane jest kierowanie centralne i lokalne.

Niech dane będą:

$d_A, d_B$  — planowane działania  $A$  i  $B$  otrzymane z centralnego układu  $d_A \in D^A, d_B \in D^B$ ,

$d = \langle d_A, d_B \rangle$  — plan działania,

$F_A(d_A, v), F_B(d_B, v)$  — lokalne funkcje celu,

$F_{AB}(d, v)$  — globalna funkcja celu.

Każdy z systemów zna zbiór decyzji dopuszczalnych oraz swoją funkcję celu. Układ centralny zna funkcję celu  $F_{AB}$ , zbiór decyzji  $V = \{v\}$  oraz zbiór planów dopuszczalnych  $D = D^A \times D^B$ .

Problem polega na wyznaczeniu planu  $D$  oraz decyzji koordynujących  $v$ , które spełnią warunki lokalne

$$F_A(d_A, v) \rightarrow \max$$

$$F_B(d_B, v) \rightarrow \max$$

i zapewnią osiągnięcie celu globalnego systemu

$$F_{AB}(d, v) \rightarrow \max$$

Jeżeli oznaczymy:

$F_{AB}^\circ$  — wartość maksymalna funkcji  $F_{AB}$  przy nie spełnionych warunkach lokalnych,

$F_{AB}^*$  — wartość maksymalna funkcji  $F_{AB}$  przy spełnionych warunkach lokalnych,

przyjmując, że w ogólnym przypadku  $F_{AB}^{\circ} \geq F_{AB}^*$ , to wskaźnik

$$\omega = \frac{F_{AB}^*}{F_{AB}^{\circ}}$$

nazwiemy współczynnikiem koordynacji (lub uzgodnienia) w systemie. Pokazuje on, w jakim stopniu zostały uzgodnione cele poszczególnych podsystemów z celem całej organizacji. Pełne uzgodnienie ma oczywiście miejsce, gdy  $\omega = 1$ , co może być spełnione tylko w systemach kooperacyjnych. Rozwiązanie optymalne problemu kierowania w systemie przy określonym  $v \in V$  oznaczmy przez  $d(v)$ , a zatem problem sprowadza się w zasadzie do wyznaczenia takiego  $v \in V$ , dla którego spełniony jest warunek

$$F_{AB}(d(v), v) \rightarrow \max$$

Rozpatrywane przypadki analizy systemów kierowania mogą być sprowadzone do problemów rozwiązania gier kooperacyjnych, a w szczególności, gdy pomiędzy systemami występuje kooperacja negatywna do rozwiązania gier antagonistycznych.

Kolejnym podstawowym problemem systemów kierowania jest synteza hierarchicznych struktur kierowania. Zakłada się, że każdą strukturę hierarchiczną charakteryzują dwa podstawowe parametry: liczba poziomów — szczebli kierowania ( $H$ ) i liczba elementów podporządkowanych każdemu elementowi na danym szczeblu ( $L$ ).

Rozpatrzmy przypadek struktury o identycznych elementach i charakterystykach wykładniczych\*

$$x_n = b_n - (b_n - a_n) \exp\left(-\frac{c_n}{b_n - a_n} u_n\right)$$

gdzie:  $X_n$  — wielkość efektu uzyskanego przez element,

$U_n$  — sterowanie  $n$ -tego elementu,

$a_n$  — wielkość inicjatywy własnej,

$b_n$  — możliwości potencjalne,

$c_n$  — sterowalność.

\* K. Mańczak: *Optymalizacja wielopoziomowej struktury organizacyjnej zbioru elementów sterowanych*. Automatyka i Telemekhanika, t. XIX, z. 2, 1974 r.

Zagadnienie optymalizacji polega na wyznaczeniu dla systemu o przyjętym wariancie struktury takiego sterowania  $u = \langle u_1, \dots, \dots, u_N \rangle$ , które maksymalizuje funkcję efektywności systemu

$$F(u) = \sum_{n=1}^N b_n - \sum_{n=1}^N (b_n - a_n) \exp \left( - \frac{C_n}{b_n - a_n} u_n \right)$$

przy ograniczeniach

$$\sum_{n=1}^N u_n = X$$

$$u \geq 0$$

Zadanie to rozwiązano metodą mnożników Lagrange'a uzyskując rozwiązanie typu  $u_1, u_2, \dots, u_K > 0, u_{K+1}, \dots, u_N = 0$ , przy czym  $K = 1, 2, \dots, N - 1$ .

Jeżeli

$$X > \sum_{n=1}^N \frac{1}{d_n} \ln \frac{C_n}{C_N}$$

to rozwiązanie ma postać

$$u_k = \frac{1}{d_k} \left( \sum_{n=1}^N \frac{1}{d_n} \ln \frac{C_n}{C_N} + X \right) \left( \sum_{n=1}^N \frac{1}{d_n} \right)^{-1} \quad k = 1, 2, \dots, N.$$

Jeżeli

$$\sum_{n=1}^K \frac{1}{d_n} \ln \frac{C_n}{C_K} < X \leq \sum_{n=1}^{K+1} \frac{1}{d_n} \ln \frac{C_n}{C_{K+1}},$$

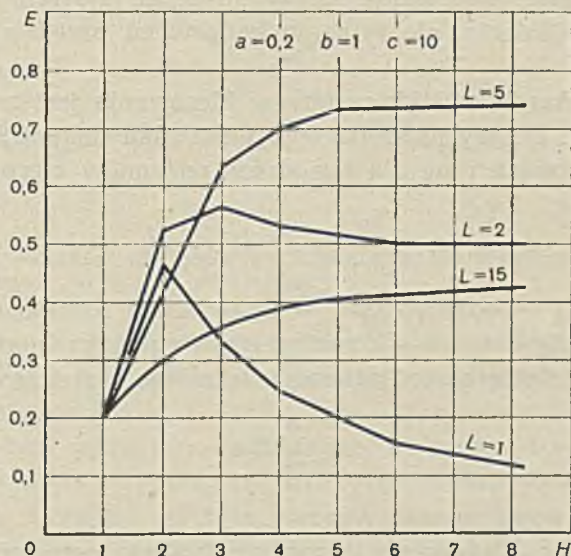
to rozwiązanie ma postać

$$u_k = \begin{cases} \frac{1}{d_k} \left( \sum_{n=1}^K \frac{1}{d_n} \ln \frac{C_n}{C_K} + X \right) \left( \sum_{n=1}^N \frac{1}{d_n} \right)^{-1}, & k = 1, \dots, K \\ 0, & \text{dla } k = K+1, \dots, N, \end{cases}$$

gdzie  $d_n = \frac{C_n}{b_n - a_n}$ ,  $n = 1, \dots, N$ .

Wyznaczając optymalne sterowanie dla poszczególnych wariantów

tów struktury systemu można określić optymalne parametry strukturalne. Przy określonych założeniach istnieje możliwość określenia zależności efektu średniego  $\bar{E}$  (przypadającego na jeden element) od ilości poziomów  $H$  dla systemów o różnych stałych liczbach podporządkowania  $L^*$  (rys. 4.6). Badając systemy ze statycznymi i dynamicznymi charakterystykami elementów oraz opóźnieniem w sterowaniu, sformułowano pewne ogólne wnioski:



4.6. Zależność efektywności systemu kierowania od liczby poziomów ( $E$ ) w strukturze o stałej liczbie podporządkowania ( $L$ ) według K. Mańczaka (Optymalizacja wielopoziomowej struktury organizacyjnej zbioru elementów sterowanych. Archiwum Automatyki i Telemechaniki, t. XIX, z. 2, 1974)

— globalną efektywność systemów statycznych praktycznie ustala się, gdy liczba poziomów wynosi 5—6; w wyniku dalszego zwiększania liczby poziomów nie uzyskuje się poprawy efektywności;

\* H. Górecki: *Synteza struktur hierarchicznych wielkich systemów*. AGH, Kraków 1979 r.

— optymalna liczba podporządkowania zależy silnie od współczynnika sterowalności elementów;

— struktury ze zmienną liczbą podporządkowania są efektywniejsze od struktur ze stałą liczbą, przy czym im wyższy jest poziom, tym mniejsza powinna być ta liczba;

— w systemach dynamicznych liczba poziomów jest mniejsza niż w odpowiednich systemach statycznych i silnie zależy od przyjętego horyzontu czasowego;

— optymalne sterowanie zależy silnie od stałych czasowych i czasów opóźnienia, ale tylko w końcowych przedziałach optymalizacji.

Jedną z charakterystyk systemów kierowania jest tzw. stopień centralizacji. Do wyznaczenia tego wskaźnika dokonuje się oszacowania rozmiaru prac dla sąsiednich poziomów kierowania, np.

$$a_i = \frac{\omega_i}{\omega_{i-1}}, \quad i=2, \dots, H,$$

gdzie  $\omega_i$ ,  $\omega_{i-1}$  — odpowiednio — oszacowania rozmiaru prac kierowniczych na  $i$  oraz  $i-1$  poziomie w strukturze hierarchicznej.

Wartość wskaźnika centralizacji dla całego systemu wynosi

$$\alpha = \sum_{i=2}^H \beta_i a_i$$

gdzie  $\beta_i$  — współczynnik wagowy.

Zależność nakładów związanych z funkcjonowaniem systemu kierowania od stopnia centralizacji (rys. 4.7) przedstawia funkcja

$$c(a) = c_1(a) + c_2(a)$$

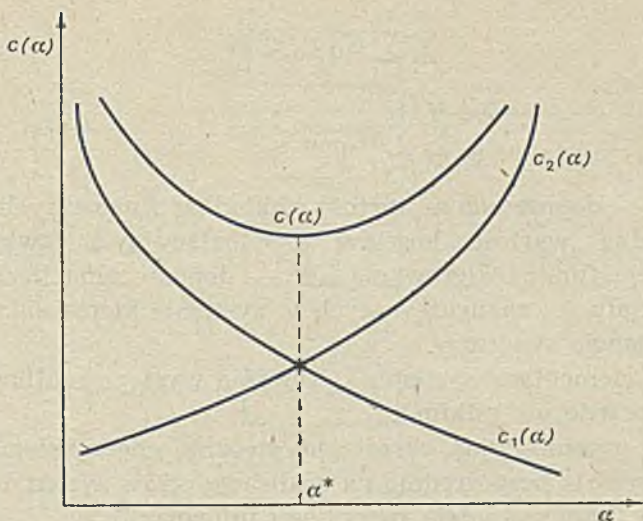
gdzie:  $c_1(a)$  — funkcja kosztów budowy i funkcjonowania systemu kierowania,

$c_2(a)$  — straty związane z nieefektywnym kierowaniem.

Założono funkcję  $c(a)$  wypukłą przyjmującą minimum w punkcie  $a^*$ , wyznaczającym optymalny stopień centralizacji systemu kierowania.

Jeżeli dany jest schemat powiązań informacyjnych pomiędzy elementami systemu kierowania, to problem syntezy można sprowadzić do wyboru optymalnego wariantu wykorzystania elemen-





4.7. Zależność nakładów na funkcjonowanie systemu kierowania od stopnia centralizacji

tów systemu w procesie kierowania. Wybór wariantu charakteryzowany jest za pomocą zmiennych zero-jedynkowych  $x_{ij}$ , przyjmujących wartość 1 wtedy, gdy  $i$ -ty element będzie stosowany w  $j$ -tym wariantcie. Zakłada się, że system tworzy  $M$  elementów, a każdy  $i$ -ty element może być wykorzystywany w  $S_i$  wariantach. Przyjęta funkcja efektywności systemu kierowania wyraża przeciętne koszty budowy i eksploatacji systemu oraz nakłady niezbędne dla realizacji funkcji kierowania dla każdego wariantu struktury systemu, przy czym  $E=F(x)$ , gdzie  $x=[x_{ij}]$ ,  $i=1, 2, \dots, M$ ;  $j=1, 2, \dots, S_i$ . Problem syntezy sprowadza się zatem do znalezienia takiego  $x^*$ , aby dla każdego  $x$

$$F(x^*) \leq F(x)$$

przy ograniczeniach typu

$$\sum_{j=1}^{S_i} x_{ij} = 1, \quad i=1, \dots, M,$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{S_i} c_{ij} x_{ij} \leq C$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{S_i} K_{ij} x_{ij} \leq K$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{S_i} N_{ij}^S x_{ij} \leq N^S$$

gdzie  $C$  — dopuszczalna wartość nakładów finansowych,  $K$  — dopuszczalna wartość kosztów eksploatacyjnych związanych z realizacją funkcji kierowania,  $N^S$  — dopuszczalna liczba osób  $s$ -tej specjalności zaangażowanych w systemie kierowania w danym wariantcie struktury.

Między elementami systemu kierowania występuje kilka typów więzi, a przede wszystkim\*:

- więź organizacyjna, określająca stosunki między elementami, które wpływają bezpośrednio na realizację celów systemu (wyrażane m.in. intensywnością przepływu informacji),
- więź służbowa, czyli zależność podwładnego od przełożonego,
- więź funkcjonalna, polegająca na doradzaniu, konsultowaniu, przygotowaniu dokumentów do podejmowania decyzji,
- więź informacyjna, związana z wzajemnym informowaniem się.

Ze względu na przewagę określonego typu więzi wyróżnia się struktury (rys. 4.8):

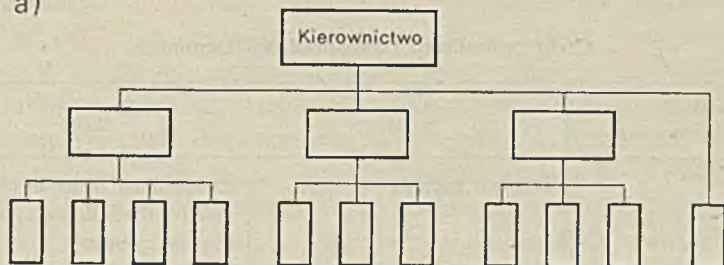
- liniowe (przewaga więzi służbowej),
- funkcjonalne (przewaga więzi funkcjonalnej),
- liniowo-sztabowe (równowaga więzi służbowej i funkcjonalnej).

W praktyce rozróżnia się struktury „płaskie” (mało szczebli, duża rozpiętość kierowania) i „smukłe”. Problem centralizacji lub decentralizacji kierowania stanowi jeden z podstawowych dylematów organizacyjnych (tabela 4.1).

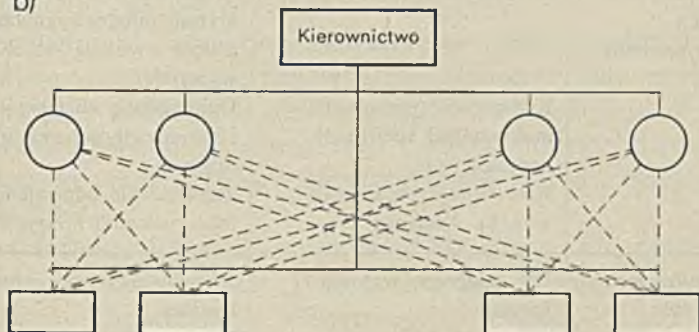
Centralizacja oznacza skupienie uprawnień do podejmowania decyzji na najwyższym szczeblu w strukturze hierarchicznej, podczas gdy elementy na szczeblach niższych pełnią funkcje wykonawcze. Decentralizacja kierowania polega na rozszerzeniu uprawnień decyzyjnych i zwiększeniu samodzielności (swobody decyzyjnej) elementów niższych szczebli.

\* H. Mreła: *Dyrektor jako organizator*. PWE, W-wa 1976 r.

a)



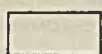
b)



c)



komórki funkcjonalne



komórki wykonawcze

#### 4.8. Podstawowe typy struktur organizacyjnych:

a — liniowa, b — funkcjonalna, c — sztabowo-liniowa (według H. Mreły: Dyrektor jako organizator, PWE, W-wa 1976)

Cechy centralizacji i decentralizacji kierowania

Charakter systemu kierowania	Przyczyny	Skutki
Centralizacja (ograniczenie uprawnień niższych szczebli)	Napięte zadania  Ograniczone środki  Kompletność informacji  Koniczność zachowania maksymalnej spójności organizacyjnej Koniczność zachowania jedności działania	Zwiększenie ilości informacji i rozbudowa systemu informacyjnego Wydłużenie czasu obiegu informacji i decyzji Możliwość wystąpienia arytmii między sygnałami z dołu i reakcją szczebli wyższych Ograniczenie inicjatywy i samodzielności szczebli niższych Zmniejszenie odpowiedzialności szczebli niższych
Decentralizacja (rozszerzenie uprawnień niższych szczebli)	Nie zakłócone warunki rozwoju	Rozwój inicjatywy i pomysłowości Wykorzystanie rezerw Zmniejszenie ilości informacji Skrócenie czasu obiegu informacji

Źródło: Czermiński A., Trzcieniecki J.: *Elementy teorii organizacji i zarządzania*. PWN, Warszawa 1973 r.

Przeciwstawienie: centralizacja — decentralizacja w systemie zarządzania gospodarką narodową prowadzi do pewnej sprzeczności: centralizacja dokonywać się może tylko kosztem decentralizacji (i vice versa); nie można więc jednocześnie wzmacniać planowania centralnego i samodzielności organizacji gospodarczych\*. Należy jednak wskazać na to, że teza o wzroście roli planowania centralnego nie musi oznaczać wzrostu centralizacji w tym sensie, że zwiększa się ilość i szczegółowość decyzji po-

\* J. Pajestka: *Sposób funkcjonowania gospodarki socjalistycznej*. Determinanty postępu, T. II, PWE, W-wa 1979 r.

dejmowanych centralnie. Natomiast doświadczenia wykazują, że im bardziej kierowanie centralne angażuje się w podejmowaniu decyzji w sprawach szczegółowych, tym bardziej grozi szczeblowi centralnemu osłabienie zdolności właściwego podejmowania decyzji rozwojowych, dotyczących całego systemu działania. Wydaje się, że wniosek ten może dotyczyć także systemów dowodzenia.

„Nie ma sensu centralizować dowodzenia w większym zakresie niż praktyczne możliwości dowódcy. Nadmierna centralizacja oznacza faktycznie beczynność, przełożony bowiem nie może zrealizować tego, czego pragnie, podwładny zaś został tak „scenarizowany”, że tylko czeka na zarządzenia”\*.

Doświadczenia społeczno-ekonomiczne ostatnich lat wskazują ponadto na konieczność zapewnienia demokratyzacji procesu decyzyjnego, z wszystkimi niezbędnymi konsekwencjami w dziedzinie przebudowy instytucjonalnej i systemu informacji społecznej. Oznacza to także kryzys autorytatywnych metod rządzenia i zarządzania\*\*.

Modelowanie systemowe procesów kierowania powinno umożliwić obiektywne badanie i formułowanie wniosków, a przede wszystkim kształtowanie efektywnych i racjonalnych systemów kierowania.

### 3. Analiza systemowa dowodzenia

„Dowodzenie stało się równie decydującym czynnikiem jak ilość i jakość broni, a stosunek poziomów dowodzenia nie mniej ważny niż stosunek środków bojowych”\*\*\*. Rozwój systemów dowodzenia jest jednym z podstawowych czynników rozwoju sił zbrojnych. Stymulatory tego rozwoju są zaś dwojakie:

— zewnętrzne, gdyż potencjalny przeciwnik doskonali swój system dowodzenia;

— wewnętrzne, gdyż postępuje ciągły rozwój środków walki, do których możliwości bojowych trzeba dostosowywać procesy dowodzenia.

\* M. Tuchaczewski: *Izbrannyje proizvedenija*. T. 2. Moskwa 1964 r.

\*\* J. Pajestka: *Polski kryzys lat 1980—1981*. KiW, W-wa 1981 r.

\*\*\* W. Kulikow w przedmowie do książki W. Drużynina i D. Kontorowa: *Woprosy woennoj sistemotechniki*. Moskwa 1976 r.

To złożone zjawisko wymaga stosowania nowoczesnych metod badawczych, umożliwiających efektywne sterowanie rozwojem systemów dowodzenia. Wśród potencjalnych metod zwraca uwagę metoda analizy systemowej, dzięki której możliwe staje się tworzenie racjonalnych modeli decyzyjnych. Modelowanie systemowe procesów dowodzenia powinno doprowadzić do rozwiązania podstawowych problemów analizy, oceny i syntezy. Problemy te określają „pole działania” współczesnej teorii dowodzenia. Ich rozwiązanie uwarunkowane jest postępowaniem w dziedzinie naukowego opracowania teoretycznych podstaw dowodzenia. Wśród podstawowych problemów na szczególną uwagę zasługują:

- problemy optymalizacji struktur systemów dowodzenia,
- problemy wyboru racjonalnych technicznych środków dowodzenia (łączności i informatyki),
- problemy doskonalenia metod organizacji pracy organów dowodzenia i podniesienia efektywności realizacji zadań bojowych,
- problemy doskonalenia metod szkolenia dowództw i sztabów,
- problemy racjonalizacji dokumentacji bojowej,
- problemy określenia kryteriów i metod oceny efektywności systemów dowodzenia.

Rozwiązanie powyższych problemów pozwoliłoby na stworzenie, z jednej strony — teoretycznej nadbudowy dowodzenia, odpowiadającej aktualnemu poziomowi rozwoju nauki, a nauki wojennej w szczególności; z drugiej strony natomiast — stworzone zostałyby narzędzia pozwalające na doskonalenie funkcjonujących systemów dowodzenia. Mówiąc o doskonaleniu systemów dowodzenia mamy na uwadze ukierunkowany świadomy proces rozwoju strukturalnego, funkcjonalnego, technicznego i kadrowego. Z metodologicznego punktu widzenia ukierunkowanie tego procesu polega bądź na dążeniu do przyrostu efektywności uzyskiwanego w wyniku każdej zmiany systemowej, bądź na dążeniu do stanu wyznaczonego przez przyjęty wzorzec (model) systemu „idealnego”.

Drugi typ postępowania bardziej odpowiada specyfice analizy systemowej, jednakże dotychczasowe wysiłki zmierzające do stworzenia takiego „wzorca” nie przyniosły wyraźnych rezulta-

tów. Być może jest to skutkiem niezadowalającego stanu teoretycznych podstaw dowodzenia i stosowanych metod badawczych.

Punktem wyjścia do podjęcia analizy systemowej procesów dowodzenia jest głębokie zrozumienie istoty dowodzenia na współczesnym polu walki, celów, zadań i funkcji organów dowodzenia, a także istoty przemian, jakie dokonywały się w sferze dowodzenia na przestrzeni wielu lat.

Powszechnie uważa się, że istotę dowodzenia w pełni oddaje następujące stwierdzenie:

„Dowodzenie wojskami sprowadza się do umiejętnego kierowania przez dowódców, sztaby i aparat polityczny podległymi pododdziałami, oddziałami, okrętami, związkami taktycznymi i operacyjnymi, do dokładnej organizacji działań bojowych wojsk i celowego ukierunkowania ich wysiłku na pomyślne wykonanie postawionych zadań. W czasie pokoju punkt ciężkości działalności dowódczej przenosi się na wszechstronne przygotowanie wojsk do ewentualnych działań bojowych, zapewnienia wysokiej gotowości bojowej, utrzymania wysokiej dyscypliny, porządku i sprawnej organizacji wojskowej” \*. Istota dowodzenia stanowi więc swoiste odbicie obiektywnych zjawisk i prawidłowości współczesnej walki zbrojnej, cech obecnego i przyszłego pola walki. Ogólny zasadniczy cel dowodzenia wojskami sprowadza się do tego, aby zapewnić rozbicie przeciwnika podległymi siłami i środkami w wymaganym (jak najkrótszym) czasie, przy optymalnej wielkości użytych sił i środków oraz minimalnych własnych stratach. Cel ten znajduje swoje odbicie w istocie walki zbrojnej jako działań, będących najjaskrawszą formą kooperacji negatywnej. Realizację tego celu powinien zapewniać system dowodzenia dostosowany do poziomu rozwoju środków walki oraz możliwości systemu dowodzenia przeciwnika.

System dowodzenia to taki system działania, który realizuje procesy informacyjno-decyzyjne, niezbędne do zapewnienia osiągnięcia zamierzonych celów działania (walki, bitwy, operacji) przez walczące wojska.

Spotykane jest również określenie, zgodnie z którym „system

\* A. Greczko: *Sily zbrojne państwa radzieckiego*. Wyd. MON, W-wa 1974 r.

dowodzenia stanowi uporządkowany zgodnie z zasadami sztuki wojennej zbiór dowództw \* wraz z technicznymi środkami dowodzenia, powiązanych pod względem funkcjonalnym, informacyjnym i technicznym, zapewniających wykonanie zadań bojowych (osiągnięcie celów walki, operacji)".

Struktura systemu dowodzenia odpowiada strukturze organizacyjnej sił zbrojnych (wojsk). Jest to typowa wielopoziomowa struktura hierarchiczna liniowo-sztabowa z wyraźnie wyodrębnionymi więziami organizacyjnymi i informacyjnymi. Charakteryzuje się dużym stopniem centralizacji procesów decyzyjnych.

Do najważniejszych zadań i czynności, które składają się na treść dowodzenia zalicza się:

- zdobywanie, zbieranie, opracowywanie i analizę danych o sytuacji,
- powzięcie decyzji i planowanie operacji (walki),
- przekazywanie zadań podwładnym,
- praca organizatorska w wojskach w celu ich wszechstronnego przygotowania do wykonania zadań bojowych,
- „bezpośrednie” dowodzenie w toku działań bojowych (walki, operacji),
- planowanie zabezpieczenia działań bojowych wojsk i kierowania nimi,
- organizację i prowadzenie pracy partyjno-politycznej,
- kontrolę wykonania postawionych zadań.

Zdobywanie, zbieranie, przesyłanie, przechowywanie, przetwarzanie i udostępnianie informacji dowództwom jest zadaniem systemu informacyjnego, który tworzą odpowiednie komórki sztabowe, organa rozpoznania i łączności. Celem systemu jest zaspokojenie potrzeb informacyjnych określonych organów dowodzenia, a w szczególności zapewnienie, w wymaganym czasie, niezbędnych informacji dowódcy — o sytuacji bojowej, stanie i działaniach wojsk własnych i nieprzyjaciela itp. Realizacja tego celu jest jednym z podstawowych warunków skutecznego dowodzenia na polu walki.

\* Przez dowództwo rozumie się dowódcę i organy dowodzenia, przy pomocy których dowodzi on podległymi wojskami.



Powzięcie decyzji i planowanie operacji (walki) jest przedsięwzięciem twórczym i najbardziej odpowiedzialnym z zadań stojących przed systemami dowodzenia. Decyzja jest aktem świadomych wyborów dowódcy, lecz aktem twórczo wspomaganym przez pracę całego sztabu. Istota powzięcia decyzji o operacji (działaniach bojowych, walce) polega na określeniu:

— zamiaru operacji (walki), np. w działaniach zaczepnych: określenie, jakiego nieprzyjaciela i w jakiej kolejności rozbić, określeniu kierunku skupienia głównego wysiłku, obiektów rażenia bronią jądrową i sposobów ich użycia, określeniu ugrupowania sił i środków oraz charakteru przewidywanego manewru itp.,

— konkretnych zadań bojowych podległym wojskom (oddziałom, pododdziałom),

— ustalenie zasad i sposobów współdziałania,

— organizacja zabezpieczenia bojowego (rozpoznanie, obrona przed bronią masowego rażenia, OPL OT, maskowanie, przeciwdziałanie radioelektroniczne, zabezpieczenie inżynieryjne, topograficzne, hydrometeorologiczne oraz zabezpieczenie tyłowe: materiałowo-techniczne i medyczne) działań,

— organizacja dowodzenia.

Można zatem powiedzieć, że podjęcie decyzji o operacji (walce) zawiera podstawowe elementy decyzyjne określone w zamiarze, które zostają konkretyzowane w postaci zadań bojowych stawianych konkretnym wykonawcom, a następnie szereg przedsięwzięć zabezpieczających ich realizację oraz działania koordynujące niezbędne dla osiągnięcia zamierzonego celu operacji (walki).

Uwagę skupimy tylko na trzech bardzo istotnych elementach decyzji do operacji (walki), a mianowicie: określeniu ugrupowania, wyborze kierunku głównego uderzenia i organizacji współdziałania.

Określenie optymalnego ugrupowania wojsk można traktować jako rozwiązanie problemu wyboru struktury systemu odpowiadającej celowi operacji (walki), a raczej restrukturalizacji systemu. Przyjęte ugrupowanie, jako pewna struktura systemu tworzącego stronę walczącą, powinno zapewnić optymalne wykorzystanie jego potencjału bojowego w procesie walki. Przyjęte ugru-

powanie powinno zapewnić, np.: uzyskanie przewagi nad nieprzyjacielem w wybranym miejscu i określonym czasie, szybkie ześrodkowanie sił i środków, efektywne współdziałanie i maskowanie, możliwości manewru itp. Wybór ugrupowania określają przyjęte zasady sztuki wojennej, jednakże wiąże się on z koniecznością odpowiedzi na takie pytania, jak np.:

— czy wojska należy ugrupować w jednym, czy w dwóch rzutach,

— jakie elementy systemu (oddziały, pododdziały) tworzyć będą poszczególne rzuty ugrupowania;

— jakie elementy systemu będą tworzyć odwód ogólny;

— jakie elementy systemu tworzyć będą ugrupowanie wojsk raketowych i artylerii, OPL;

— czy będą tworzone desanty, a jeśli tak, to jakie elementy systemu będą je tworzyć;

— jakie będą tworzone odwody specjalne i jaki będzie ich skład;

— czy będzie tworzona np. operacyjna grupa manewrowa, a jeśli tak, to jaki będzie jej skład itp.

Problem wyboru optymalnego ugrupowania, aczkolwiek związany ze stosunkowo małą liczbą dopuszczalnych wariantów rozwiązania, jest rozwiązywany „heurystycznie” przez dowódcę i sztab. Jest to problem systemowy, do rozwiązania którego mogą zostać wykorzystane nowoczesne narzędzia badawcze. Dla danego modelu walki (operacji) należy heurystycznie określić warianty ugrupowania, a następnie dla każdego wariantu, stosując metodę symulacji komputerowej, rozegrać walkę (dla przyjętego ugrupowania strony przeciwnej). Uzyskane wyniki badań pozwalają na wybór optymalnego ugrupowania lub przynajmniej na wyeliminowanie wariantów nieefektywnych.

Podobne badania systemowe mogą być prowadzone w celu wyboru kierunku głównego uderzenia dla danej operacji zaczepnej. Wybór kierunku głównego uderzenia, należący do podstawowych zasad sztuki wojennej, jest wynikiem wnikliwej analizy wszystkich elementów pola walki. „Główne uderzenie jest to działanie zasadniczego zgrupowania wojsk ześrodkowanych na kierunku mającym decydujące znaczenie w rozbiciu sił nieprzy-

jaciela. Na kierunku głównego uderzenia jest realizowany zasadniczy cel i zadania operacji (walki). Wybór kierunku głównego uderzenia w natarciu lub podczas wykonywania przeciwuderzenia stanowi osnowę decyzji dowódcy. Prawidłowy wybór kierunku głównego uderzenia w wielu przypadkach decyduje o sukcesie całej operacji (walki)”\*. W tym wypadku nie wolno popełnić błędu; wybór powinien być najlepszy, ponieważ od wyników natarcia prowadzonego przez główne zgrupowanie i od wyboru kierunku głównego uderzenia zależy sukces całej operacji. Przykładem znakomitego rozwiązania problemu może być operacja, w wyniku której została rozgromiona Armia Kwantuńska w 1945 r. Główne uderzenie było wykonane na kierunkach, na których dowództwo japońskie ich zupełnie nie oczekiwało: 6 Armia Gwardyjska — przez Wielki Chingan, a siły 1 Frontu Dalekowschodniego — przez szczyty górskie, uważane za niedostępne, tajgę oraz grzędzawiska. Należy dodać, że doświadczenia drugiej wojny światowej wskazują, iż strona nacierająca nie zawsze miała swobodę wyboru kierunku głównego uderzenia (np. operacja wiślańsko-odrzańska Armii Radzieckiej w styczniu 1945 r., ofensywa na Rzym 15 Grupy Armii w maju 1944 r.\*\*). Niekiedy zaś rezygnacja z panujących poglądów może stanowić punkt wyjścia dla heurystycznych, twórczych poszukiwań — np.: w operacji białoruskiej (czerwiec 1944 r.) front wykonywał dwa główne uderzenia, w operacji berlińskiej (kwiecień 1945 r.) zdecydowano wykonać uderzenie na głównym kierunku w nocy, co pozwoliło ukryć kierunek głównego uderzenia i zapewnić niespodziewane przejście do natarcia.

Rozwiązanie problemu wyboru kierunków głównego uderzenia we współczesnych warunkach znacznie się komplikuje w związku z możliwościami użycia broni jądrowej. Uderzenia jądrowe pozwalają na zadanie w ciągu krótkiego czasu porażki każdemu zgrupowaniu nieprzyjaciela, a także umożliwiają rozgromienie przeciwnika na kierunkach nie stopniowo, lecz od razu na całą

\* *Kratkij slowar operatiwno-takticeskich i obscewojennych slow (terminow)*. Moskwa 1958 r.

\*\*A. Karpiński: *Wybór kierunku głównego uderzenia w operacjach zaczepnych drugiej wojny światowej* (1939—1945 r.). *Myśl Wojskowa*, nr 4, 1980 r.

głębokość jego zgrupowania. Jednakże uważa się nadal, że również w warunkach użycia broni jądrowej potrzeba zmasowania sił i środków na kierunkach głównych zachowuje swą aktualność, jako warunek konieczny do osiągnięcia zwycięstwa.

Wyrazem realizacji systemowej zasady koordynacji w decyzji do operacji (walki) jest organizacja współdziałania. Istota tak rozumianego współdziałania wynika z ogólnego pojęcia współdziałania (kooperacji), czyli takiego „działania wielopodmiotowego, którego uczestnicy wzajemnie sobie pomagają”. Współdziałanie oznacza wspólne działanie dla wspólnych celów, które mogą być bądź zespołowe, bądź podzielone. Może to nastąpić na drodze podziału pracy, którą rozkłada się na podobne lub niepodobne zadania\*. Niewątpliwie współdziałanie jest systemową cechą walki (operacji), a organizacja współdziałania — procesu dowodzenia. Z tych powodów nie wydaje się konieczne wyróżnianie w decyzji operacji (walki) organizacji współdziałania jako osobnego jej elementu, gdyż analiza możliwości współdziałania poszczególnych elementów systemu (ugrupowania) determinuje poszczególne elementy decyzji\*\*. Zapewnienie współdziałania w toku walki jest jednym z podstawowych zadań organów dowodzenia, które może być osiągnięte dzięki operatywnym decyzjom koordynującym działania poszczególnych elementów systemu walczącego.

Z powyższych powodów współdziałanie może być przedmiotem analizy systemowej, dzięki czemu możliwa staje się analiza i ocena efektywności współdziałania\*\*\*. Z kolei, efektywność współdziałania jest jednym z zasadniczych elementów efektywności systemu dowodzenia. Uważa się, że aby móc dokonać oceny różnych wariantów walki (operacji), trzeba przyjąć takie kryteria oceny, które wynikają z celu współdziałania. Takim kryterium może być stosunek efektu uzyskanego przez współdziałające elementy ugrupowania, traktowanego jako system, do sumy efektów działań poszczególnych elementów ugrupowania

\* T. Pszczołowski: *Mała encyklopedia prakseologii i teorii organizacji*. Ossolineum, W-wa 1978 r.

\*\* Zob. także L. Kuleszyński: *O istocie współdziałania i jego organizacji we współczesnych warunkach*. MW, nr 11, 1979 r.

\*\*\* P. Karteniczew, W. Tarabanow: *Ocena efektywności współdziałania*. MW, nr 5, 1980 r.

$$E_{wsp_i} = \frac{E_i}{\sum_{j=1}^n e_j}$$

gdzie:  $E_i$  — efekt uzyskany przez współdziałające elementy w  $i$ -tym wariancie ugrupowania,  
 $e_j$  — efekt uzyskany przez  $j$ -ty element ugrupowania w warunkach braku współdziałania.

Wskaźnik oceny efektywności wyraża, ile razy łączny efekt współdziałających elementów ugrupowania jest większy (mniejszy) od sumy efektów osiąganych przez te elementy, gdy nie współdziałają one ze sobą. Można także powiedzieć, że efektywność współdziałania wyraża stopień kompensacji słabych stron jednego ze współdziałających zgrupowań przez silne strony drugiego zgrupowania. Zwróćmy uwagę na związek efektywności współdziałania ze zjawiskiem synergii\*, które jest przedmiotem interesujących badań naukowych\*\*. Według propozycji T. Kotarbińskiego „synergia będzie wtedy i tylko wtedy, gdy podmioty działające, jeśli współdziałają osiągną więcej, niż jeśli działają każdy z osobna”. A zatem można przyjąć, że różnica

$$\sigma_i = E_i - \sum_{j=1}^n e_j > 0$$

wyraża wielkość efektu synergii  $i$ -tego ugrupowania.

Chwila powzięcia decyzji rozpoczyna proces planowania operacji (walki), czyli określania kolejności i sposobów wykonania zadań postawionych wykonawcom (oddziałom, pododdziałom), ustalenie sposobów współdziałania i wszechstronnego zabezpieczenia działań bojowych. Plan operacji to decyzja dowódcy i plany współdziałania, wykorzystania rodzajów wojsk i służb, zabezpieczenia działań, rozmieszczenia, przesunięcia i ochrony elementów systemu dowodzenia (stanowisk dowodzenia), plan łączności itp.

Z formalnego punktu widzenia, plan jest systemem zadań, gdyż wskazuje się w nim cele, które chcemy osiągnąć, nakazując środki, które podwładni mają zastosować, przewidując okolicz-

\* Od greckiego — współdziałanie.

\*\* H. Haken: *Synergetics*. New York 1978 r. (tłum. ros. 1980 r.).

ności istotne dla realizacji celu \*. Plan formułuje się określając, w szczególności następujące elementy:

- 1) zadanie („zamierzam, aby ...”);
- 2) rozwiązanie — część imperatywna („nakazuję, aby ...”);
- 3) rozwiązanie — część predykcyjna („przewiduję, że ...”);
- 4) baza teoretyczna („stwierdzam, że dla wszystkich ...”).

Wyjaśnijmy, że baza teoretyczna w planie oznacza zbiór tych wszystkich przesłanek ogólnych, które są potrzebne, łącznie z rozwiązaniem planu, do wydedukowania każdego z zadań należących do zadania planu. Dobry plan, to ten z wewnętrznie niesprzecznych i wykonalnych planów, który najbliższy jest pełnej realizacji celów przyświecających organom planowania. „Nie ma więc planu dobrego in abstracto — optymalizacja jest oceną w ramach danego zespołu celów. Ponadto jest ona zawsze dokonywana nie w warunkach absolutnej wiedzy, lecz mniej czy więcej ograniczonego zasobu informacji. I w tym więc również sensie żaden plan nie jest absolutnie doskonały” \*\*.

Po rozważaniach dotyczących materialnych niejako rezultatów dowodzenia, a w szczególności podejmowania decyzji, przejdźmy do uwag poświęconych pewnym mechanizmom, prowadzącym do tych rezultatów. Uwagi te wiążą się z analizą konfliktu jako zjawiska wyrażającego istotę walki zbrojnej. Decyzje i plany uczestników konfliktu — stron walczących — z reguły są niedostępne przeciwnikom. Z tych powodów interesującym przedmiotem analizy stają się „sposoby rozumowania” przeciwników, które charakterystyczne są dla tzw. kierowania refleksyjnego („odbiciowego”, „odruhowego”)\*\*\*. Przeciwnicy podejmują bowiem decyzje opierając się nie tylko na rzeczywistości, ale również na tych jej obrazach, które odzwierciedlają się w ich umysłach i wypełniają ich świat wewnętrzny. Kierowaniem refleksyjnym nazywa się proces przekazywania przez jednego z przeciwników podstaw do podejmowania decyzji przeciwnikowi

\* H. Greniewski: *Sprawy wszystkie i jeszcze inne*. KiW, W-wa 1970 r.

\*\* Cz. Bobrowski: *Planowanie gospodarcze*. WP, W-wa 1981 r.

\*\*\* W. Lefewr, G. Smolan: *Algebra konfliktu*. [W:] Tak i nie. Sprzeczność, alternatywa i decyzja. KiW, W-wa 1973 r.

drugiemu. Rozpatrzmy kilka przykładów kierowania refleksyjnego:

1) kierowanie za pomocą przekazywania fałszywej informacji o miejscu działań (dać przeciwnikowi najzupełniej konkretną informację, a nie likwidować dopływu informacji w ogóle, np. rzekoma koncentracja wojsk — maskowanie);

2) kierowanie za pomocą kształtowania celu działania przeciwnika (prowokacja, kształtująca w umyśle przeciwnika najzupełniej określony cel);

3) kierowanie za pomocą kształtowania koncepcji przeciwnika („nabieranie” na określoną metodę działania, utrwalające przekonanie, że jest to metoda standardowa);

4) kierowanie za pomocą przekazywania decyzji („podpowiadanie” fałszywej odpowiedzi na podstawowe pytanie dotyczące wyboru działania);

5) kształtowanie celu działania za pomocą przekazywania obrazu miejsca działania (np. osłabianie skrzydła swojego ugrupowania w taki sposób, aby przeciwnik mógł to odzwierciedlić na swojej mapie);

6) kierowanie za pomocą przekazania przeciwnikowi jak gdyby swojego spojrzenia na miejsce działania (np. podrzucenie przeciwnikowi odpowiedniej dokumentacji potwierdzającej, że obiekty fałszywe uznano za prawdziwe, choć w rzeczywistości stwierdzono ich prawdziwość);

7) kierowanie za pomocą wytwarzania w przeciwniku przeświadczenia o sposobie działania (wykonanie manewru sugerującego oskrzydlenie przeciwnika na prawym skrzydle, gdy w rzeczywistości uderzenie wykonywane jest na lewym skrzydle);

8) kierowanie za pomocą przekazywania informacji sugerującej stosowany mechanizm wyboru działania w sytuacji wielowariantowej;

9) kierowanie za pomocą „potencjalizacji” \* (np. koncentruje się artylerię nie w celu przeprowadzenia ataku, lecz po to, aby przeciwnik musiał dojść do wniosku, że zamierza się przeprowadzić atak);

\* Według T. Kotarbińskiego: „Potencjalizacja polega na tym, że się osiąga swoje nie przez wykonanie danego działania, lecz przez stworzenie lub ukazanie jego możliwości” („Traktat o dobrej robocie”).

10) kierowanie poprzez „neutralizację dedukcji przeciwnika” (aranżowane jest miejsce akcji tak, aby implikowało kilka równie prawdopodobnych celów, wśród których „kryje się” cel rzeczywisty)\*;

11) kierowanie przeciwnikiem, który uprawia kierowanie refleksyjne (imitowanie nie tylko procedury podejmowania decyzji, ale również samego procesu refleksyjnego kierowania, np. łatwiej jest wciągnąć przeciwnika w zasadzkę wówczas, gdy opiera się na błędach w rozumowaniu przeciwnika, usiłującego również zastawić zasadzkę);

12) kierowanie przeciwnikiem, którego koncepcją podejmowania decyzji jest teoria gier („nieuczciwa” gra, w sensie teorii gier, jako „uczciwe” kierowanie refleksyjne).

W warunkach konfliktu zbrojnego prowadzenie walki psychologicznej — przekazywanie odpowiednich podstaw do podjęcia decyzji zbiorowej, za pomocą ulotek, propagandy radiowej itp. jest oczywistą formą kierowania refleksyjnego. W sytuacjach konfliktowych trzeba brać pod uwagę możliwość naruszenia wszelkich reguł, jeżeli może to zapewnić osiągnięcie zamierzonych przez przeciwnika celów.

Drużynin i Kontorow analizują cztery podstawowe typy zadań wymagających podjęcia decyzji operacyjnych (tabela 4.2), koncentrując uwagę na metodach ich rozwiązania i możliwościach wykorzystania komputerów\*\*. Rozpatrywane są następujące metody:

1) metoda przekształceń, polegająca na przekształcaniu jednego zadania w inne, które jest bardziej znane i przystępne;

2) metoda wydzielania cech, polegająca na formowaniu kilku

\* Omawiając amerykańską wojnę secesyjną Liddel Hart („Strategia. Działania pośrednie”, Wyd. MON, 1959 r.) pisze: „...Sherman podjął działania na pozornym kierunku, pomiędzy dwoma alternatywnymi celami, tak że jego przeciwnicy, nie mogąc zdecydować się, czy mają osłaniać Augustę czy Charleston, podzielili swe siły. Wówczas Sherman ominął te punkty i zajął Kolumbię — stolicę Południowej Karoliny i najważniejszy ośrodek zaopatrzenia Lee, pozostawiając konfederatów w niepewności co do tego, co będzie jego następnym celem — Charlotte czy Fayetteville”.

\*\* W. Drużynin, D. Kontorow: *Metodyka rozwiązywania zadań przy użyciu środków automatyzacji*. Przegląd Informacyjny, nr 10, ASG WP, 1971 r.



Typy zadań operacyjnych (przykład)

Typ badania	Wiadome	Znane	Należy określić
I	— reguły określania stosunku sił, — reguły oceny efektywności walki	— stan wojsk własnych i nieprzyjaciela, — cel walki	— optymalny SPOSÓB działań wojsk własnych
II	— reguły określania stosunku sił, — reguły oceny efektywności walki	— stan wojsk własnych i nieprzyjaciela, — sposób działania wojsk własnych	— WYNIK walki
III	— reguły określania stosunku sił, — reguły oceny efektywności walki	— stan wojsk własnych i nieprzyjaciela, — warunki ograniczające	— optymalny CEL walki, — optymalny SPOSÓB działania wojsk własnych
IV	— reguły określania stosunku sił, — reguły oceny efektywności walki	— cel walki, — stan wojsk nieprzyjaciela, — warunki ograniczające	— wymagany STAN wojsk własnych, — optymalny SPOSÓB działania wojsk własnych

wariantów wydzielenia najistotniejszych cech zadania; każdy wariant pozwala więc sformułować zadanie w inny sposób;

3) metoda dekompozycji, polegająca na wyróżnieniu w zadaniu głównym zadań cząstkowych mniej skomplikowanych od zadania głównego;

4) metoda odwracania zadania, polegająca na tym, że wysuwa się hipotezę o pożądanym wyniku rozwiązania i poszukuje się sposobu otrzymania tego wyniku; jeżeli taki sposób nie istnieje, to hipotezę uważa się za błędną i poszukiwanie jest powtarzane;

5) metoda analogii, polegająca na syntezie zadania podobnego, którego wynik jest znany lub możliwe jest jego otrzymanie.

Oczywiście trudno jest uznać, że jest to pełny zestaw metod, potencjalnie stosowanych w procesie dowodzenia. Aby móc

podjąć konstruowanie metody, potrzebna jest rozległa praktyka w rozwiązywaniu zadań, uzupełniona o namysł zmierzający do rozumienia charakterystycznych cech rozwiązań oraz — podejmując konstruowanie metody trzeba, tak jasno i wyraźnie, jak tylko to można, określić cechy zadań, do których będzie miała ona zastosowanie\*. Konstruowanie metod rozwiązywania zadań decyzyjnych, które mogą wystąpić w systemach dowodzenia podczas prowadzenia działań bojowych (operacji, walki), należy z pewnością do podstawowych zadań współczesnej teorii dowodzenia. W tym też należy dostrzegać możliwości praktyczne tkwiące w podejściu systemowym do procesów dowodzenia.

Każdy współczesny system dowodzenia powinien spełniać ogólne wymagania wynikające z rozmachu i dynamiki współczesnego pola walki. Spełnienie tych wymagań konkretyzuje się w systemowych cechach takich, jak:

1) gotowość, czyli zdolność utrzymywania w stanie wysokiej sprawności wszystkich elementów systemu dowodzenia, wyrażającej możliwość działania w różnych warunkach bojowych;

2) operatywność, czyli terminowe i zdecydowane reagowanie na wszystkie zmiany sytuacji w warunkach wykonywania przez wojska postawionych zadań, dzięki: szybkiemu zbieraniu i przetwarzaniu danych o sytuacji, podejmowaniu decyzji w pożądanym czasie, terminowemu przekazywaniu zadań bojowych wojskom i organizowaniu działań bojowych;

3) jakość realizowanych przedsięwzięć, na którą składają się: obiektywność oceny sytuacji oraz trafność podejmowanych decyzji, umiejętne wcielanie w życie przyjętych rozwiązań, stosowanie efektywnych metod organizacji pracy, planowania i podejmowania decyzji;

4) żywotność, czyli zdolność do realizacji zadań w warunkach zakłóceń procesów informacyjno-decyzyjnych, którą zapewnia niezawodność pracy zespołów ludzkich i technicznych środków dowodzenia, odporność na działanie środków rażenia i walki radioelektronicznej przeciwnika, możliwość szybkiego odtwarzania utraconych zdolności działania itp.;

\* A. Góralski: *Uwagi o konstruowaniu metod heurystycznych*. [W:] Zadanie, metoda, rozwiązanie. T. 3, WNT, W-wa 1980 r.

5) skrytość, czyli maskowanie systemu dowodzenia i utrzymywanie w tajemnicy realizowanych przedsięwzięć.

Aby system dowodzenia spełniał wymagania współczesnego pola walki, musi go cechować odpowiednio wysoki poziom wartości podstawowych cech systemowych. Taki system dowodzenia nazywać będziemy efektywnym. Efektywność systemu dowodzenia to ogół jego zdolności do zapewnienia wykonania zadań bojowych w nakazanych terminach oraz przy najmniejszym nakładzie sił i środków. System dowodzenia jest więc efektywny, gdy wojska wykonały postawione zadania w nakazanym czasie, zachowały zdolność bojową i mogą z powodzeniem kontynuować działania bojowe\*.

Wśród wskaźników oceny efektywności systemów dowodzenia zwracają uwagę\*\*:

— prawdopodobieństwo sukcesu — wykonania zadania bojowego przez wojska zgodnie z wymaganiami nadrzędnego organu dowodzenia;

— względne oczekiwane straty w walce (operacji);

— wskaźnik gotowości operacyjno-technicznej systemu;

— prawdopodobieństwo wykonania zadania bojowego w wymaganym czasie;

— prawdopodobieństwo terminowego przetwarzania informacji niezbędnych dla skutecznego dowodzenia (lub wartość informacji);

— wskaźnik zapobiegania uderzeniom broni jądrowej nieprzyjaciela.

Ogólnie biorąc, proces oceny efektywności systemu dowodzenia jest procesem wielokryterialnym. Nie istnieje jedno globalne kryterium oceny, które uwzględniałoby wszystkie podstawowe aspekty systemu dowodzenia.

Problem oceny efektywności systemów dowodzenia jest jednym z podstawowych problemów teorii dowodzenia\*\*\*. Konieczne są bowiem narzędzia badawcze, które pozwalałyby na:

— ocenę efektywności dowodzenia w działaniach bojowych

\* D. Iwanow i inni, wyd. cyt.

\*\* P. Sienkiewicz: *Wybrane problemy oceny efektywności systemów dowodzenia*. ASG WP, 1981 r.

\*\*\* P. Sienkiewicz: *Teoria efektywności systemów kierowania*. T. 2, ASG WP, 1979 r.

- (operacjach) lub określenie stopnia zgodności tworzonych systemów dowodzenia z możliwościami bojowymi podległych wojsk;
- ocenę efektywności wprowadzanych przedsięwzięć, zmierzających do doskonalenia i rozwoju systemów dowodzenia;
  - ocenę stanu systemów dowodzenia po zmasowanym uderzeniu nieprzyjaciela;
  - ocenę porównawczą różnych systemów dowodzenia (w tym nieprzyjaciela)\*.

Podkreślmy, że metody i kryteria oceny efektywności systemów należą do podstawowych narzędzi inżynierii systemów i analizy systemów. Analiza i ocena efektywności systemów dowodzenia stanowi jeden z głównych rezultatów analizy systemowej procesu dowodzenia\*\*.

#### 4. Zakończenie

Analiza systemowa procesów kierowania prowadzi m.in. do identyfikacji pewnych barier istniejących niekiedy w systemach kierowania. Wykorzystując przyjęty model systemu kierowania (rys. 4.2) można wyróżnić relacje, które mogą przynieść zjawiska negatywne, hamujące lub wręcz blokujące postęp organizacyjny w systemach. Są to następujące relacje:

- a) relacje „pionowe”: decydent — centrum, decydent — realizator, informator — centrum, informator — realizator;
- b) relacje „poziome”: decydent — decydent, informator — informator, decydent — informator, informator — otoczenie, realizator — realizator.

Analiza systemowa podstawowych relacji pozwala sformułować ogólne wnioski:

- 1) relacje systemowe („pionowe” i „poziome”) zawierają czynniki „barierotwórcze”, które mogą być przyczyną powstawania w organizacjach barier systemowych hamujących wzrost efektywności kierowania;
- 2) czynniki „barierotwórcze” mogą mieć charakter psychospo-

\* P. Altuchin, wyd. cyt.

\*\* P. Sienkiewicz: *Efektywność działania* (w przyg.).

łeczny, kompetencyjny, polityczny, informacyjny, techniczny itp.;

3) systemy kierowania są reformowalne, zaś pokonanie barier systemowych w organizacjach jest warunkiem efektywnego kierowania;

4) badanie relacji systemowych w organizacjach i poszukiwanie środków zabezpieczających przed powstawaniem barier systemowych prowadzących do patologii struktur i procesów jest głównym zadaniem inżynierii systemów kierowania;

5) inżynieria systemów kierowania powinna dostarczać metod badania (analizy, oceny i syntezy) i projektowania racjonalnych i efektywnych systemów kierowania, co w szczególności jest równoznaczne z kształtowaniem racjonalnych relacji systemowych.

Formułując ogólne determinanty efektywności systemów kierowania sięgniemy do czynników warunkujących, zdaniem J. Kornai<sup>\*</sup>, efektywność organizacji gospodarczych. Jako ogólne determinanty przyjmujemy następujące:

1. Ciągła analiza i ocena efektywności działania każdej organizacji (konieczność systematycznego prowadzenia rachunku „kosztów i wyników” w każdej organizacji).

2. Optymalizacja wyboru i wykorzystania środków działania (w szczególności — racjonalne zagospodarowywanie trudno dostępnych i drogich surowców).

3. Zdolność organizacji do adaptacji (elastyczność działania organizacji i dostosowywanie się do aktualnych sytuacji i warunków zewnętrznych, a także zdolność zaprzestania działań nieefektywnych).

4. Zdolność podejmowania działań ryzykownych i innowacyjnych (decydenci powinni wykazywać inicjatywę w kierunku wprowadzenia innowacji, podejmować decyzje w sytuacjach ryzykownych).

5. Kompetencje i odpowiedzialność decydentów (każdy decydent powinien ponosić osobistą odpowiedzialność za swoje decyzje i działania wchodzące w zakres jego obowiązków).

Powyższe wnioski — determinanty efektywności systemów kierowania wydają się mieć charakter uniwersalny, oczywisty na

<sup>\*</sup> J. Kornai: *Antiequilibrium*. Teoria systemów gospodarczych. PWN, W-wa 1973 r.

gruncie analizy systemowej procesów kierowania. Dotyczą zatem w jednakowym stopniu zarówno systemów zarządzania, jak i systemów dowodzenia.

W systemach wojskowych szczególne znaczenie należy przypisać tym modelom kierowania, które uwzględniają mechanizmy podejmowania decyzji w warunkach niedeterministycznych i przy niepełnej informacji. Do takich modeli należy z pewnością zaliczyć modele systemów adaptacyjnych i tzw. rozgrywających\*.

Efektywność kierowania w omawianych warunkach określają następujące warunki: stopień stacjonarności sterowanych procesów i zjawisk w otoczeniu systemu oraz stopień identyfikacji tych procesów i zjawisk. Ze względu na brak stacjonarności procesów w systemach walki pełna identyfikacja ich nie wydaje się możliwa, a zatem sterowanie odbywać się będzie zapewne w warunkach braku pełnej informacji. Stąd zasadnicze znaczenie ma wyposażenie systemu kierowania w mechanizmy adaptacyjne, tzn. w zdolność efektywnego funkcjonowania w warunkach niestacjonarnych. Mechanizm adaptacyjny powinien zapewniać stabilność systemu decyzyjnego, tj. utrzymywanie istotnych cech tego systemu w granicach uznanych za dopuszczalne. Ogólnie wyróżnia się dwie klasy układów adaptacyjnych: pierwsza — obejmuje układy bierne w stosunku do otoczenia, tj. takie, które na podstawie obserwacji systemu sterowania i/lub jego otoczenia generują sygnały prowadzące do zmian struktury tego systemu, lecz, które nie mogą zmieniać w sposób celowy struktury otoczenia, natomiast druga klasa obejmuje układy czynne w stosunku do otoczenia, tj. takie, które na podstawie obserwacji generują sygnały prowadzące do zmian struktury systemu i/lub celowych zmian struktury jego otoczenia\*\*.

Właściwie to tylko ludzie jako systemy działające celowo obdarzeni są dużą zdolnością dostosowywania się do zmian środowiska i otoczenia. A zatem w miarę, jak maleje udział człowieka w procesie sterowania, zmniejsza się stopień adaptacji systemu. Pewne minimalne cechy adaptacyjne mają układy nadążne stosowane

\* R. Staniszewski: *Rozwój systemów projektowania*, PAN — Ossolineum, Warszawa 1981 r.

\*\* P. Jędrzejowicz: *Wybrane modele decyzyjne w produkcji i eksploatacji*. WKiŁ, Warszawa 1981 r.

w systemach sterowania pocisków raketowych. Większy stopień adaptacji mają systemy sterowania rozgrywającego.

Sterowanie rozgrywające ma charakter etapowy, a główną zasadą działania jest formowanie decyzji na podstawie porównania możliwych rozwiązań. Ogólny schemat algorytmu sterowania rozgrywającego jest następujący:

1. System przyjmuje nowy zestaw informacji.
2. System określa zestaw odpowiednich wariantów reakcji systemu.
3. Według przyjętego dla systemu kryterium efektywności następuje ocena wybranych wariantów oraz wybór wariantu, dla którego kryterium przyjmuje wartość ekstremalną.
4. Na podstawie wybranego wariantu opracowana zostaje strategia działania.
5. Na podstawie strategii podejmowana jest decyzja, która oddziałuje na proces.
6. System kontroluje przebieg procesu sterowania.

## Systemy walki

„Przewidzieć klęskę, gdy wojsko jeszcze bitwy nie rozpoczęło — oto prawdziwa znajomość sztuki wojennej”

(SY-MA-C'IEN, w. II p.n.e.)

„Wierzę, że ludy będą uprawiać w przyszłości jeno dzieła pokoju, a zwiastunem tego ogólnego uśmierzenia wojen w wiekach następnych są mi wzrastające coraz to bardziej zbrojenia. Armie zwiększają się nieustannie liczebnie i rośnie ich potęga. Niedaleki czas, kiedy całe ludy rzucone zostaną w paszczę tego Molocha, a wówczas potwór zdechnie z przejedzenia, pięknie, utywszy nad miarę”.

(Anatol FRANCE)

### 1. Wprowadzenie

Pojęcie walki należy z pewnością do pojęć najpopularniejszych, znajdujących się w słownikach wielu różnych dziedzin i dyscyplin. Ale też i walka jest jednym z tych zjawisk, które występują nader często w przyrodzie i życiu społecznym. Nadal spotykamy takie wyrażenia, jak: „walka z przyrodą” lub „walka z żywiołem”, „walka z kryzysem”, „walka o byt”, „walka o pokój”, „walka o niepodległość”, „walka klasowa” itp. Do walki zalicza się, nierzadko, gry, spory, dyskusje, współzawodnictwo między pojedynczymi osobami i między grupami.

Walka jest interesującym przedmiotem zarówno refleksji filozoficznej, jak i twórczości artystycznej, ale także badań naukowych. Najogólniejsze rozważania na temat walki znajdujemy w prakseologii, w skład której wchodzi ogólna teoria walki\*. Rozważania bardziej już szczegółowe odnajdziemy również w cybernetyce\*\*, a przede wszystkim — nauce wojennej. T. Kotarbiński pisze: „Jan walczy z Piotrem, ilekroć dążą oni do celów

\* T. Kotarbiński: *Traktat o dobrej robocie*. PWN, W-wa 1965 r. oraz: *Z zagadnień ogólnej teorii walki*. [W:] Wybór pism, t. I, PWN, W-wa 1957 r.

\*\* J. Konieczny: *Cybernetyka walki*. PWN, W-wa 1970 r.



niezgodnych, wiedzą o tym i dlatego w działaniach swych liczą się z działaniami przeciwnika”.

W walce militarnej (zbrojnej) „...głównym tworzywem działającego jest jego przeciwnik oraz narzędzia, którymi przeciwnik się posługuje. Jednym zaś z celów pośrednich działającego jest zniszczenie przeciwnika, jak i jego narzędzi. Ściślej: przetworzenie przeciwnika z rzeczy ożywionej na rzecz nieożywioną bądź — przy pozostawieniu go przy życiu — długotrwałe pozbawienie go zdolności do walki oraz uczynienie narzędzi przeciwnika niezdatnymi do użytku również przez okres długotrwały”\*.

J. Konieczny stwierdza, że istotnym elementem walki jest to, iż jest ona relacją między dwiema stronami — uczestnikami walki. Każda ze stron musi spełniać warunki uczestnictwa w walce, między innymi następujące:

a) cel, który strona realizuje, jest wspólnym celem wszystkich obiektów do niej należących;

b) strona winna zawierać co najmniej jeden obiekt, który należy do klasy niszcycieli co najmniej jednego obiektu nie należącego do strony;

c) obiekty należące do tej samej strony nie niszczą się wzajemnie.

Każda ze stron walczących realizuje dwa podstawowe działania, a mianowicie:

— niszczenie obiektów przeciwnika, polegające na obniżaniu jego zdolności do działania (realizowane przez elementy niszczące lub rażące);

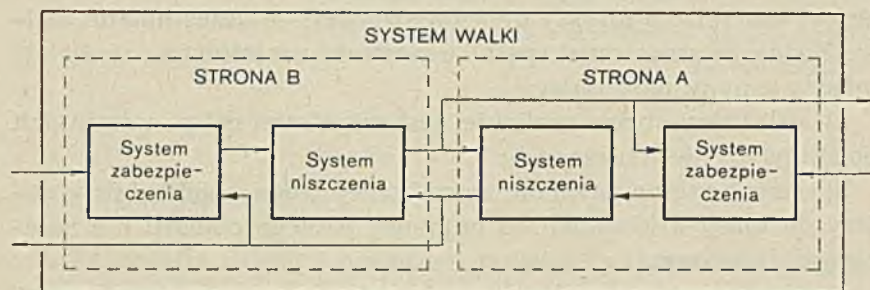
— zabezpieczenie, polegające na stwarzaniu możliwości działania innym obiektom danej strony, np. elementom niszczącym.

Niszczenie jest procesem realizowanym przez system niszczenia, zaś zabezpieczenie jest procesem realizowanym przez system zabezpieczenia. Każda ze stron walczących jest systemem działania tworzoną przez dwa podsystemy: system niszczenia i system zabezpieczenia.

Na podstawie powyższych ustaleń przyjmujemy, że walka jest procesem realizowanym w systemie walki. System walki jest takim systemem działania, który tworzą dwa podsystemy —

\* J. Rudniański: *O pojęciu walki*. Prakseologia, nr 1 (65), 1978 r.

strony walczące, pomiędzy którymi występuje relacja kooperacji negatywnej (rys. 5.1). Obok walki zbrojnej, której istotą jest proces destrukcyjnego oddziaływania energetycznego (niszczenie), wyróżnia się pojęcie walki informacyjnej, czyli proces destrukcyjnego oddziaływania informacyjnego\*. Współczesną walkę charakteryzuje występowanie procesów walki informacyjnej obok, a może raczej na równi, z procesami niszczenia. Elementem walki informacyjnej może być „niszczenie psychiczne”, którego celem jest „destrukcyjne działanie na psychikę człowieka” (w postaci tzw. walki psychologicznej).



5.1. Ogólny model systemu walki

Stosunek wojny jako zjawiska społecznego do walki zbrojnej jest jednym z najważniejszych problemów nauki wojennej. „Z marksistowsko-leninowskiego pojmowania istoty wojny wynika, że wojna to przede wszystkim walka o osiągnięcie tych politycznych celów, które zakładane były w okresie pokoju; wojna, po drugie, ma charakter klasowy, bowiem jest kontynuacją polityki określonych klas; wreszcie po trzecie — wojna jest kontynuacją polityki w formie walki zbrojnej\*\*.

Powyższe ujęcie zjawiska wojny jest zbieżne ze znanym ujęciem Clausewitza („wojna jest kontynuacją polityki innymi środkami”).

Z doświadczeń historycznych wynika, że zwycięstwo w wojnach osiągane było bądź w wyniku całkowitego rozgromienia sił

\* Walka informacyjna może być elementem tzw. kierowania refleksyjnego (zob. rozdział czwarty).

\*\* W. Waskalów: *O sootnoszenii wojny kak obszczestwiennogo jawlenija i woorużonnoj borby*. *Kommunist Woorużennych Sił*, nr 1, 1971 r.

zbrojnych jednej ze stron walczących, bądź w wyniku żywotnego naruszenia ekonomicznych, moralnych i politycznych sił przeciwnika, chociaż siły zbrojne nie zostały jeszcze rozbite. Wynik wojny oraz jej następstwa świadczą o sile lub słabości instytucji oraz ustroju każdego narodu\*.

Z cybernetycznego punktu widzenia wojną jest wzajemne oddziaływanie co najmniej dwóch systemów — stron walczących, które stanowią siły zbrojne, zasilane przez zaplecze oraz dowodzone przez kierownictwo (polityczne i wojskowe). Wojną „gorącą” nazwiemy oddziaływanie systemów w sytuacji konfliktowej wtedy i tylko wtedy, gdy systemy równocześnie oddziałują na siebie zasileniowo (energetycznie) i informacyjnie. Gdy oddziaływanie to ma tylko charakter informacyjny, to będziemy mówić o „zimnej” wojnie.

O naturze wojny tak pisał Clausewitz \*\*: „Ponieważ różnorodność i nieokreślone granice wszelkich stosunków zmuszają do rozpatrywania ogromnej ilości czynników, których wielkość można przeważnie ocenić tylko według norm prawdopodobieństwa, przeto, gdyby działający nie objął tego wszystko wzrokiem ducha wyczuwającego wszędzie prawdę, to powstałby taki splot rozważań i względów, że żadnego sądu nie można by było z niego wyprowadzić. W tym znaczeniu Bonaparte wyraził się zupełnie słusznie, że wiele decyzji, jakie wódz musi powziąć, mogłoby stanowić zadanie matematyczne, godne sił Newtona czy Eulera”.

Odczytując współcześnie słuszny pogląd Napoleona i Clausewita dodajmy, że wspomniane zadania są zadaniami nie tylko matematycznymi, ale także logicznymi, prakseologicznymi, cybernetycznymi, wymagającymi systemowego ujęcia. Omawiając systemy walki, jako odrębną klasę systemów działania, koncentrujemy uwagę na tych ich cechach systemowych, które mogą być wyrażone w postaci modeli matematycznych. Wynika stąd uzasadnione chyba pominięcie innych także istotnych aspektów, co jednak nie powinno naruszać zasady całościowego ujęcia systemów walki.

\* W. I. Lenin: *Dzieła*, t. 17, KiW, W-wa 1957.

\*\* C. Clausewitz: *O wojnie*. T. I—II, Wyd. MON, W-wa 1958 r.

Zob. także F. Ryszka: *Myśleć z Clausewitzem*. [W:] *Lektury i przemyślenia*. Wyd. Poznańskie, Poznań 1978 r.

## 2. Modelowanie systemów walki

Model matematyczny systemu walki jest sformalizowanym opisem rzeczywistych (przewidywanych) procesów działań bojowych (walki, bitwy, operacji), wyrażonym w języku matematyki. Model ten powinien pozwolić na pośrednie badanie wybranych zjawisk związanych z walką zbrojną, na przeprowadzenie eksperymentów, w ograniczonym oczywiście zakresie. Wyniki przeprowadzonych eksperymentów powinny umożliwić formułowanie wniosków pozwalających na lepsze, tj. obiektywniejsze i uogólniające poznanie specyficznych cech systemowych, charakteryzujących organizację i funkcjonowanie rzeczywistych systemów walki. Dysponowanie matematycznymi modelami systemów walki stwarza możliwość wielokrotnego badania procesów walki dla różnych warunków: potrzeb i ograniczeń, przy czym modele te mogą funkcjonować w ramach np. komputerowej gry wojennej lub podczas „tradycyjnych” gier wojennych. Mogą więc stanowić naturalne niejako uzupełnienie istniejących metod szkolenia kadr dowódczo-sztabowych.

Do najpopularniejszych modeli walki, dobrze znanych w literaturze przedmiotu, należy zaliczyć:

— modele matematyczne działań bojowych o charakterze pojedynku, w którym przeciwnicy mają do dyspozycji po jednym środku rażenia,

— matematyczne modele walki „grupowej” (ugrupowań jednorodnych i niejednorodnych).

Klasycznymi modelami opisującymi dynamikę walki są modele Lanchestera (ML), których rozwój został zapoczątkowany pracami z 1916 r.\* Znane dotychczas modele pozwalają, między innymi, na prowadzenie ilościowych badań takich, jak np.:

— ilościowa analiza porównawcza i ocena różnych rodzajów uzbrojenia;

— określenie optymalnej odległości otwarcia ognia w wyniku badania wpływu tej odległości na wynik walki;

\* F. W. Lanchester: *Aircraft in Modern Warfare, the Dawn of the Fourth Arm*. Constable and Co, London 1916 r.

- badanie wpływu odległości pomiędzy środkami rażenia na wynik walki;
- badanie wpływu sposobów strzelania na wynik walki;
- wybór optymalnej prędkości przesunięcia środków walki;
- ocena wpływu warunków terenowych na wynik walki;
- ocena efektywności środków wykrywania;
- określenie racjonalnych wielkości jednostek ognia dla środków rażenia;
- określenie optymalnego typu (kalibru) amunicji, w sensie np. minimalnych kosztów wykonania zadania bojowego;
- określenie optymalnego stosunku kosztów systemów techniki wojskowej (uzbrojenia) do kosztów systemu dowodzenia;
- określenie optymalnego stosunku sił niezbędnego dla wykonania zadania bojowego itp.

Rozpatrzmy przykład opisu systemu walki. Zakłada się, że podstawowymi elementami prowadzenia działań bojowych są\*:

a) uderzenie wojsk, czyli zdecydowane działania bojowe piechoty i czołgów, łamiące opór i niszczące nieprzyjaciela, wsparte ogniem środków walki będących do ich dyspozycji oraz wspierających ich działanie; związane jest z ruchem (manewrem) na polu walki (bitwy) i wykorzystaniem skutków prowadzonego na ich korzyść ognia;

b) uderzenie ogniowe, czyli wykorzystanie środków walki (rażenia), niekoniecznie połączone z ruchem wojsk w kierunku nieprzyjaciela lub w głąb własnego ugrupowania (uderzenie bronią jądrową, lotnictwem, ogniem artylerii).

W celu zilustrowania opisu systemu walki dokonamy analizy procesu opracowania wariantu decyzji. Wyróżniono następujące etapy:

### 1. Analiza terenu walki:

— dany jest zbiór obiektów terenowych mających szczególne znaczenie wojskowe:  $O$ , np. wzniesienia, masywy leśne, przeszkody wodne, obiekty komunikacyjne, obiekty przemysłowe itp. oraz dany jest zbiór wag (współczynników ważności) obiektów z punktu widzenia rozpatrywanego rodzaju działań  $\Omega$ ;

— należy dokonać przekształcenia  $\alpha: O \rightarrow \Omega$ , czyli każdemu

\* J. Kaczmarek: *Uderzenie i ogień*. Wyd. MON, W-wa 1973 r.

obiektowi terenowemu przypisywana jest waga, określająca jego wartość operacyjno-taktyczną;

— otrzymuje się zbiór obiektów „ocenionych”

$$\mathbf{O}_\omega = \{(o_k, \omega_k) : o_k \in \mathbf{O}, \omega_k = a(o_k) \in \Omega\}$$

taki że

$$\mathbf{O} = \mathbf{O}_\omega^A \cup \mathbf{O}_\omega^B$$

gdzie:  $\mathbf{O}_\omega^A$  — zbiór obiektów „ocenionych” znajdujących się w obszarze (rejonie) strony A,

$\mathbf{O}_\omega^B$  — zbiór obiektów „ocenionych” znajdujących się w obszarze (rejonie) strony B.

2. Analiza wariantu dyslokacji wojsk strony B (mpla):

— dany jest zbiór elementów (jednostek bojowych) strony B

$$\mathbf{X}^B = \{x_j^B : j \in \mathbf{J}^B\}$$

taki że

$$\mathbf{X}^B = \mathbf{X}_a^B \cup \mathbf{X}_z^B \cup \mathbf{X}_d^B$$

gdzie:  $\mathbf{X}_a^B$  — zbiór elementów aktywnych,

$\mathbf{X}_z^B$  — zbiór elementów zabezpieczenia,

$\mathbf{X}_d^B$  — zbiór elementów dowodzenia;

— każdemu elementowi strony B (zgrupowania npla) przyporządkowuje się obiekt terenowy wraz z przyporządkowaną mu wagą:

$$\hat{\sigma}_B^A : \mathbf{X}^B \rightarrow \mathbf{O}_\omega^B$$

— otrzymuje się przewidywany wariant dyslokacji wojsk strony B określony zbiorem

$$\hat{\mathbf{B}} = \{b_{jk} = (x_j^B, o_{\omega k}), x_j^B \in \mathbf{X}^B, o_{\omega k} \in \mathbf{O}_\omega^B\}$$

3. Opracowanie wariantu ugrupowania wojsk własnych — strony A:

— dany jest zbiór elementów (jednostek bojowych) strony A

$$\mathbf{X}^A = \{x_i^A : i \in \mathbf{J}^A\}$$

taki że

$$\mathbf{X}^A = \mathbf{X}_a^A \cup \mathbf{X}_z^A \cup \mathbf{X}_d^A$$

gdzie:  $\mathbf{X}_a^A$  — zbiór elementów aktywnych,

$\mathbf{X}_z^A$  — zbiór elementów zabezpieczenia,

$\mathbf{X}_d^A$  — zbiór elementów dowodzenia;

— każdemu elementowi ugrupowania strony A przyporządkowuje się obiekt terenowy wraz z przyporządkowaną mu wagą:

$$\delta_A : \mathbf{X}^A \rightarrow \mathbf{O}_\omega^A$$

— otrzymuje się wariant dyslokacji elementów strony A określony zbiorem

$$\mathbf{A} = \{a_{il} = (x_i^A, o_{\omega l}), x_i^A \in \mathbf{X}^A, o_{\omega l} \in \mathbf{O}_\omega^A\}$$

— jeżeli na zbiorze  $\mathbf{A}$  zostanie określona relacja określająca związki funkcjonalne, informacyjne itp.  $R_F^A \subset \mathbf{A} \times \mathbf{A}$  to otrzymamy macierz  $A_R = [a_{ij}]$  taką że

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jeżeli pomiędzy } i\text{-tym oraz } j\text{-tym elementem zgrupowania wojsk strony } A \text{ istnieje określony związek funkcjonalny wyrażony relacją } R_F^A \\ 0, & \text{w przeciwnym wypadku.} \end{cases}$$

Powiemy, że macierz  $A_R$  określa wariant ugrupowania wojsk strony A w danych działaniach bojowych.

#### 4. Opracowanie wariantu uderzenia wojsk strony A:

— dany jest zbiór numerów pasów działania  $\mathbf{L}$  oraz zbiór elementów ugrupowania strony B zlokalizowanych w poszczególnych pasach działania:  $\widehat{\mathbf{B}}_l \subset \mathbf{B}, l \in \mathbf{L}$ ;

— dla każdego elementu ugrupowania strony A należy przyporządkować numer pasa działania oraz elementy ugrupowania strony B, z którymi prowadzone będą działania bojowe:

$$u^A : \mathbf{X}^A \rightarrow \{\widehat{\mathbf{B}}_1, \dots, \widehat{\mathbf{B}}_l, \dots, \widehat{\mathbf{B}}_L\}$$

czyli

$$u^A(x_i^A) = \widehat{\mathbf{B}}_l \subset \mathbf{B}$$

#### 5. Opracowanie wariantu uderzenia ogniowego strony A:

— dla każdego aktywnego elementu ugrupowania strony A należy przyporządkować obiekt (obiekty) strony B, które będą przez ten element niszczone:

$$u_a^A : \mathbf{X}_a^A \rightarrow \mathbf{X}^B \quad \text{lub} \quad u_a^A : \mathbf{X}_a^A \rightarrow \widehat{\mathbf{B}}$$

— określa się macierz

$$U_a^A = [u_{ai}^A],$$

taką, że

$$u_{ai}^A = \begin{cases} 1, & \text{jeżeli } i\text{-ty element aktywny strony } A \text{ prowadzi ogień} \\ & \text{do } j\text{-tego elementu ugrupowania strony } B \text{ (lub obiektu, w rejonie którego znajduje się ten element),} \\ 0, & \text{w przeciwnym wypadku.} \end{cases}$$

Opracowując wariant uderzenia ogniowego można wyróżnić następujące przypadki:

a) w każdym wierszu i kolumnie macierzy  $U^A$  znajduje się jedynek i tylko jedynek (jeden środek rażenia niszczy tylko jeden obiekt przeciwnika);

b) w każdym wierszu lub w każdej kolumnie występuje kilka jedynek (jeden środek rażenia może prowadzić ogień do kilku obiektów lub kilka środków niszczy jeden tylko obiekt przeciwnika);

c) w wierszach i kolumnach znajduje się po kilka jedynek (grupa obiektów jest niszczona przez kilka środków);

d) jeden wiersz lub jedna kolumna zawiera tylko jedynek (jeden środek prowadzi ogień do wszystkich obiektów albo — jeden obiekt jest niszczone przez wszystkie środki).

6. Opracowanie wariantu planu użycia wojsk strony  $A$ :

— dany jest zbiór chwil czasu  $T$ ;

— należy określić funkcję:  $\tau^A: X^A \rightarrow T$ ,

czyli  $t = \tau^A(x_i^A)$  oznacza czas wejścia  $i$ -tego elementu ugrupowania strony  $A$  do walki,

— należy określić funkcję:  $\tau_a^A: X_a^A \rightarrow T$ ,

czyli  $t = \tau_a^A(x_{ai}^A)$  oznacza czas rozpoczęcia uderzenia ogniowego przez  $i$ -ty element aktywny strony  $A$ .

7. Prognoza wariantu działania wojsk strony  $B$ :

— określa się funkcję  $\hat{u}_B^A: X^B \rightarrow L \times K$ , czyli przewiduje się dla poszczególnych elementów zgrupowania strony  $B$  pas działania i rodzaj przewidywanego działania.

8. Prognoza wariantu uderzenia ogniowego przez stronę  $B$ :

— określa się funkcję  $\hat{u}_a^B: X_a^B \rightarrow X^A$ , czyli otrzymuje się macierz  $\hat{U}_a^B = [\hat{u}_{ij}^B]$  taką, że



$$\widehat{u}_{aij}^B \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ gdy } j\text{-ty element aktywny strony } B \text{ prowadzi ogień} \\ \text{do } i\text{-tego elementu ugrupowania strony } A, \\ 0, \text{ w przeciwnym wypadku.} \end{array} \right.$$

9. Prognoza planu użycia wojsk przez stronę B:

— określa się funkcję  $\widehat{\tau}^B: \mathbf{X}^B \rightarrow T$ , czyli przewiduje się czas rozpoczęcia działań bojowych przez poszczególne elementy zgrupowania wojsk strony B,

— określa się funkcję  $\widehat{\tau}_a^B: \mathbf{X}_a^B \rightarrow T$ , czyli przewiduje się czas rozpoczęcia uderzenia ogniowego przez stronę B.

10. Prognozowanie strat strony B:

— określa się funkcję  $\widehat{\varkappa}^B: \mathbf{X}^B \rightarrow R_{[0,1]}$ , czyli wyznacza się wielkość  $\widehat{r}_j^B = \widehat{\varkappa}^B(x_j^B)$ , przy czym  $0 \leq \widehat{r}_j^B \leq 1$  co oznacza, że  $j$ -ty element ugrupowania strony B poniesie straty w  $100 \widehat{r}_j^B$  procentach,

— przewiduje się łączne straty strony B:

$$\widehat{S}^B = \sum_j \widehat{r}_j^B N_j^B$$

11. Prognozowanie strat strony A:

— określa się funkcję  $\widehat{\varkappa}^A: \mathbf{X}^A \rightarrow R_{[0,1]}$ , czyli wyznacza się wielkość  $\widehat{r}_i^A = \widehat{\varkappa}^A(x_i^A)$  oznaczającą średni stopień strat poniesionych przez stronę A,

— przewiduje się łączne straty strony A:

$$\widehat{S}^A = \sum_i \widehat{r}_i^A M_i^A$$

12. Ocena poniesionych nakładów przez stronę A w walce (operacji):

— wyznacza się łączną wartość nakładów

$$W^A = W_a^A + W_z^A + W_d^A$$

gdzie:  $W_a^A$  — nakłady poniesione przez elementy aktywne,

$W_z^A$  — nakłady poniesione przez elementy zabezpieczenia,

$W_d^A$  — nakłady poniesione przez elementy dowodzenia.

13. Ocena efektywności przyjętego wariantu działań bojowych (walki, operacji) przez stronę  $A$ :

$$E = \widehat{S}^B - (\widehat{S}^A + W^A)$$

Funkcjonał  $E$  służy do oceny efektywności przyjętego wariantu decyzji, którego elementy zostały formalnie wyrażone, oczywiście na znacznym poziomie ogólności.

Można powiedzieć, że przełożony — dowódca szczebla nadrzędnego zainteresowany jest w tym, aby

$$W^{A*} = \min W^A \quad \text{dla } E \geq E^*$$

gdzie  $E^*$  — zakładana (wymagana) wartość efektywności działań bojowych (walki, operacji). Natomiast dowódca danego zgrupowania strony  $A$  dążyć będzie do opracowania takiego planu działania, aby

$$\max_{P^A} \min_{P^B} E \quad \text{dla } W^A \leq W_0^A,$$

przy czym, jeśli uzna za celowe, może żądać zwiększenia wielkości nakładów  $W^{AA}$ .  $P$  oznacza zbiór możliwych planów działania strony  $A$

$$P^A = \{p^A = (\delta_A; u^A, u_a^A; \tau^A, \tau_a^A)\}$$

$\widehat{P}^B$  oznacza zbiór możliwych przewidywanych planów działania przeciwnika — strony  $B$ :

$$\widehat{P}^B = \{\widehat{p}^B = (\widehat{\delta}_B^A; \widehat{u}_B^A, \widehat{u}_a^B; \widehat{\tau}^B, \widehat{\tau}_a^B)\}$$

Przedstawiony opis postępowania określa pewien makroalgorytm, w którym pominięto wiele istotnych elementów i czynników warunkujących efektywność działania.

Do oceny efektywności działań bojowych wojsk lądowych w natarciu celowe jest posługiwanie się takimi wskaźnikami, jak:

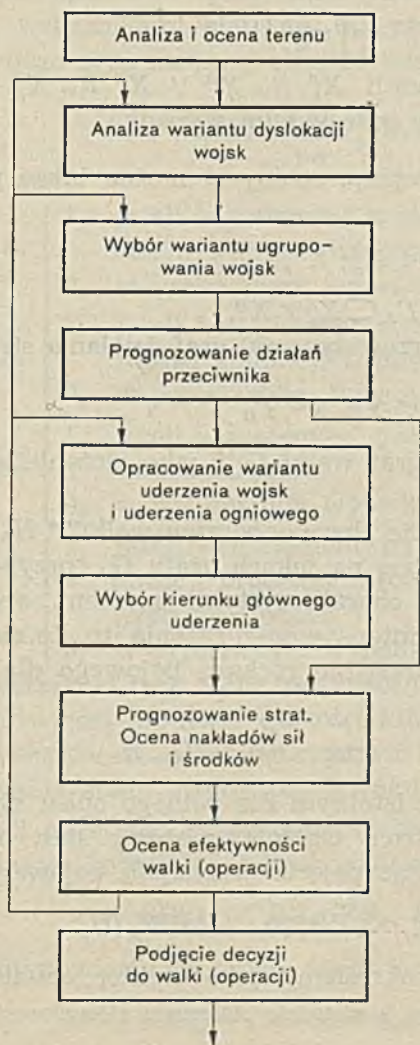
— stopień rozgromienia nieprzyjaciela stawiającego opór (prawdopodobieństwo zadania mu strat nie mniejszych niż określone w zadaniu bojowym);

— głębokość posuwania się wojsk — opanowanie wymienionej w rozkazie rubieży (rejonu) w głębi obrony nieprzyjaciela;

— stopień zachowania zdolności bojowej wojsk na zdobytej

w wymaganym czasie rubieży (rejonie), który zapewniłby możliwość prowadzenia działań (kontynuowanie natarcia lub umocnienia zdobytej rubieży).

Z przedstawionego opisu nie wynikają explicite związki pomiędzy poszczególnymi elementami procesu opracowania wariantu decyzji. Związki te przedstawiono w „algorytmie walki” (rys. 5.2)



5.2. Algorytm walki

Zwróćmy uwagę na wybrane elementy przedstawionego opisu systemu walki. I tak, np. w najogólniejszej postaci walkę można zdefiniować za pomocą pewnej „relacji walki”  $R_w$ , a wtedy zapis  $X_i^A R_w X_j^B$  oznacza, że  $i$ -ty element strony  $A$  oddziałuje (walczy) na  $j$ -ty element strony  $B$ . W ten sposób zostaje utworzona macierz „zero-jedynkowa” w wymiarach  $I^A \times J^B$ , którą można określić jako macierz walki

$$W_{ij}^{AB} = [w_{ij}^{AB}]$$

$$\text{gdzie } w_{ij}^{AB} = \begin{cases} 1, & \text{jeżeli } X_i^A R_w X_j^B \vee X_j^B R_w X_i^A \\ 0, & \text{w przeciwnym wypadku.} \end{cases}$$

Działania strony walczącej np. strony  $A$  można także przedstawić w postaci grafu

$$G_A = \langle X_a^A, X^B, \Gamma_A \rangle$$

gdzie  $\Gamma_A: X_a^A \rightarrow X^B$  lub  $\Gamma_A \subset X_a^A \times X^B$ .

Jeżeli został określony (przewidywany) graf działania strony  $B$

$$\widehat{G}_B = \langle X_a^B, X^A, \widehat{\Gamma}_B \rangle$$

to powiemy, że dany jest graf walki  $G_w^{AB}$  jako złożenie grafów  $G_A$  i  $G_B$ .

Jeżeli wprowadzimy pojęcie „harmonogramu walki” \*  $H_A$ , czyli taką wektor-funkcję określoną na łukach grafu  $G_A$ , przyporządkowującą im następujące charakterystyki: moment otwarcia i przerwania ognia, funkcję intensywności rażenia itp., to możemy wprowadzić następujące określenie rozkazu bojowego dla stron walczących

$$RB_A = \langle G_A, H_A \rangle \quad \text{oraz} \quad \widehat{RB}_B = \langle \widehat{G}_B, \widehat{H}_B \rangle$$

Następnym zagadnieniem istotnym dla pełnego opisu systemu walki jest stan bojowy stron. Ogólnie, możemy stan bojowy strony określić wykorzystując pojęcie potencjału bojowego, np.

$$S^A(t) = \langle PB_1^A(t), \dots, PB_i^A(t), \dots, PB_{1A}^A(t) \rangle$$

czyli stan bojowy strony określamy jako wektor chwilowych

\* H. Burlaga, M. Chudy: *O metodzie obliczania stosunku sił*, MW, nr 3, 1970 r.

wartości potencjałów bojowych poszczególnych elementów zgrupowania. Analogicznie dla strony przeciwnej

$$\widehat{S}^B(t) = \langle \widehat{PB}_1^B(t), \dots, \widehat{PB}_j^B(t), \dots, \widehat{PB}_{j,B}(t) \rangle$$

W powyższym opisie wykorzystuje się ogólne pojęcie potencjału bojowego, które będzie przedmiotem dalszych rozważań.

Innym sposobem opisu stanu jest posługiwanie się szczegółowymi wskaźnikami stanu. I tak np. dla dowolnego elementu aktywnego stan możemy określić następująco

$$S_i^A(t) = \prod_{j=1}^4 S_{ij}^A(t), i \in X_a^A$$

gdzie, np.:

$$S_{i1}^A(t) = \begin{cases} 1, & \text{jeżeli } i\text{-ty element w chwili } t \text{ jest rozwinięty w zadanym rejonie (lub np. na stanowisku ogniowym),} \\ 0, & \text{w przeciwnym wypadku.} \end{cases}$$

$$S_{i2}^A(t) = \begin{cases} 1, & \text{jeżeli } i\text{-ty element w chwili } t \text{ ma wymagany stan zapasu amunicji i innych środków materiałowych,} \\ 0, & \text{w przeciwnym wypadku.} \end{cases}$$

$$S_{i3}^A(t) = \begin{cases} 1, & \text{jeżeli } i\text{-ty element jest w chwili } t \text{ gotowy do prowadzenia ognia,} \\ 0, & \text{w przeciwnym wypadku.} \end{cases}$$

$$S_{i4}^A(t) = \begin{cases} 1, & \text{jeżeli } i\text{-ty element jest w chwili } t \text{ gotowy do realizacji procesów informacyjno-decyzyjnych w danych warunkach,} \\ 0, & \text{w przeciwnym wypadku.} \end{cases}$$

Wskaźników tych może być znacznie więcej i mogą one przyjmować więcej niż dwie wartości lub też posiadać sens prawdopodobieństwa, co powinno stanowić regułę, zwłaszcza dla przewidywania stanu strony przeciwnej.

Jeżeli określono przewidywany stan strony przeciwnej  $\widehat{S}^B(t)$ , to sytuację bojową określimy następująco

$$SB(t) = \langle RB_A, \widehat{RB}_B; S^A(t), \widehat{S}^B(t) \rangle$$

a wtedy powiemy, że proces walki jest ciągiem sytuacji bojowych

$$PW_B^A = \{SB(t), 0 \leq t \leq T < \infty\}$$

Obecnie rozpatrzmy model dynamiki walki przyjmując jako podstawę model Lanchestera. Najprostszym przypadkiem jest model liniowy. Przypomnijmy pierwsze prawo Lanchestera odnoszące się do wojen, w których „broń bezpośrednio przeciwstawiała się broni”, a więc ogólnie rzecz biorąc, na szczeblach strategicznych do I wojny światowej. Sens prawa wyrażony jest w równaniu

$$E = \frac{n(t_0) - n(t_k)}{m(t_0) - m(t_k)} = \frac{N - n(t_k)}{M - m(t_k)}$$

gdzie  $m(t_0) = M$  oraz  $n(t_0) = N$  wyrażają ilości środków stron przed rozpoczęciem walki, a  $m(t_k)$  i  $n(t_k)$  — odpowiednie siły po jej zakończeniu.

Pierwsze prawo Lanchestera wynika z następującego opisu dynamiki walki

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{1}{1+E}$$

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{E}{1+E}$$

Drugie prawo Lanchestera (zależność kwadratowa) odpowiada wojnom współczesnym (do II wojny światowej), gdy należy uwzględniać również możliwości bezpośredniego oddziaływania środków walki

$$E = \frac{N^2 - n(t_k)^2}{M^2 - m(t_k)^2}$$

Stosując przyjęte oznaczenia dokonamy analizy dynamiki walki\*, przy czym  $m(t)$  oznacza średnią liczbę jednostek bojowych (sił i środków) strony A do chwili  $t$ , zaś  $n(t)$  — strony B. Zmiana liczby jednostek np.  $\Delta m$  w ciągu małego odcinka czasu  $\Delta t$  zachodzi na skutek eliminowania z walki jednostek strony A w wyniku strzałów (uderzeń) oddanych przez stronę B. W czasie  $\Delta t$  każda z  $n$  jednostek oddaje  $k^B \Delta t$  celnych strzałów, gdzie  $k^B = \lambda^B p^B$ . Mamy więc  $\Delta m = -k^B n \Delta t$ . Dzieląc obie strony równości przez  $\Delta t$  i przechodząc do granicy  $\Delta t \rightarrow 0$  otrzymujemy wyjściowe równania różniczkowe

\* R. Guter, A. Janpolski: *Równania różniczkowe*. PWN, W-wa 1980 r.

$$\frac{dn}{dt} = -k^B m(t)$$

oraz postępując analogicznie dla strony przeciwnej

$$\frac{dm}{dt} = -k^A n(t)$$

Uzyskujemy w ten sposób układ równań różniczkowych z warunkami początkowymi:  $m(0)=M$  oraz  $n(0)=N$ . Układ jest słuszny dla takiego przedziału czasu  $[0, T]$ , że

$$\bigwedge_{t \in [0, T]} (m(t) > 0) \wedge (n(t) > 0)$$

Przypomnijmy, że model ten oparty jest na następujących założeniach:

— każdy środek (jednostka), dopóki nie jest zniszczony, realizuje losowy strumień strzałów ze średnią szybkostrzelnością  $\lambda^A$ ,  $\lambda^B$ , który jest strumieniem Poissona;

— jednym strzałem nie można zniszczyć więcej niż jeden środek z prawdopodobieństwem  $p^A$ ,  $p^B$ ;

— sumaryczny potencjał bojowy każdej strony jest proporcjonalny do wartości oczekiwanej liczby ocalałych jednostek (środków).

Zwróćmy uwagę na to, że model ten pozwala na analizę wpływu np. stosunku sił na przebieg walki. Załóżmy, że dane są pewne funkcje, których argumentem jest bieżąca wartość stosunku sił

$$h^A\left(\frac{m}{n}\right) \quad \text{oraz} \quad h^B\left(\frac{n}{m}\right)$$

takie, że  $(m=n) \leftrightarrow (h^A(1)=h^B(1)=1)$

oraz

$$\frac{dh^A(\sigma)}{d\sigma} \geq 0 \quad \wedge \quad \frac{dh^B(\sigma)}{d\sigma} \geq 0$$

Jeżeli  $\sigma = \frac{m}{n}$ , to  $h^A(\sigma) = h^B\left(\frac{1}{\sigma}\right)$

a wtedy

$$\frac{dm}{dt} = -k^B n h^B(\sigma), \quad \frac{dn}{dt} = -k^A m h^B\left(\frac{1}{\sigma}\right)$$

Obecnie prześledzimy sposób rozwiązania wyjściowego układu równań; w tym celu różniczkujemy obie strony pierwszego równania względem  $t$  i zastępujemy  $\frac{dn}{dt}$  po prawej stronie przez wyrażenie z drugiego równania. Otrzymamy wtedy

$$\frac{d^2 m}{dt^2} = k^A k^B m(t)$$

a ogólne rozwiązanie tego równania ma postać

$$m(t) = C_1 e^{\sqrt{k^A k^B} t} + C_2 e^{-\sqrt{k^A k^B} t}$$

lub, posługując się funkcjami hiperbolicznymi

$$m(t) = C_3 \cosh \sqrt{k^A k^B} t + C_4 \sinh \sqrt{k^A k^B} t$$

a następnie różniczkując  $m(t)$  otrzymamy

$$n(t) = -C_3 \sqrt{\frac{k^A}{k^B}} \sinh \sqrt{k^A k^B} t - C_4 \sqrt{\frac{k^B}{k^A}} \cosh \sqrt{k^A k^B} t$$

Stałe dowolne w równaniu otrzymujemy z warunków początkowych  $C_3 = M$ ,  $C_4 = -\sqrt{\frac{k^B}{k^A}} N$ , a wtedy rozwiązanie układu równań ma postać

$$m(t) = M \cosh \sqrt{k^A k^B} t - N \sqrt{\frac{k^B}{k^A}} \sinh \sqrt{k^A k^B} t$$

$$n(t) = -M \sqrt{\frac{k^A}{k^B}} \sinh \sqrt{k^A k^B} t + M \cosh \sqrt{k^A k^B} t$$

Jeżeli wprowadzimy stosunki ocalałych środków do wszystkich środków  $\mu^A = \frac{m}{M}$ ,  $\mu^B = \frac{n}{N}$  i dzieląc równania układu wyjściowego odpowiednio przez  $M$ ,  $N$ , to uzyskamy układ

$$\frac{d\mu^A}{dt} = -k^B \frac{N}{M} \mu^B, \quad \frac{d\mu^B}{dt} = -k^A \frac{M}{N} \mu^A$$

z warunkami początkowymi  $\mu^A = \mu^B = 1$  dla  $t = 0$ . Po podstawieniu do równań wielkości  $u^A = k^A \frac{M}{N}$  i  $u^B = k^B \frac{N}{M}$  otrzymamy równania



$$\frac{d\mu^A}{dt} = -u^B \mu^B, \quad \frac{d\mu^B}{dt} = -u^A \mu^A$$

których rozwiązanie ma postać

$$\mu^A = \cos h\sqrt{u^A u^B} t - \sqrt{\frac{u^B}{u^A}} \sin h\sqrt{u^A u^B} t,$$

$$\mu^B = \cos h\sqrt{u^A u^B} t - \sqrt{\frac{u^A}{u^B}} \sin h\sqrt{u^A u^B} t.$$

W dalszej kolejności można wprowadzić tzw. czas zredukowany

$$\tau = \sqrt{u^A u^B} t \text{ oraz wielkość } \sigma = \sqrt{\frac{u^A}{u^B}}. \text{ Wtedy}$$

$$\mu^A = \cos h\tau - \frac{1}{\sigma} \sin h\tau,$$

$$\mu^B = \cos h\tau - \sigma \sin h\tau.$$

Jeżeli obie strony są równe,  $\sigma = 1$ , to  $\mu^A = \mu^B = e^{-\tau}$ .

Jeżeli  $\sigma > 1$ , to strona A ma przewagę nad stroną B i walka zakończy się zwycięstwem strony A. Jeżeli  $\sigma < 1$ , to przewaga należy do strony B. Wynika stąd, że funkcja

$$\sigma = \sqrt{\frac{u^A}{u^B}} = \frac{M}{N} \sqrt{\frac{\lambda^A p^A}{\lambda^B p^B}}$$

charakteryzuje stosunek sił oraz że jej wartość zależy znacznie bardziej od początkowego stosunku sił niż stosunku efektywności ognia (np. dwukrotny wzrost  $M$  podwaja  $\sigma$ , natomiast dwukrotny wzrost  $k^A$  zwiększy  $\sigma$  tylko  $\sqrt{2}$  razy).

Rozpatrzmy następnie wpływ tzw. uderzenia uprzedzającego, wykonanego przez stronę A, o pewien odcinek czasu  $t'$  wcześniej, niż strona B rozpocznie działania bojowe\*. Równania dynamiki walki mają wtedy postać:

a) dla  $t < t'$

$$\frac{dm}{dt} = 0$$

\* M. Ciechanowicz, Z. Folcik, Cz. Gozdecki, Z. Rączka, J. Skibiński, A. Zoń: *Wybrane metody optymalizacji decyzji*. ASG WP, W-wa 1969 r.

$$\frac{dn}{dt} = -k^A M$$

b) dla  $t > t'$

$$\frac{dm}{dt} = -k^B N$$

$$\frac{dn}{dt} = -k^A M$$

Strona wykonująca uderzenie uprzedzające niszczy siły strony przeciwnej i tym samym zmienia wskaźnik przewagi na swoją korzyść. Jeśli uderzenie uprzedzające wykonuje strona A, to wtedy oczekiwane straty przeciwnika wyniosą  $\Delta N = k^A M t'$ . Jeżeli założymy, że np.  $k^A = k^B = 5$  oraz  $\frac{M}{N} = \frac{2}{3}$ , to możemy określić, na ile wcześniej strona A powinna wykonać uderzenie uprzedzające, aby nie przegrać walki. W tym wypadku czas ten wyniesie  $t' = \frac{N - n}{k^A M} = 0,1$  godziny.

Przyjmijmy następnie, że strony mogą uzupełniać siły (wprowadzać odwoły) podczas walki i rozpatrzmy wpływ tego na wynik działań. Załóżmy, że uzupełnienie odbywa się w sposób ciągły, zaś jego wielkość wynosi odpowiednio:  $V^A$  i  $V^B$ . Wtedy

$$\Delta m = -k^B n \Delta t + V^A \Delta t$$

co powoduje opis walki w postaci równań

$$\frac{dm}{dt} = -k^B n + V^A$$

$$\frac{dn}{dt} = -k^A m + V^B$$

Jeżeli  $V^A$  i  $V^B$  są wielkościami stałymi, to rozwiązanie układu równań ma postać

$$\mu^A = \cos h\tau - \frac{1}{\sigma} \sin h\tau + v_A (v \sin h\tau - \cos h\tau + 1)$$

$$\mu^B = \cos h\tau - \sin h\tau + v_B \left( \frac{1}{v} \sin h\tau - \cos h\tau + 1 \right)$$

gdzie

$$v = \frac{V^A}{V^B}, v_A = \frac{V^A}{k^A M}, v_B = \frac{V^B}{k^B N}$$

W podobny sposób dokonuje się analizy wpływu strat „niebojowych” (np. fizyczne zużycie sprzętu) dzięki uwzględnieniu współczynników strat walczących  $\eta^A$  i  $\eta^B$ . Wtedy

$$\frac{dm}{dt} = -k^B n - \eta^A m$$

$$\frac{dn}{dt} = -k^A m - \eta^B n$$

Rozwiązanie powyższych równań ma następującą postać

$$\mu^A = e^{-rt} \left\{ \cos h st - \frac{1}{s} \left[ \frac{Nk^B}{M} + \frac{1}{2}(\eta^A - \eta^B) \right] \sin h st \right\}$$

$$\mu^B = e^{-rt} \left\{ \cos h st - \frac{1}{s} \left[ \frac{Mk^A}{N} + \frac{1}{2}(\eta^B - \eta^A) \right] \sin h st \right\}$$

gdzie  $r = \frac{1}{2}(\eta^A + \eta^B)$ ,  $s = [k^A k^B + \frac{1}{4}(\eta^A + \eta^B)^2]^{\frac{1}{2}}$

Warunkiem koniecznym dla uzyskania ogólnej przewagi strony A nad stroną B jest spełnienie nierówności

$$\frac{M}{N} k^A - \eta^A > \frac{N}{M} k^B - \eta^B$$

Powyższe rozważania zakończymy uwagami dotyczącymi pojęcia przewagi, jako że wszystkie z wymienionych modeli walki pozwalają na analityczne określenie warunków istnienia przewagi jednej strony walczącej nad drugą. Ponadto przewagę uznaje się za prawo działań bojowych. „Jak wiadomo, przewaga ma dwie strony: jedna dotyczy wartości wymiernych, druga zaś wartości niewymiernych. Do przewagi wymiernej zalicza się stronę materialną, to jest: liczebność i rodzaje sił zbrojnych, ilość i jakość sprzętu bojowego, rodzaje broni, strukturę organizacyjną wojsk (od pododdziału do związku operacyjnego), stan materiałowego i technicznego zabezpieczenia, infrastrukturę, konkretną sytuację taktyczno-operacyjną, w której obie, przeciwstawne strony się znalazły. Wartości te można uznać za wymierne, gdyż można je

policzyć, ocenić i porównać oraz wyznaczyć wskaźniki przewagi ilościowej, jak również wartościowe i jakościowe. Niekiedy jednak mając równe lub nawet mniejsze ilościowo siły niż przeciwnik można uzyskać przewagę wymierną w określonym miejscu i czasie, jeśli właściwie przeprowadzi się ześrodkowanie lub ich manewr. (...) Do wartości trudno wymiernych można zaliczyć: założenia doktrynalne, strategiczne, operacyjne i taktyczne, poziom wykształcenia i przygotowania dowódców, oficerów sztabu oraz wyszkolenie wojsk, stan polityczno-moralny, dyscyplinę i psychologiczne przygotowanie wojsk, sprawność organizacyjną, silną wolę dowódców, rzetelność oficerów sztabów i wiele rzeczy”.\*

Zarówno wymierne, jak i trudno wymierne czynniki kształtujące przewagę w walce i operacji obejmuje pojęcie potencjału bojowego, który w danej chwili charakteryzuje strony walczące. Możemy zatem powiedzieć, że strona  $A$  posiada w chwili  $t \in [0, T]$  przewagę nad stroną  $B$  wtedy i tylko, jeżeli  $PB^A(t) > PB^B(t)$ . Uzyskanie wymiernej (ilościowej) przewagi sił i środków jest więc warunkiem koniecznym, lecz niewystarczającym do zwycięstwa w walce i operacji. W operacjach II wojny światowej dużą wagę przywiązywano do zapewnienia zdecydowanej ilościowej przewagi, zaś jako przykład tego może służyć operacja wiślańsko-odrzańska (tabela 5.1).

Tabela 5.1

Przewaga w operacji wiślańsko-odrzańskiej

Front	Przewaga w			
	bp	działach	moździerzach	czołgach i działach panc.
1 Białoruski				
— na przyczółku:				
magnuszewskim	9 : 1	11,7 : 1	12,2 : 1	12,5 : 1
puławskim	12 : 1	10,4 : 1	11,8 : 1	0,2 : 1
1 Ukraiński	9,6 : 1	9,9 : 1	9,6 : 1	10,2 : 1

Rozpatrzmy jeszcze sformułowanie problemu dla przypadku niejednorodnych środków stron walczących\*\*.

\* K. Nożko: *Wybrane problemy przewagi w walce i operacji*. MW, nr 7 1980 r.

\*\* A. Chojnacki: *Modelowanie matematyczne i algorytmizacja planowania działań bojowych*. Rozprawa doktorska. WAT, W-wa 1976 r.

Niech dany będzie zbiór typów środków walki obu stron walczących

$$I^A = \{1, \dots, i, \dots, I^A\}$$

$$J^B = \{1, \dots, j, \dots, J^B\}$$

oraz znane są charakterystyki tych środków

$$M_i, \lambda_i^A, p_{ij}^A(t) \quad \text{oraz} \quad N_j, \lambda_j^B, p_{ji}^B(t)$$

Następnie określa się wielkości, które posłużą jako zmienne decyzyjne modelu:

$x_{ij}^A(t)$  — stosunek liczności tej części grupy środków typu  $i$ , która w chwili  $t$  prowadzi ogień do środków typu  $j$  — do całkowitej liczności grupy środków typu  $i$ ;

$y_{ji}^B(t)$  — stosunek liczności tej części grupy środków typu  $j$ , która w chwili  $t$  prowadzi ogień do środków typu  $i$  — do całkowitej liczności grupy środków typu  $j$ .

Wielkości te spełniają następujące warunki:

$$0 \leq x_{ij}^A(t), \quad 0 \leq y_{ji}^B(t),$$

$$\sum_{j=1}^{J^B} x_{ij}^A(t) \leq 1, \quad \sum_{i=1}^{I^A} y_{ji}^B(t) \leq 1$$

Wtedy równania dynamiki walki mają postać:

$$\frac{dm_i(t)}{dt} = - \sum_{j=1}^{J^B} \lambda_j^B p_{ji}^B(t) y_{ji}^B(t) n_j(t)$$

$$\frac{dn_j(t)}{dt} = - \sum_{i=1}^{I^A} \lambda_i^A p_{ij}^A(t) x_{ij}^A(t) m_i(t)$$

dla warunków początkowych:  $m_i(0) = M_i$ ,  $n_j(0) = N_j$ .

Wprowadźmy funkcje oceny efektywności dla stron walczących, posiadające sens różnicy ważonych strat:

— dla strony  $A$ :

$$E_A = \sum_{j=1}^{J^B} \omega_j^B [N_j - n_j(T)] - \sum_{i=1}^{I^A} \omega_i^A [M_i - m_i(T)]$$

— dla strony  $B$ :

$$E_B = -E_A.$$

Ponieważ rozwiązanie problemu  $\langle m(t), n(t) \rangle$  zależy od wyboru  $(x, y) \in X \times Y$ , gdzie  $X = \{x_{ij}^A: i \in I^A, j \in J^B\}$ ,  $Y = \{y_{ij}^B: i \in I^A, j \in J^B\}$ , więc także  $m(T)$  i  $n(T)$  zależą od  $(x, y)$  przy ustalonym  $T > 0$ , wtedy możemy przyjąć, że

$$E_A = E_A(x, y) \quad \text{oraz} \quad E_B = E_B(x, y)$$

Strona A wybiera taki sposób sterowania ogniem  $x^* \in X$ , aby zmaksymalizować swój efekt  $E_A$  przewidując odpowiednie przeciwdziałanie nieprzyjaciela, tzn.

$$E_A(x^*, y) = \max_{x \in X} E_A(x, y) = \max_{x \in X} \min_{y \in Y} E_A(x, y)$$

Analogicznie zakładamy postępowanie strony B:

$$E_B(x, y^*) = \max_{y \in Y} E_B(x, y) = \max_{y \in Y} \min_{x \in X} E_B(x, y)$$

W ten sposób wychodząc od modelu walki typu Lanchestera, otrzymujemy zagadnienie optymalizacji sterowania ogniem (uderzenia ogniowego). Do rozwiązania tego złożonego problemu stosowana jest zasada maksimum Pontriagina.

Uogólniając dotychczasowe rozważania powiemy, że w procesie modelowania systemu walki dążymy do:

a) opisu dynamiki walki — intensywności wzajemnego oddziaływania ogniowego stron walczących

$$\frac{dPB^B(t)}{dt} = \varphi_B^A(x, y, t),$$

$$\frac{dPB^A(t)}{dt} = \varphi_B^A(x, y, t), \quad t \in [t_0, T]$$

$$\text{dla } PB^A(t_0) = PB_0^A > 0, \quad PB^B(t_0) = PB_0^B > 0,$$

w celu obserwacji zmian potencjału bojowego stron walczących w badanym okresie czasu, ze szczególnym uwzględnieniem takiego momentu  $t_g$ , w którym nastąpi spadek potencjału jednej ze stron poniżej pewnej przyjętej wartości granicznej, tj.  $PB^A(t_g) < PB_g$  lub  $PB^B(t_g) < PB_g$ ;

b) określenia funkcji (funkcjonału) efektywności walki, poz-

walającej określić wielkość uzyskanych korzyści stron walczących, zależnej od przyjętych zmiennych opisujących proces walki

$$E_A = E_A[PB^A(t), PB^B(t), x(t), y(t), t]$$

$$E_B = E_B[PB^A(t), PB^B(t), x(t), y(t), t];$$

c) sformułowanie, a następnie rozwiązanie, problemu optymalizacji decyzji stron walczących, tj. określenia takich decyzji do walki, które zapewnią maksymalne efekty (zwycięstwo) danej stronie walczącej

$$x^* : E_A(x^*) \geq E_A(x) \quad \text{dla } x \in X$$

lub

$$y^* : E_B(y^*) \geq E_B(y) \quad \text{dla } y \in Y$$

W niniejszym rozdziale analizowano deterministyczne modele walki Lanchestera. Dla modeli tych istnieją odpowiadające im modele probabilistyczne, z reguły bardziej skomplikowane. Stanowią one z pewnością lepsze przybliżenie rzeczywistej walki niż w przypadku założeń o determinizmie. Jednakże w obu tych przypadkach mamy do czynienia ze znacznym poziomem ogólności i znacznym idealizowaniem rzeczywistego pola walki. Nie przesądza to bynajmniej o wątpliwej użyteczności tych modeli w procesie systemowego modelowania procesów walki (operacji). Komputerowa realizacja tych modeli pozwala na analizę wpływu poszczególnych czynników (dość zresztą ograniczonych) na przebieg walki, prognozowanie stosunków sił i dynamiki zmian potencjału bojowego itp. Korzyści płynące z tego typu badań mogą być zatem znaczne, oczywiście w warunkach pełnej świadomości przyjętych uproszczeń i założeń idealizujących złożoną rzeczywistość (walkę, bitwę, operację)\*.

W tym miejscu pojawia się pewien dylemat badacza związany z wyborem narzędzia modelowania: czy modele analityczne typu Lanchester czy modele symulacyjne i realizacja ich w postaci komputerowej gry wojennej? Wydaje się, że po prostu, jedno nie wyklucza drugiego, gdyż — po pierwsze — nie sposób zastosować

\* Np. interesujące wyniki badań związanych z modelem boju spotkaniowego, skonstruowanego w konwencji Lanchestera, przedstawiono w rozprawie E. Kilara pt.: *Modelowanie boju spotkaniowego oddziału*. ASG WP, W-wa 1976 r.

metody symulacji komputerowej bez uprzedniego rozwiązania problemu ustalenia zależności funkcyjnych pomiędzy istotnymi cechami badanych procesów, a po drugie — w ramach komputerowej gry wojennej mogą, a raczej powinny być realizowane procedury obliczania wartości istotnych charakterystyk i wskaźników oceny. Poświęcono tym zagadnieniom wiele interesujących prac przybliżających metody i techniki modelowania i komputerowej realizacji modeli również działań bojowych (walki, operacji)\*.

### 3. Analiza systemowa walki zbrojnej

Analiza systemowa walki i operacji powinna dostarczyć badaczom, a także dowódcom i oficerom sztabów narzędzia analizowania złożonych problemów walki i operacji zapewniającego osiągnięcie szerszych celów poznawczych i praktycznych i efektywniejszego niż w przypadku, gdyby poszczególne elementy walki i operacji analizowano w izolacji. Celem analizy systemowej walki i operacji jest rekomendacja określonych sposobów działania, tj. takich, które zapewniają wysoką efektywność działania, optymalne użycie sił i środków, racjonalne dowodzenie i organizację łączności.

Aby zapewnić skuteczność postępowania, które składa się na proces analizy systemowej walki i operacji, należy określić cechy systemowe, odzwierciedlające zdolności i możliwości stron walczących, a wynikające z istnienia relacji systemotwórczej na zbiorze elementów (jednostek bojowych, sił i środków). Za taką cechę proponuje się przyjąć **potencjał bojowy**.

Zanim omówimy bliżej pojęcie potencjału bojowego wyrażającego cechę systemową strony walczącej-elementu systemu walki, należy wspomnieć cechę o znacznie szerszym zakresie, a mianowicie **potencjał wojenny**.

Przypomnijmy w tym miejscu, że pojęcie „potencjał” wywodzi się z filozofii Arystotelesa, który wprowadził rozróżnienie między

\* Np. F. Martin: *Wstęp do modelowania cyfrowego*. PWN, W-wa 1976 r. G. W. Evans, G. F. Wallace, G. L. Sutherland: *Symulacja na maszynach cyfrowych*. WNT, W-wa 1973 r.



tym, co rzeczywiście istnieje, od tego, co może zaistnieć w odpowiednich warunkach lub przy pewnej ich zmianie. Używane jest ono dla określenia możliwości dysponowania siłą wystarczającą do spełnienia zadań w zniszczeniu innej siły i jej źródła. Potencjał nie istnieje oczywiście samodzielnie, lecz jest zawsze możliwością określonych sił i środków. Ze względu na to, że potencjał stwarzają odpowiednie siły i środki, przeto jest on ich określoną funkcją.

Potencjał wojenno-ekonomiczny to zdolność sił ekonomicznych danego państwa (koalicji) do wykonania maksymalnej produkcji wojennej w określonym czasie.

O wartości potencjału wojenno-ekonomicznego świadczy niewątpliwie: stan majątku narodowego, dynamika rozwoju gospodarczego, zdolność dostosowania gospodarki narodowej do potrzeb wojny, odporność gospodarki na zaburzenia wojenne.

Do materialnych czynników potencjału wojenno-ekonomicznego zalicza się:

- obszar kraju i jego położenie,
- zasoby naturalne (surowcowe i energetyczne),
- czynnik produkcyjny (przemysł i rolnictwo),
- rozmieszczenie sił wytwórczych,
- transport i sieć komunikacyjną,
- stan zapasów,
- handel,
- finanse.

Czynniki ludzkie obejmują natomiast: zasoby ludnościowe (ilość, stan fizyczny i kwalifikacje), poziom nauki i wiedzy technicznej, organizację gospodarki. Jeżeli określimy potencjał wojenny jako całokształt możliwości sił zbrojnych kraju (koalicji) w zakresie wykonania zadań postawionych przed nimi przez politykę (klasy panującej), to do czynników kształtujących go można zaliczyć:

- ilość i jakość sił zbrojnych,
- środki, jakie mogą być wykorzystane do prowadzenia działań wojennych,
- szybkość przeprowadzenia mobilizacji, koncentracji i rozwinięcia sił zbrojnych,
- OTK i poziom jej organizacji,

- stan przygotowania przyszych TDW,
- jakość planowania walki zbrojnej,
- sztukę wojenną i poziom rozwoju nauki wojennej itp.

Zagadnienie można także ująć następująco: potencjał wojenny jest systemem wzajemnie sprzężonych elementów:

- potencjału moralno-politycznego, czyli siły moralno-politycznej, którą może państwo wykorzystać do realizacji celów wojny (np. stopień akceptacji celów wojny i wysokość ofiar, jakie siły zbrojne i społeczeństwo są gotowe ponieść dla osiągnięcia zwycięstwa);

- potencjału obrony cywilnej, tzn. możliwości w zakresie pozawojskowej obrony i ochrony ludności i mienia;

- potencjału wojenno-ekonomicznego;

- potencjału bojowego.

Potencjałem bojowym będziemy określać całokształt możliwości bojowych danego systemu wojskowego (jednostki bojowej, zgrupowania, strony walczącej, środka walki), w danej chwili niezbędnych do prowadzenia działań bojowych (walki, bitwy, operacji). Na poziom możliwości bojowych zasadniczy wpływ ma rodzaj walki i dlatego należy rozważać możliwości bojowe wojsk dla rodzaju walki, oceniając je odrębnie dla natarcia, obrony, boju spotkaniowego itp. W dalszych rozważaniach zakładamy, że każda rozpatrywana wartość potencjału bojowego zrelatywizowana jest do odpowiedniego rodzaju walki. Istnieje oczywiście wiele innych jeszcze determinant potencjału bojowego, jak np. warunki terenowe i meteorologiczne, pora dnia itp.

Poniżej przedstawiamy kilka możliwych ujęć zagadnienia potencjału bojowego, rozpoczynając od ujęcia ogólnego pozwalającego na określenie istoty tej cechy systemowej (rys. 5.3).

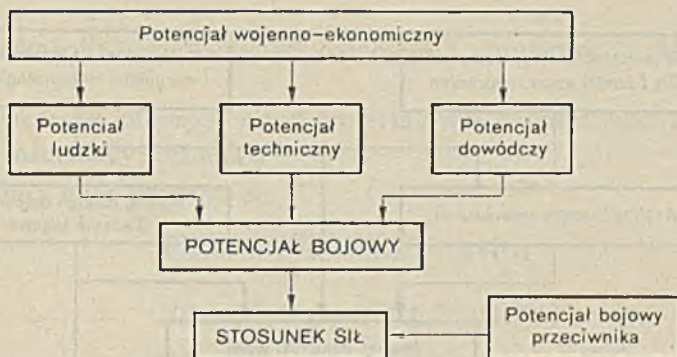
Przyjmuje się, że podstawowymi czynnikami potencjału bojowego są:

- 1) potencjał ludzki ( $PB^L$ ), czyli całokształt możliwości ludzi biorących bezpośredni udział w procesie walki (stanowiących skład osobowy np. strony walczącej);

- 2) potencjał techniczny ( $PB^T$ ), czyli całokształt możliwości wojskowych środków technicznych bezpośrednio wykorzystywanych

w procesie walki (stanowiących wyposażenie techniczne np. strony walczącej);

3) potencjał „sterowniczy” dowodzenia ( $PB^D$ ), czyli całokształt możliwości ludzi i środków technicznych zaangażowanych w proces dowodzenia.



5.3. Determinanty potencjału bojowego i stosunku sił

W związku z powyższym przyjmujemy, że w chwili  $t$  potencjał bojowy strony walczącej jest następującą funkcją

$$PB(t) = F[PB^L(t), PB^T(t), PB^D(t)]$$

$$\text{dla } t_0 = 0, \quad t \leq T < \infty$$

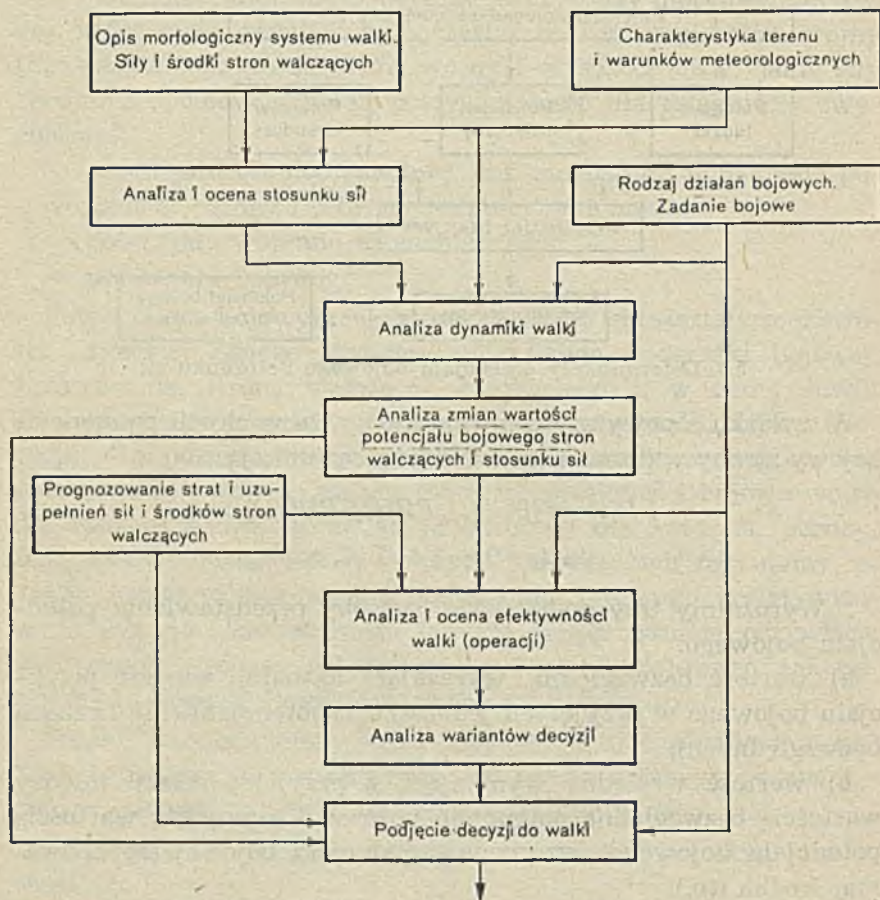
Wyróżnimy trzy podstawowe sposoby przedstawiania potencjału bojowego:

a) wartość bezwzględna, wyrażającą aktualną wartość potencjału bojowego w przyjętych jednostkach potencjału (lub liczbach bezwzględnych);

b) wartość względną wynikającą z przyjętej relacji między wartością bezwzględną potencjału bojowego a przyjętą wartością potencjału bojowego „wzorcowej” jednostki bojowej (zgrupowania, środka itp.);

c) wartość względną wynikającą z przyjętej relacji między wartością bezwzględną potencjału bojowego strony walczącej a wartością bezwzględną potencjału bojowego strony przeciwnej (lub np. potencjałem bojowym danego środka a potencjałem bojowym „antyśrodka” przeciwnika).

Zauważmy, że w trzecim przypadku zagadnienie sprowadza się w zasadzie do określenia stosunku sił stron walczących, czemu poświęcimy uwagę w dalszej części rozważań (rys 5.4). Na razie interesować nas będzie pierwszy z wymienionych sposobów przedstawiania potencjału bojowego.



5.4. Schemat modelowania systemowego walki (operacji)

Z praktycznego punktu widzenia pożądane jest, aby przyjęty wskaźnik potencjału bojowego przyjmował wartości z przedziału  $[0, 1]$  lub aby mógł być wyrażany np. w procentach.

Przyjmujemy, że każdy z podstawowych czynników potencjału bojowego tworzą pewne „typowe” elementy — charakterystyki:

— aktualna ilość elementów (ludzi, techniki, organów dowodzenia)  $N(t)$  oraz ilość nominalna (etatowa)  $\dot{N}$ ,  $N(t) \leq \dot{N}$ ;

— wskaźnik skuteczności bojowej, technicznej i dowodzenia  $D(t)$ ;

— wskaźnik niezawodności działania i gotowości (technicznej)  $R(t)$ ;

— wskaźnik zabezpieczenia materiałowo-technicznego, medycznego i informacyjnego  $Z(t)$ .

Możemy więc przyjąć, że:

$$PB(t) = F[N(t), D(t), R(t), z(t)]$$

gdzie

$$N(t) = \langle N^L(t), N^T(t), N^D(t) \rangle$$

$$D(t) = \langle D^L(t), D^T(t), D^D(t) \rangle$$

$$R(t) = \langle R^L(t), R^T(t), R^D(t) \rangle$$

$$Z(t) = \langle Z^L(t), Z^T(t), Z^D(t) \rangle$$

Z powyższego założenia wynika, że:

$$PB^L(t) = F^L[N^L(t), D^L(t), R^L(t), Z^L(t)]$$

$$PB^T(t) = F^T[N^T(t), D^T(t), R^T(t), Z^T(t)]$$

$$PB^D(t) = F^D[N^D(t), D^D(t), R^D(t), Z^D(t)]$$

Rozpatrzmy kolejne czynniki potencjału bojowego.

Potencjał ludzki jest sumarycznym potencjałem bojowym wszystkich żołnierzy, co przy przyjęciu założeń o jednorodności grup specjalistycznych pozwala na przyjęcie wielkości

$$\sum_{k=1}^{K_L} e_k^L N_k^L(t)$$

jako wielkości potencjału reprezentowanego przez  $K_L$  grup specjalistycznych o odpowiednich licznosciach  $N_k^L(t)$  oraz uogólnionym wskaźniku potencjalnej efektywności  $e_k^L$ ,  $k = \overline{1, K_L}$  w wa-

runkach „idealnych”. Warunki rzeczywiste w chwili  $t$  charakteryzują:

— wskaźnik skuteczności bojowej wyrażający stopień wyszkolenia bojowego i doświadczenia bojowego

$$D_k^L(t) = D_w^L(t) \cdot D_{Dk}^L(t)$$

$D_{wk}^L(t)$  — średnia ocena wyszkolenia bojowego  $k$ -tej grupy

$$0 \leq D_{wk}^L(t) \leq 1$$

$D_{Dk}^L(t)$  — średnia ocena stopnia doświadczenia bojowego  $k$ -tej grupy:  $0 \leq D_{Dk}^L(t) \leq 1$ ;

— wskaźnik niezawodności działania wyrażający zdolność wykonania zadań bojowych i stopień możliwości moralno-psychologicznych

$$R_k^L(t) = R_{Pk}^L(t) \cdot R_{Mk}^L(t)$$

$R_{Pk}^L(t)$  — prawdopodobieństwo wykonania zadania bojowego przez  $k$ -tą grupę:  $0 \leq R_{Pk}^L(t) \leq 1$

$R_{Mk}^L(t)$  — stopień aktualnych możliwości moralno-psychologicznych  $k$ -tej grupy:  $0 \leq R_{Mk}^L(t) \leq 1$ ;

— wskaźnik zabezpieczenia materiałowo-medycznego wyrażający stopień zaspokojenia potrzeb materiałowych (w zakresie żywności, amunicji, umundurowania itp.) i medycznych (w zakresie obsługi medycznej)  $k$ -tej grupy

$$Z_k^L(t) = Z_{Tk}^L(t) Z_{Mk}^L(t)$$

$$0 \leq Z_k^L(t) \leq 1$$

Dla prostego przypadku jako bezwzględny wskaźnik potencjału ludzkiego można przyjąć następującą funkcję

$$PB^L(t) = \sum_{k=1}^{K_L} [e_k^L N_k^L(t) D_k^L(t) R_k^L(t) Z_k^L(t)]$$

zaś jako względny wskaźnik

$$PB_r^L = \frac{PB^L(t)}{\sum_{k=1}^{K_L} e_k^L N_k^L}$$

Postępowanie nie ulegnie zmianie, gdy zamiast grupami specjalistycznymi będziemy posługiwać się stanami określonych jednostek bojowych (np. batalionów).

Potencjał techniczny wyraża całkowity potencjał bojowy wszystkich rodzajów techniki wojskowej. Wyróżnić można następujące grupy techniki:

$k=1$  — czołgi,

$k=2$  — transportery opancerzone i BWP,

$k=3$  — inne pojazdy mechaniczne,

$k=4$  — środki ogniowe artylerii do ognia pośredniego (artyleria lufowa i wyrzutnie raketowe),

$k=5$  — środki przeciwpancerne,

$k=6$  — środki przeciwlotnicze,

$k=7$  — inne środki techniczne.

Analogicznie jak w przypadku potencjału ludzkiego określimy potencjał techniczny bezwzględny

$$PB^T(t) = \sum_{k=1}^{K_T} [e_k^T N_k^T(t) D_k^T(t) R_k^T(t) Z_k^T(t)]$$

oraz względny potencjał techniczny

$$PB_x^T(t) = \frac{PB^T(t)}{\sum_{k=1}^{K_T} e_k^T \dot{N}_k^T}$$

gdzie:  $D_k^T(t)$  — wskaźnik skuteczności bojowej wyrażający możliwości aktywnego lub pasywnego oddziaływania na nieprzyjaciela (np. prawdopodobieństwo zniszczenia określonego celu lub prawdopodobieństwo skutecznej ochrony załogi, obiektu),

$R_k^T(t)$  — wskaźnik niezawodności działania i gotowości technicznej,

$Z_k^T(t)$  — wskaźnik zabezpieczenia materiałowo-technicznego.

Dodajmy, że powyższe wskaźniki lub inny ich zestaw mogą uwzględniać takie wskaźniki jakościowe, jak:

— wskaźnik ruchu i manewru,

- wskaźnik rażenia,
- wskaźnik osłony załogi,
- wskaźnik jakości sprzętu,
- oraz wskaźniki ilościowe typu: powierzchnia rażenia 1 jo \*, ilość zniszczonych celów opancerzonych 1 jo itp. (jako charakterystyki „aktywne” techniki).

Wydaje się, że jako alternatywny sposób określanie potencjału technicznego można przyjąć następujący

$$PB^T(t) = PB_{J_x}^T(t) \left[ 1 - \prod_{k=1}^{K_T} (1 - PB_{x_k}^T(t)) \right]$$

gdzie:

- $PB_{J_x}^T(t)$  — względny potencjał jądrowy strony, określający możliwości w zakresie wykonania uderzeń jądrowych na obiekty nieprzyjaciela:  $0 < PB_{J_x}^T(t) < 1$ ,
- $PB_{x_k}^T(t)$  — względny potencjał bojowy  $k$ -tej grupy techniki bojowej:  $0 < PB_{x_k}^T(t) < 1$ .

Pozostaje określenie potencjału „sterowniczego”, który powinien wyrażać całość możliwości organizacyjno-technicznych reprezentowanych przez organa dowodzenia (dowództwa i sztaby), które tworzą system dowodzenia danej jednostki bojowej (zgrupowania, strony). Jako podstawę kalkulacji przyjmujemy „jednostkowy” potencjał  $e_k^D$  charakteryzujący  $k$ -ty element systemu dowodzenia, zawierający  $N_k^D(t)$  komórek organizacyjnych ( $k=1, 2, \dots, K_D$ ). Z kolei, jako charakterystyki jakościowe proponuje się przyjąć:

- $D_k^D(t)$  — wskaźnik skuteczności działania (np. prawdopodobieństwo poprawnego wykonania zadania informacyjno-decyzyjnego w pożądanym czasie lub prawdopodobieństwo podjęcia decyzji „trafnej”-optymalnej); przy czym

$$D_k^D(t) = D_{Wk}^D(t) D_{Mk}^D(t)$$

gdzie:  $D_{Wk}^D(t)$  — wskaźnik wyszkolenia dowódczo-sztabowego;

$D_{Mk}^D(t)$  — wskaźnik wykorzystania metod i środków wspomagających procesy decyzyjne;

\* jo — jednostka ognia.



$R_k^D(t)$  — wskaźnik niezawodności działania, np.  $R_{Gk}^D(t)$  — wskaźnik gotowości kadry dowódczo-sztabowej,  $R_{Rk}^D(t)$  — wskaźnik niezawodności środków wspomagających do wodzenie;

$Z_k^D(t)$  — wskaźnik zabezpieczenia dowodzenia, np.  $Z_{Mk}^D(t)$  — wskaźnik zabezpieczenia materiałowo-technicznego organów dowodzenia,  $Z_I^D(t)$  — wskaźnik zabezpieczenia informacyjnego organów dowodzenia (np. przez środki rozpoznania, łączności i informatyki).

Wtedy

$$PB^D(t) = \sum_{k=1}^{K_D} [e_k^D N_k^D(t) D_k^D(t) R_k^D(t) Z_k^D(t)]$$

oraz wskaźnik względny

$$PB_x^D(t) = \frac{PB^D(t)}{\sum_{k=1}^{K_D} e_k^D N_k^D}$$

Ponadto proponuje się uwzględnić wskaźnik oceny organizacji współdziałania  $W^D(t)$ , który określa stopień doskonałości organizacji współdziałania dokonanej do chwili  $t$ , przy czym  $W^D(t)=1$  oznacza przeciętny poziom przedsięwzięć wykonanych, natomiast gdy  $W^D(t)=1,5$ , to oznacza doskonałą organizację współdziałania wszystkich jednostek bojowych\*. Wtedy

$$PB^D(t) = W^D(t) \left\{ \sum_{i=1}^{K_D} [e_k^D N_k^D(t) D_k^D(t) R_k^D(t) Z_k^D(t)] \right\}$$

Reasumując, że „trójczynnikiowy” model potencjału bojowego ma następującą postać ogólną

$$PB(t) = a_T [PB^T(t)]^{\beta_T} a_L [PB^L(t)]^{\beta_L} a_D [PB^D(t)]^{\beta_D}$$

lub

$$PB_x(t) = a_L [PB_x^L(t)]^{\beta_L} a_T [PB_x^T(t)]^{\beta_T} a_D [PB_x^D(t)]^{\beta_D}$$

gdzie:  $a_L$ ,  $a_T$ ,  $a_D$ ,  $\beta_L$ ,  $\beta_T$ ,  $\beta_D$  są odpowiednio współczynnikami korekcyjnymi, np.  $a_L + a_T + a_D = 1$  oraz  $\beta_L + \beta_T + \beta_D = 1$ .

\* Zwróćmy uwagę, że gdy  $W^D(t)=1,5$ , to potencjał sterowniczy (w szczególności zaś całkowity potencjał bojowy) wzrasta o 150%. Nie sądzimy jednak, aby organizacja współdziałania zapewniała wyższy wzrost potencjału bojowego w ramach przyjętego modelu.

Określenie wartości liczbowych poszczególnych elementów-składników modelem potencjału bojowego nie jest wcale proste. Wymaga to wielu kalkulacji i analiz, badań poligonowych, ocen ekspertów itp.

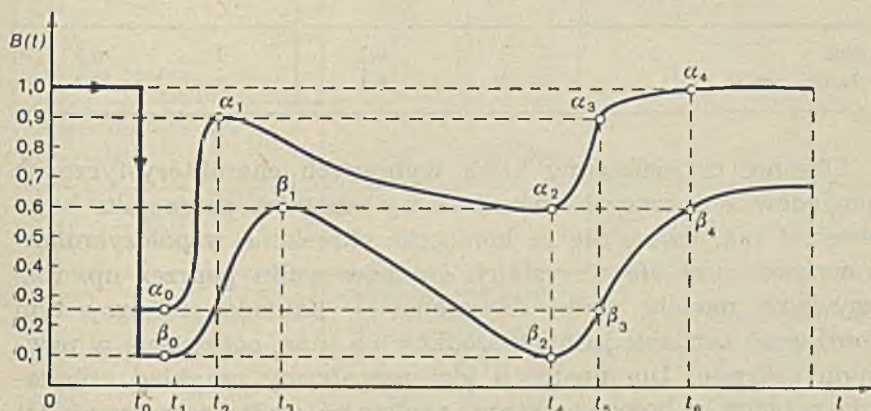
Rozpatrzmy jeden z tych elementów zaliczany do cech jakościowych, a mianowicie tzw. czynnik moralno-psychologiczny. Sięgnijmy do interesującej metody ilościowej oceny czynnika moralno-psychologicznego i jego wpływu na gotowość bojową stanu osobowego. Przyjęto, że użycie broni jądrowej na równi z przejawem niektórych stanów człowieka (trwoga, strach, paniczna bojaźń) wywoła nowe dotychczas nie obserwowane zjawiska psychologiczne. Szczególnie interesujące są badania stanu i działalności ludzi w określonym przedziale czasu, licząc od chwili wykonania uderzenia jądrowego. W przeprowadzonych badaniach wykorzystano dane o wynikach bombardowań Hiroszimy i Nagasaki oraz dokładnie przeanalizowano skutki trzęsień ziemi, cyklonów, tajfunów, wielkich pożarów i powodzi. Ustalono, że te zjawiska w świadomości wielu ludzi kojarzyły się z użyciem broni jądrowej\*.

Rezultatem tych badań było uzyskanie wykresu zmian zdolności bojowej stanu osobowego w czasie pod wpływem czynnika moralno-psychologicznego podczas oddziaływania broni jądrowej (rys. 5.5). Z analizy wykresu wynika, że w chwili uderzenia  $T_0$  następuje natychmiastowe obniżenie zdolności bojowej do minimalnego poziomu (ok. 20—25% zdolności maksymalnych). Przyjęto dwa typy charakterystycznych zmian: jeden (górną granicą

\* 20-minutowe trzęsienie ziemi, które zburzyło w 1963 r. jugosłowiańskie miasto Skopje, wywołało wiele psychologicznych zaburzeń u mieszkańców miasta. Zaburzenia te u 20% mieszkańców znikły stosunkowo szybko, u 70% trwały od kilku godzin do 2—3 dni, a 10% mieszkańców wymagało pomocy medycznej. Podczas nagłego huraganu w 1953 r. w stanie Massachusetts zginęło 94 ludzi, a ucierpiało ok. 1,5 tysiąca. W pierwszych 10 minutach po przejściu huraganu zgłaszający się do szpitali poszkodowani charakteryzowali się stanem głębokiej apatii, a mowa i ruchy były jakby mechaniczne. Potem wielu z nich dziwiło się swoim reakcjom.

Amerykański lotnikowiec *Leonard Wood* storpedowany przez Japończyków zatonął w ciągu 2 minut, a z 900 marynarzy uratowało się tylko 40. Nie wykazywali oni oznak strachu, ale ogarnęła ich apatia, utracili inicjatywę, na pytania odpowiadali niewyraźnie. Zachowanie ich powróciło do normy po upływie 2—3 dni.

umowna), który charakteryzuje zmiany zdolności bojowej składu osobowego o wysokich moralno-psychologicznych wartościach, oraz drugi (dolna umowna granica), charakterystyczny dla niskich wartości moralno-psychologicznych. Zwróćmy uwagę na pewne cechy zmian pierwszego typu, a tam na charakterystyczne punkty  $\alpha_0$  i  $\alpha_4$ . W pierwszym zdolność bojowa ma wartość najniższą  $B(T_0)+0,1=0,25$ , a w punkcie  $\alpha_4$  następuje odtworzenie



5.5. Wpływ czynnika moralno-psychologicznego na efektywność bojową po uderzeniu jądrowym

tych zdolności, lecz jej poziom nie osiąga stanu początkowego (przed uderzeniem jądrowym), np.  $B(T_0)+240=0,95$ . Wynika stąd, że dla optymistycznego charakteru zmian nie odtworzone straty moralno-psychologiczne wynoszą 5%. W czasie pierwszych 5—6 minut zdolność bojowa ludzi o silnym systemie nerwowym spada do 25%, a ze słabym — do 10%. Jednak w następnych 10—20 minutach zdolność bojowa u pierwszych odtwarza się niemal w pełni (do 90%), a u drugich — do 50%. Pełne odtworzenie tych zdolności, tj. do 90% i 50% odpowiednio, nastąpi po 10 dniach od uderzenia jądrowego.

Przedstawione oszacowania mogą być przydatne dla modelu potencjału bojowego, w szczególności do określenia stopnia możliwości moralno-psychologicznych jako determinanty potencjału

ludzkiego. Wydaje się, że w modelu należy przyjmować wartości średnie, podobnie jak w przypadku wszystkich pozostałych czynników.

Tabela 5.2

**Charakterystyki określające możliwości walki czołgów ze środkami przeciwpancernymi**

Obiekty rażenia	Strona A		Strona B	
	$x^A$	$p^A$	$\lambda^B$	$p^B$
Ppk	2	0,2	3	0,3
Działa ppanc	2	0,1	3	0,2

Obecnie przedstawimy kilka wybranych charakterystycznych poglądów dotyczących metod oceny wartości potencjału bojowego. I tak, uważa się za konieczne określanie współczynników równoważności dla wszystkich środków walki poprzez np. rozgrywanie modelu walki dwuosobowej. Zakłada się przy tym możliwość zamiany jednych środków na inne, oczywiście w pewnym zakresie. Dla ilustracji idei rozpatrzmy przykład obliczania potencjału bojowego stron, analizując walkę z czołgami. Do kalkulacji przyjęto zależności znane z prostego modelu Lanchestera. Charakterystyki środków strony A (nacierającej) i strony B (broniącej) przedstawiono w tabeli 5.2 i 5.3.

Tabela 5.3

Typ (i)	Środki	Strona A			Strona B		
		$M_i^A$	$\lambda_i^A$	$P_i^A$	$N_i$	$\lambda_i^B$	$P_i^B$
1	Czołgi	180	2	0,3	52	3	0,5
2	Ppk	35	1	0,35	19	1	0,8
3	Działa ppanc	27	2	0,2	44	3	0,5

Określając możliwości bojowe stron:  $PB^A = M^A \lambda^A p^A$  oraz  $PB^B = N^B \lambda^B p^B$  możemy dokonać prostej oceny wartości stosunku sił, przy czym stosunek sił rozumiany jest jako stosunek możliwości (potencjałów) bojowych stron  $SS = PB^A / PB^B$ .

Wyniki kalkulacji dla poszczególnych środków oraz łącznie dla stron przedstawiono w tabelach 5.4 i 5.5.

Tabela 5.4

Środki rażenia	Możliwości bojowe w walce z czołgami		Stosunek możliwości bojowych
	Strona A	Strona B	
Czołgi	108	79	1,38 : 1
Ppk	12	15	1 : 1,15
Działa ppanc	11	66	1 : 6
Ogólne możliwości bojowe	131	159	1 : 1,2

Tabela 5.5

Obiekty rażenia	Możliwości bojowe czołgów		Stosunek sił
	Strona A	Strona B	
Czołgi	108	78	1,38 : 1
Ppk	72	47	1,53 : 1
Działa ppanc	36	31	1,16 : 1

W powyższym przykładzie możliwości bojowe traktowane są jako wartości oczekiwane strat środków, które strony mogą ponieść w danej walce (operacji), na danym kierunku, na danym etapie, w danej sytuacji itp.

W badaniach nad stosunkiem sił dominuje obecnie dążenie do wyrażenia w nim także jakościowych cech sił i środków. Jednym ze sposobów rozwiązania tego zagadnienia jest stosowanie tzw. współczynników jakościowych, mających charakter pewnych poprawek uwzględniających jako punkt odniesienia pewne wzorce (przyjmujące wartość 1). W tabeli 5.6 przedstawiono pewien przykład tzw. ilościowo-jakościowego stosunku sił.

#### Przykład:

Należy obliczyć stosunek sił w pasie działania związku operacyjnego strony A: ZOA, gdzie bronią się następujące związki taktyczne npla:

Grupy sił i środków	Strona A	Strona B	Ilościowy stosunek sił	Jakościowy stosunek sił
Stan osobowy	31 500	31 000	1,01 : 1	1,25 : 1
Czołgi	316	235	1,34 : 1	1 : 1,11
Środki ppanc	105	165	1 : 1,57	1 : 1,85
Artyleria	210	255	1 : 1,21	1,12 : 1
Wyrz. rakiet.	10	5	2 : 1	1,3 : 1
Bataliony	44	45	1 : 1,02	1 : 1

1 ZTZmech<sup>B</sup>, 2 ZTZmech<sup>B</sup> — w pełnym składzie, 4 ZTPanc<sup>B</sup> — w 75% swego składu faktycznego. Natarcie wykonuje strona A w składzie: 51 ZTZmech, 52 ZTPanc<sup>A</sup> — w pełnym składzie, 55 ZTPanc<sup>A</sup> — w 80% ukompletowania. Należy obliczyć ilościowy i jakościowy stosunek sił na całą głębokość operacji.

W powyższym przykładzie istotne znaczenie ma stosunek czołgów i transporterów opancerzonych strony A do czołgów i środków ppanc strony B. Ilościowy stosunek sił w powyższym przykładzie wynosi 2,34 : 1, a jakościowy 1,5 : 1.

Bardzo interesującym elementem badań systemowych w wojsku związanych z analizą wpływu głównych czynników operacji (walki) na zmianę stosunku sił jest podjęcie próby ilościowego wyrażenia tego wpływu. W jednej z ciekawszych propozycji\* przyjęto następujące czynniki: zaskoczenie (podnosi przewagę ogniową prawie o 30%, tempo natarcia wzrasta 3 razy, straty zmniejszają się 3 razy), zaskoczenie ogniowe (podnosi przewagę ognia konwencjonalnego o 20%), maskowanie (dymami), np. atakujących czołgów (zmniejsza celność środków ogniowych przeciwnika 3—5 razy), modernizacja techniki bojowej (zwiększa przewagę o ok. 10%) itp.

Analiza wpływu poszczególnych elementów operacji (walki) na bieżącą wartość potencjału bojowego i stosunku sił powinna być przedmiotem badań systemowych prowadzonych za pomocą

\* J. Szyszkowski: *Zaskoczenie i próba liczbowego wyrażenia jego skutków*. MW, nr 12, 1981 r.

nowoczesnych narzędzi (metod systemowych i techniki komputerowej).

Istnieje również pogląd, że potencjał bojowy przedstawiać powinien stosunek całokształtu możliwości bojowych danej jednostki bojowej do możliwości bojowych jednostki przyjętej umownie za kalkulacyjną. Dla uzbrojenia przyjmuje się np. „kalkulacyjną jednostkę uzbrojenia” — KJU, a dla związków operacyjnych, związków taktycznych i oddziałów — „dywizję kalkulacyjną” (DK). Potencjały bojowe związków taktycznych i oddziałów z pewnym przybliżeniem można określić stosunkiem sumarycznych potencjałów uzbrojenia rozpatrywanego związku taktycznego (oddziału) do dywizji kalkulacyjnej, np. jeśli sumaryczny potencjał bojowy uzbrojenia danego związku taktycznego wynosi 200 KJU, a dywizji kalkulacyjnej 400 KJU, to oczywiście potencjał bojowy rozpatrywanego związku taktycznego wynosi

$$PB = 200 \text{ KJU} / 400 \text{ KJU} = 0,5 \text{ DK}$$

Wpływ warunków sytuacji bojowej na wielkość potencjałów bojowych może być uwzględniany za pośrednictwem poprawek — współczynników korygujących.

Wykorzystywanie matematycznych modeli operacji pozwala na stosowanie pewnej metody kalkulacji potencjałów bojowych, a mianowicie: rozpatruje się wyjściowe zgrupowanie wojsk takie, że na wybranym odcinku frontu możliwości bojowe stron są równe. Istnieje zatem stan równowagi. Następnie jednej ze stron daje się określony przyrost potencjału bojowego badanego rodzaju broni ( $\Delta PB_i^A$ ), który jest dla strony przeciwnej równoważony przyrostem potencjału jednostek wzorcowych ( $\Delta PB^B$ ). Wtedy potencjał bojowy ( $PB_i^A$ ) jednostki badanego uzbrojenia stanowi stosunek wzorcowego przyrostu do przyrostu założonego

$$PB_i^A = \Delta PB^B / \Delta_i^B PB^B$$

Z powyższego wynika, że podstawą kalkulacji potencjałów bojowych jest stosunek sił stron i związane z nim możliwości wojsk

osiągnięcia określonego powodzenia, które mogą być wyrażone za pomocą prognozowanego tempa ich przesunięć.

Przejdźmy do zaprezentowania innej jeszcze, bardzo ciekawej metody, tzw. QJM (Quantified Judgement Model), stosowanej od 1964 r. przez Research Analysis Corporation w USA. Przedmiotem ilościowej analizy było 60 walk stoczonych na froncie włoskim w latach 1943—1944. Weryfikacja modelu pozwoliła pozytywnie ocenić stopień jego adekwatności, a więc zasadność przyjętych założeń. Zasadniczym przedmiotem badań była efektywność bojowa różnych rodzajów broni, pozwalająca określić tzw. wskaźnik siły stron walczących. Miał on postać następującego wyrażenia

$$S_f = (W_s + W_{mg} + W_{hw})r_n + W_g r_{wg} h_{wg} z_{wg} w_{yg} + W_i r_{wi} h_{wi} + \\ + W_y r_{wy} h_{wy} z_{wy} w_{yy}$$

gdzie pierwszy składnik oznacza siłę bojową piechoty, drugi — artylerii, trzeci — czołgów, a czwarty — wsparcia lotniczego.

W wyrażeniu tym stosowane są oryginalne oznaczenia, a mianowicie:  $W$  — dane poligonowe rażącego działania broni,  $r$  — współczynnik wpływu terenu,  $h$  — współczynnik wpływu warunków meteorologicznych,  $z$  — współczynnik wpływu pory roku,  $f$  — wojska własne,  $e$  — wojska nieprzyjaciela,  $w$  — uzbrojenie,  $s$  — broń strzelecka,  $mg$  — broń maszynowa,  $hw$  — ciężka broń piechoty,  $n$  — piechota,  $g$  — artyleria,  $i$  — wojska pancerne,  $y$  — lotnictwo.

W związku z powyższym, przyjmuje się, że potencjał bojowy strony określa następujące wyrażenie

$$P = S m l e t o b u_s r_u h_u z_u v$$

gdzie:  $S$  — oznacza wskaźnik siły danej strony, a pozostałe czynniki — odpowiednie współczynniki korygujące:  $m$  — manewru,  $le$  — dowodzenia,  $t$  — doświadczenia bojowego,  $o$  — moralno-psychologiczny,  $b$  — zabezpieczenia tyłowego,  $u$  — charakteru zajmowanej pozycji na polu walki,  $v$  — uzgodnienia (współdziałania).



A oto jak określa się niektóre z wyróżnionych współczynników, np. współczynnik manewrowości (mobilności)

$$m_a = M_a - (1 - r_m h_m) (M_a - 1)$$

w którym

$$M_a = \sqrt{\frac{[(N_a + 20J_a + W_{ia})m_{ya} / N_a]}{[(N_d + 20J_d + W_{id})m_{yd} / N_d]}}$$

gdzie:  $M$  — charakterystyka mobilności wojsk ( $a$  — strony nacierającej,  $d$  — strony broniącej się),

$N$  — stan ilościowy ludzi,

$J$  — stan ilościowy pojazdów mechanicznych.

Współczynnik „uzgodnienia” natomiast ma postać następującą

$$V_f = 1 - N \frac{u_v}{r_u} \sqrt{\frac{S_e}{S_f} \frac{v_y v_r}{S_f}}$$

Ponadto określa się tzw. efektywność przestrzenną, czyli możliwość opanowania obszaru należącego do nieprzyjaciela, a także utrzymania rejonu zajmowanego przez wojska własne

$$E_{fsp} = \sqrt{\frac{S_e u_{se}}{S_f u_{sf}} \frac{(4Q - D_e)}{3 D_f}}$$

gdzie:  $Q$  — odległość, na jaką przesunęły się wojska,

$D$  — głębokość ugrupowania wojsk własnych ( $D_e$ ) i nieprzyjaciela ( $D_f$ ).

Dokonuje się także oceny możliwych strat za pomocą następującego wyrażenia

$$E_{fcas} = V_e^2 \left[ \sqrt{\frac{C_{ase} S_f u_{sf}}{C_{asf} S_e u_{se}}} - 10 \sqrt{\frac{C_{asf}}{N_f}} \right]$$

gdzie:  $C_{as}$  — wielkość strat oszacowywana metodą ocen ekspertów.

Do oceny rezultatów walki służą następujące wyrażenia:

a) dla wojsk własnych i sojuszników

$$R_f = M F_f + E_{fsp} + E_{fcas}$$

b) dla wojsk nieprzyjaciela

$$R_e = M F_e + E_{esp} + E_{ecas}$$

Oczywiście, jeżeli  $R_f > 0$ , to sukces odniosą (odniosły) wojska własne, a jeżeli  $R_f < 0$ , to wojska nieprzyjaciela. Analogicznie, jeżeli  $P_f > P_e$ , to sukces wojsk własnych, a jeżeli  $P_f < P_e$ , to sukces wojsk przeciwnika.

Analizując wspomniane walki (bitwy) z okresu II wojny światowej stwierdzono, że jeżeli  $P_f \gg P_e$ , to zwycięstwo odnosili alianci, natomiast gdy  $P_f : P_e = 0,9 \div 1$ , to zwycięstwo należało do Niemców.

Tabela 5.7

Teoretyczny wskaźnik efektywności bojowej (TWEB)

Rodzaj broni	Wartość TWEB
Karabiny:	
— początek XIX w.	36
— koniec XIX w.	153
— 1903 r.	495
Karabiny maszynowe:	
— I wojna światowa	3 463
— II wojna światowa	4 973
Działa:	
— 12-funtowe (XVI w.)	43
— 105 mm	657 215
— 155 mm	1 180 681
Czołgi:	
— I wojna światowa	34 636
— II wojna światowa	935 458
Samoloty myśliwsko-bombowe:	
— I wojna światowa	31 909
— II wojna światowa	1 245 789
Pocisk raketowy (typu V-2)	3 338 370
Ładunki jądrowe (wyb. powietrzne)	
— 20 kt	49 086 000
— 1 Mt	695 385 000

Przedstawiony wyżej model stanowił podstawę analizy systemowej wojen na Bliskim Wschodzie w 1967 i 1973 r. Uzyskane rezultaty były całkowicie poprawne, co potwierdzało walory modelu, a zarazem metody określania potencjałów bojowych i prognozowania wyniku walki.

Empiryczne podejście do zagadnienia określania potencjałów bojowych uzbrojenia zaprezentowano w tzw. metodyce Robinsona opracowanej w 1964 r. Opracowano ilościowe wyrażenie możliwości danego rodzaju uzbrojenia porażenia wojsk w różnych okresach historycznych w ciągu 1 godziny walki i przy założonej gęstości 1 człowiek/m<sup>2</sup>. Możliwości te określa *TWEB* — teoretyczny wskaźnik efektywności bojowej (tabela 5.7). Określono także współczynniki rozśrodkowania wojsk  $K_p$  dla różnych okresów historycznych (tabela 5.9) oraz tzw. *PWEB*, czyli poligonowe wskaźniki efektywności broni dla DPanc USA (tabela 5.8) i poszczególnych rodzajów broni w różnych okresach historycznych (tabela 5.10).

Tabela 5.8

Sumaryczne poligonowe wskaźniki efektywności broni (PWEB) dla DPanc USA

Rodzaj broni	Liczba w DPanc	PWEB
Karabiny maszynowe	13 720	4 720
Miotacze min 81 mm	45	3 240
Miotacze min 106,7 mm	53	4 027
Ppanc <i>DRAGON</i>	135	15 525
Ppanc <i>TOW</i>	90	19 260
203,2 mm hb	12	2 484
155 mm hb	54	10 746
20 mm 6-lufowy <i>Vulcan</i>	24	7 416
Pociski plot. <i>Chaparral</i>	24	2 976
Pociski plot. <i>Redeye</i>	72	4 752
Czołgi średnie	324	296 460
Czołgi lekkie	27	14 013
Śmigłowce szturmowe	9	2 763
<b>Razem</b>		<b>388 382</b>

## Wybrane wskaźniki operacyjno-taktyczne w okresach historycznych

Wskaźniki operacyjno-taktyczne	Okresy historyczne					
	Starożytność	Wojny napoleońskie	Wojna domowa w USA	I wojna światowa	II wojna światowa	Wojna na Bliskim Wsch. (1973 r.)
Powierzchnia rejonu zajmowanego przez wojska [km <sup>2</sup> ]	1	20,12	25,75	248	3 000	4 000
Szerokość frontu × głębokość [km × km]	6,67 × 0,15	8,05 × 2,5	8,58 × 3,0	14 × 17	50 × 60	57 × 70
Gęstość [ludzie/km <sup>2</sup> ]	100 000	4 970	3 883	404	33	25
Współczynnik rozśrodkowania wojsk na polu walki [Kp]	1	20	25	250	3 000	4 000

Ostatecznie do celów kalkulacji operacyjno-taktycznej przyjmuje się, że potencjał bojowy określony jest następująco

$$P = S \prod_{i=1}^n K_i$$

gdzie:  $S$  — doświadczalny tzw. poligonowy wskaźnik efektywności bojowej związku taktycznego (oddziału),

$K_i$  — współczynniki operacyjno-taktyczne określające wpływ poszczególnych istotnych czynników na wartość potencjału bojowego, wyznaczone na ogół metodą ocen ekspertów na podstawie doświadczeń wojennych (głównie z II wojny światowej oraz wojen lokalnych na Bliskim Wschodzie i w Wietnamie).

Oprócz przedstawionych metod znana jest szeroko, dzięki wykorzystywaniu w komputerowych grach wojennych, metoda wy-

## Wartości poligonowych wskaźników efektywności bojowej broni w różnych okresach historycznych

Rodzaje broni	Okresy historyczne				
	Wojny napoleońskie	Wojna domowa w USA	I wojna światowa	II wojna światowa	Wojna na Bliskim Wsch. (1973 r.)
Karabiny					
— pocz. XIX w.	1,8	1,4	—	—	—
— koniec XIX w.	—	6,1	0,66	0,05	—
— 1903 r.	—	—	1,98	0,17	0,12
Karabiny masz.					
— I w. św.	—	—	14,0	1,15	0,87
— II w. św.	—	—	—	1,66	1,24
Działa					
— 12-funtowe XVI w.	2,15	1,72	0,17	—	—
— 105 mm	—	—	—	219,0	164,0
— 155 mm	—	—	—	394,0	295,0
Czołgi					
— I w. św.	—	—	139,0	12,0	9,0
— II w. św.	—	—	—	312,0	234,0
Samoloty myśl.-bobm.					
— I w. św.	—	—	128,0	11,0	8,0
— II w. św.	—	—	—	415,0	311,0
Pociski rąk. (V-2)	—	—	—	1113,0	835,0
Ładunki jąd.					
— 20 kt	—	—	—	16362	12272
— 1 Mt	—	—	—	231795	173846

znaczenia tzw. względnego wskaźnika efektywności bojowej RICE (Relative Index of Combat Effectiveness)\*. Postać tego wskaźnika jest następująca

\* Military Review, 52, nr 3, 1972.

$$RICE = \sum_{i,j,k} \{F_m(N_i CP_i TF_i + N_j CP_j TF_j) + F_a CP_k TF_k\}$$

- gdzie:  $F_m$  — współczynnik nieliniowości (powiązań batalionów),  
 $F_a$  — współczynnik nieliniowości dla da w składzie sił stron,  
 $N_{i(j)}$  — liczba bpanc (i) oraz bp (j),  
 $CP_{i(j,k)}$  — potencjał bojowy bpanc (i), bp (j), da (k),  
 $TF_{i(j,k)}$  — współczynnik wpływu terenu dla wojsk pancernych (i), piechoty (j), artylerii (k).

Dzięki zastosowaniu powyższej metody uzyskano porównawcze dane ilościowe  $RICE$  dla jednostek bojowych własnych i nieprzyjaciela w podstawowych rodzajach działań bojowych (tabela 5.11).

Tabela 5.11

Porównawcze dane efektywności bojowej

Oddziały i pododdziały	Względna efektywność bojowa		
	obrona na zawczasu przygotowanych pozycjach	atak na npla doraźnie organizu- jącego obronę	bój spotkaniowy
Wojska włas.: bpanc	30	24	16
Wojska npla: p	53	42	28,1
Wojska włas.: bp	18	12	6
Wojska npla: p	35	25,6	17,2
Wojska włas.: da	12	9	6
Wojska npla: da	12	9	6

W procesie modelowania walki przyjęto cztery podstawowe rodzaje działań bojowych (atak na npla, atak na npla pośpiesznie przechodzącego do obrony, atak na zawczasu przygotowaną obronę npla, bój spotkaniowy) oraz cztery podstawowe rodzaje terenu (A — odkryta równina, B — teren lesisty, C — teren górzysto-lesisty i błotnisty, D — teren z przeszkodami, np. z szeroką przeszkodą wodną). W rezultacie otrzymano taką charakterystykę

jak średnia normy oczekiwanego przemieszczenia linii styczności wojsk w okresie 12-godzinnej walki (tabela 5.12). Określono

Tabela 5.12

Średnie normy oczekiwanego przemieszczenia przedniego skraju obrony [km]

Rodzaj działań bojowych	Rodzaj terenu			
	A	B	C	D
Atak na npla	14 / 5 / 2	10 / 4 / 1	3 / 1 / 0	2 / 1 / 0
Atak na npla pośpiesznie przechodzącego do obrony	6 / 0 / 0	4 / 0 / 0	2 / 0 / 0	1 / 0 / 0
Atak na zawczasu przygotowaną obronę npla	3 / 0 / 0	2 / 0 / 0	1 / 0 / 0	1 / 0 / 0
Bój spotkaniowy	2 / 0 / -2	1 / 0 / -1	1 / 0 / -1	0 / 0 / 0

Oznaczenie: X / Y / Z: X — zwycięstwo, Y — „remis”, Z — porażka

wartość liczbową tej charakterystyki w przypadku: zwycięstwa, równowagi („remisu”) i porażki. Następnie została określona kolejna charakterystyka, a mianowicie, stopień osłabienia środków walki stron dla podstawowych zadań bojowych również w przypadku zwycięstwa, równowagi i porażki (tabela 5.13).

Na rys. 5.6 przedstawiono wykres zmian względnych strat od początkowego stosunku sił, przy czym straty określa zależność

$$\Pi_s = \frac{100 d}{S}$$

gdzie  $S$  — stosunek sił w chwili rozpoczęcia działań bojowych.

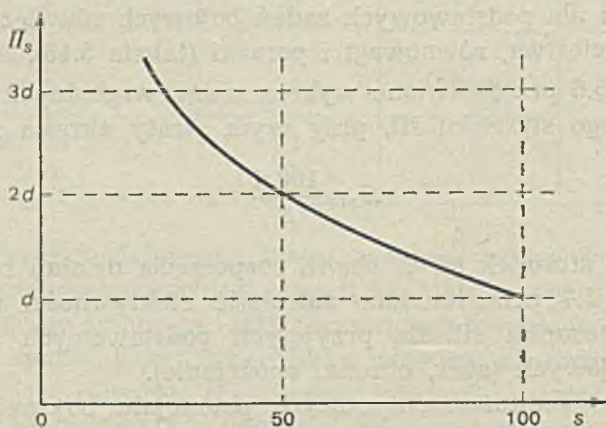
Na rys. 5.7 przedstawiono zależność efektywności walki od wartości stosunku sił dla przyjętych podstawowych rodzajów działań bojowych (atak, obrona, opóźnianie).

Większość rozważań dotyczących potencjału bojowego, efektywności walki itp. wiąże się ściśle z jednym z zasadniczych elementów kalkulacji operacyjno-taktycznych, a mianowicie ze

Stopień osłabienia środków stron [%]

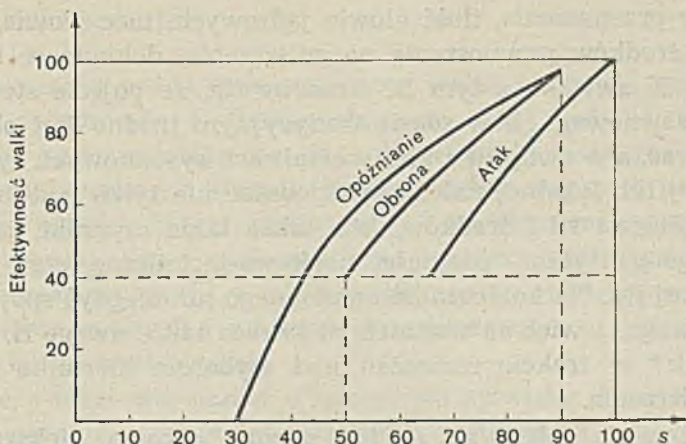
Zadanie bojowe	Zwycięstwo	Remis	Porażka
Atak na npla prowadzącego działania opóźniająca	2	3	4
Atak na npla pośpiesznie przechodzącego do obrony	8	10	10
Atak na zawczasu przygotowaną obronę npla	12	15	15
Bój spotkaniowy	4	6	5
Obrona zawczasu przygotowana	5	7	10
Obrona doraźnie przygotowana	6	8	7
Działania opóźniająca	2	3	4

U w a g a: Jeżeli stosunek osłabienia środków ( $d$ ) strony atakującej do dobowego stopnia osłabienia środków strony broniącej się jest większy od 2, to wskaźnik  $d$  strony atakującej należy pomnożyć przez  $2/3$ , wskaźnik  $d$  strony broniącej się — przez  $3/2$ ; jeżeli stosunek ten jest mniejszy od 0,4, to wskaźnik  $d$  strony atakującej należy pomnożyć przez 2, a strony broniącej się — przez  $1/2$ .



5.6. Zależność względną strat od początkowego stosunku sił





5.7. Zależność efektywności walki od wartości stosunku sił

stosunkiem sił. Dla porównania sił stron walczących nie wystarczy prosty podział pomiędzy strony otrzymanej wartości potencjału bojowego, lecz należy uwzględnić współczynniki korygujące ujmujące fakt, że np. jedna strona naciera, zaś drugi się broni. Istnieje ponadto konieczność uwzględniania oprócz jakościowych cech analizowanych środków walki, także rodzaj zadania bojowego, tzn. należy określać stosunek sił dla zadania bliższego, zadania dalszego, na pełną głębokość itp.

Uważa się także, że niegdyś pojęcie stosunku sił było nieskomplikowane i łatwe do ilościowej interpretacji, oczywiście w warunkach dysponowania niezbędnymi danymi. Jednakże wraz z pojawieniem się broni jądrowej zagadnienie wyraźnie skomplikowało się, a nawet — istnieją poglądy, że stosunek sił w sensie tradycyjnym zachowuje swoje znaczenie jedynie w wojnach lokalnych, gdyż w warunkach wojny globalnej z użyciem broni jądrowej przewaga ilościowa nie ma istotnego znaczenia, jeżeli posiadany potencjał broni jądrowej wystarczy do zniszczenia przeciwnika\*.

Niewątpliwie odgrywają tu rolę takie czynniki, jak: ilość

\* Np. R. Aron: *La notion de rapport de forces a-t-elle encore un sens à l'ère nucléaire?* Def. nat., nr 1, 1976 r.

środków przenoszenia, ilość głowic jądrowych, moc głowic, wrażliwość środków przenoszenia na zniszczenie, dokładność trafienia itp. W związku z tym R. Aron uważa, że pojęcie stosunku sił lub równowagi sił w sensie tradycyjnym trudno jest obecnie zastosować, a w związku z tym w analizach systemowych sytuacji globalnej lub lokalnej należy uwzględniać nie tylko podstawowe dane ilościowe sił i środków, lecz także takie czynniki, jak sytuację geopolityczną, zdolności naukowo-techniczne, stan opinii publicznej itp. Na konieczność odmiennego niż niegdyś spojrzenia na przewagę, a więc na stosunek sił zwraca także uwagę B. Kołodziejczak\* w trakcie rozważań nad wyborem kierunku głównego uderzenia.

Z pewnością należy się zgodzić z tym, że coraz większą rolę w tworzeniu przewagi na kierunku głównego uderzenia odgrywać będzie ogień, a więc stosunek sił w piechocie, szczególnie w działaniach z użyciem broni jądrowej, tracić będzie na znaczeniu. Natomiast nadal istotne znaczenie mieć będzie przewaga w środkach pancernych, przeciwpancernych, w lotnictwie i w środkach przeciwlotniczych.

Można wyrazić przekonanie, że możliwości ścisłego, obiektywnego określania potencjałów bojowych wojsk, a więc i stosunków sił na różnych szczeblach dowodzenia stanowią jeden z metodologicznych czynników efektywności dowodzenia wojskami. Pozwala to prognozować przebieg walki (operacji), a tym samym wpływać na obiektywność i trafność podejmowanych decyzji, zwłaszcza dotyczących takich elementów, jak: wybór kierunku głównego uderzenia, wybór ugrupowania, wielkość sił i środków wzmocnienia i wsparcia na określonych kierunkach itp. Posługiwanie się pojęciem potencjału bojowego i stosunku sił wydaje się być istotnym elementem analizy systemowej procesu walki (operacji) ze względu na systemowy charakter tych cech charakteryzujących systemy walki. Z tych powodów większość znanych matematycznych modeli walki i komputerowych gier wojennych przyjmuje za podstawę te właśnie cechy, choć różnie je interpretuje.

\* B. Kołodziejczak: *Co będzie jutro?* Wyd. MON, Warszawa 1976 r.

#### 4. Zakończenie

Rozważania poświęcone systemom walki obejmują tylko wybrane zagadnienia i dlatego stanowić mogą jedynie pewnego rodzaju wprowadzenie do tej problematyki. Zasygnalizowano kilka problemów, z których każdy mógłby stanowić przedmiot osobnej książki. Mamy tu na myśli i problem matematycznych modeli walki, które, o ile autorowi wiadomo, nie doczekały się dotychczas monografii, a także problem potencjału bojowego różnych (jednorodnych i niejednorodnych) zgrupowań, który nadal budzi liczne kontrowersje.

Należy także wspomnieć o znaczącym zjawisku obserwowanego nadal ograniczonego zainteresowania problemami analizy systemowej walki (operacji) ze strony osób profesjonalnie zajmujących się współczesną sztuką wojenną.

W rozwoju analizy systemowej procesów walki (operacji) dostrzegamy jedno ze źródeł postępu w nowoczesnej myśli wojskowej. Przekonanie to znajduje potwierdzenie w licznych rozprawach i artykułach, a w tym takich autorów radzieckich, jak W. Drużynin i D. Kontorow, J. Wentzel, K. Tarakanow\* i inni.

\* W. Drużynin, D. Kontorow: *Woprosy wojennoj sistiotiechniki*, Moskwa 1976 r.

J. Wentzel: *Issliedowanije opieracii*, Moskwa 1972 r.

K. Tarakanow: *Matematika i woorużennaja borba*, Moskwa 1974 r.

## Systemy techniczne

„Każda forma walki wymaga odpowiedniej techniki i odpowiedniego aparatu”.

(Włodzimierz LENIN)

„Wydaje mi się, że ci, których przerażają postępy techniki, nie odróżniają celu od środków. Kto staje do walki tylko z nadzieją na zdobycie dóbr materialnych, nie zbierze nic, dla czego warto by żyć. Ale maszyna nie jest celem. Samolot nie jest celem, jest narzędziem. Takim samym narzędziem jak piług”.

(Antoine de SAINT-EXUPERY:  
*Ziemia, planeta ludzi*)

### 1. Wprowadzenie

Burzliwy rozwój techniki wojskowej obserwowany po zakończeniu II wojny światowej, a szczególnie wzrost jej złożoności i precyzji funkcjonowania, a także wzrost nasycenia techniką wojsk, dość wcześnie postawił przed siłami zbrojnymi postulat określenia systemowych warunków racjonalnego projektowania i eksploataowania oraz sterowania rozwojem techniki wojskowej. Pojęcie techniki wojskowej obejmuje całokształt technicznych środków bojowych i pomocniczych, wchodzących w skład wyposażenia wojsk. Pod tym pojęciem kryją się różne rodzaje środków technicznych, od broni strzeleckiej do niezwykle złożonych systemów technicznych takich, jak współczesne samoloty, okręty, pociski raketowe i czołgi. W przeszłości efektywność niezbyt skomplikowanej techniki wojskowej zależała od stosunkowo niewielkiej liczby parametrów, natomiast dziś, pod wpływem pojawienia się broni raketowo-jądrowej, zwiększyła się liczba wariantów możliwych konfliktów wojennych, co skomplikowało problemy związane z określeniem wymagań taktyczno-technicznych techniki wojskowej oraz ich optymalnym wykorzystaniem na polu walki.

Systemowe warunki efektywnego funkcjonowania systemów techniki wojskowej (STW) obejmują warunki operacyjno-taktyczne, techniczno-ekonomiczne i badawczo-rozwojowe. Wynikają one z obiektywnych zjawisk charakteryzujących się oddziaływaniem techniki wojskowej na różne sfery życia społecznego, a w szczególności:

- STW zmieniają parametry współczesnego pola walki,
- pod wpływem rozwoju STW dokonują się zmiany w strategii, sztuce operacyjnej i taktyce,
- rozwój STW determinuje rozwój organizacyjny wszystkich rodzajów sił zbrojnych, wojsk i służb, a przede wszystkim działalność służb technicznych,
- STW angażują poważną część potencjału badawczo-rozwojowego współczesnego świata.

Współczesne STW zwiększają potencjał bojowy sił zbrojnych, stwarzając możliwości optymalnych działań każdego systemu wojskowego (ZO, ZT). Powodują np. wzrost możliwości działań konwencjonalnych, których efektywność dorównuje „dolnej granicy” efektywności działań z użyciem taktycznej broni jądrowej. Masowość stosowanych środków technicznych i olbrzymia siła uderzeniowa walczących stron powoduje, że stan techniczny techniki wojskowej wpływa na decyzje dowódców zarówno dotyczące efektywnego użycia środków, jak i odtwarzania gotowości technicznej, będącego celem działania systemów zabezpieczenia materiałowo-technicznego (SZMT). Działanie SZMT, stwarzając warunki niezbędne do realizacji zadań bojowych i szkoleniowych, determinuje z kolei efektywność bojową wojsk. Nowe klasy STW zmuszają do „dopasowywania” do specyfiki ich funkcjonowania możliwości SZMT; stają się tym samym stymulatorem rozwoju organizacyjnego zaplecza materiałowo-technicznego.

Warunki ekonomiczne rozwoju STW związane są ze sferą ekonomiki obrony, a więc koniecznością budowy systemów obronno-gospodarczych, warunkami przygotowania gospodarki na wypadek zagrożenia i konfliktu zbrojnego, sposobami uodpornienia organizmu społeczno-ekonomicznego wobec takich sytuacji itp., a przede wszystkim możliwościami finansowania eksploatacji i rozwoju STW. Niech o skali wydatków budżetowych na rozwój

techniki wojskowej świadczy fakt, że już na początku lat siedemdziesiątych po raz pierwszy jednostkowa cena uzbrojenia przewyższyła miliard dolarów za sztukę! Granicę tę przekroczył koszt budowy nowego lotniskowca o napędzie nuklearnym (bez samolotów i wyposażenia pomocniczego)\*. Należy także podkreślić wzajemne oddziaływanie sfery techniki „cywilnej” i techniki wojskowej. Wystarczy np. przypomnieć, iż potrzeby programu broni jądrowej dostarczyły pierwszych głównych bodźców dla przemysłu komputerowego, zaś oddziaływanie to utrzymało się dzięki potrzebom i wymaganiom systemu obrony powietrznej. Wojskowe zapotrzebowanie na samoloty o wysokich osiągnięciach, a później na pociski raketowe, doprowadziło do dużego przyspieszenia prac w dziedzinie techniki kosmicznej, czego współczesnym przykładem może być tzw. prom kosmiczny. Przemysł lotniczy nie mógłby z pewnością skonstruować takich samolotów, jak *Tu-144*, *Il-62*, czy *Boeing 747* lub *Concorde*, bez uprzednich doświadczeń w dziedzinie bombowców odrzutowych. Oczywiście cywilny program kosmiczny jest bezpośrednim wynikiem wojskowych prac nad pociskami raketowymi, a elektrownie jądrowe — prac nad bombą atomową i atomowym okrętem podwodnym. Przykłady te można mnożyć, gdyż obustronny „transfer innowacji” między sferą cywilną a wojskową jest jednym z charakterystycznych zjawisk całego okresu rozwoju naukowo-technicznego po II wojnie światowej.

Wspomnieć należy również o systemowych warunkach eksploatacyjnych związanych ze stosowaniem współczesnych STW. Określają je następujące zjawiska:

— występujące dysproporcje między wysiłkiem inwestycyjnym i nasyceniem techniką wojsk a niekiedy dalekim od potrzeb poziomem rozwoju systemów eksploatacji;

— rozwój współczesnej techniki wojskowej spowodował, że aktualnie konstruowane techniczne środki bojowe tworzą skomplikowane STW, co powoduje, że eksploatacja stała się odrębną gałęzią kwalifikacji i specyficznej wiedzy;

\* O skali wydatków na STW świadczyć mogą ceny sprzętu RFN (według danych z 1977 r.): czołg *Leopard 2* — 44,7 mln DM, 1 pocisk do *Leoparda* — 2000 DM, samolot — 60 mln DM, śmigłowiec — 10 mln DM, a system wykrywania AWACS — 2,5 mld DM.

— zasady racjonalnej eksploatacji techniki wojskowej należą do „kanonów” współczesnej myśli wojskowej itp.

Z powyższych uwag wynika, że sfera współczesnej techniki wojskowej obejmująca procesy projektowania, eksploatacji i użycia na polu walki jest szczególnie ważnym obszarem nowoczesnych badań systemowych. Ukształtowanie optymalnych warunków systemowych dla tych procesów determinuje efektywność STW.

Na obecnym etapie rozwoju techniki wojskowej charakterystycznymi tendencjami są\*:

— kompleksowa automatyzacja systemów dowodzenia i zarządzania (szczególnie szeroko podejmowane są prace z zakresu zbierania, przetwarzania, zobrazowywania i przekazywania informacji o sytuacji w toku działania systemów radiolokacyjnych i obrony przeciwlotniczej, rozwijane są systemy terytorialnego zarządzania, zwłaszcza zabezpieczenia materiałowo-technicznego);

— tworzenie wielkich — złożonych systemów: środków bojowych, sprzętu technicznego i zespołów ludzkich o wysokiej efektywności ekonomiczno-operacyjnej przeznaczonych do wykonywania zadań na polu walki;

— nasycanie systemów uzbrojenia, poszczególnych rodzajów wojsk i służb, sprzętem technicznym (np. systemy rozpoznania i przeciwdziałania oraz walki radioelektronicznej, środki umożliwiające prowadzenie działań w nocy, rozwój taktycznej broni jądrowej itp.);

— szerokie wykorzystywanie zdobyczy współczesnej elektroniki, mechaniki precyzyjnej, inżynierii materiałowej, matematyki stosowanej i innych dziedzin wiedzy.

Do wymienionych tendencji należy dodać zjawisko postępującego wpływu metodologii badań systemowych na rozwój nauki wojennej oraz rozwój wojskowych zastosowań analizy systemowej i inżynierii systemów.

\* J. Modrzewski: *Problemy budowy i oceny stanu wielkich systemów wojskowych*. Materiały I Szkoły Podstaw Inżynierii Systemów. MON PAN 1976 r.

## 2. Rozwój systemów techniki wojskowej

Na bazie ogólnego rozwoju nauki, techniki i produkcji doskonalili się technika wojskowa, pojawiają się nowe rodzaje i typy broni, wzrasta ich siła rażenia, szybkość działania, zmienia czas przygotowania i użycia. Tak jak u podstaw postępu społeczno-gospodarczego leży zasada maksymalizacji wydajności narzędzi pracy, tak w dziedzinie techniki wojskowej występuje zasada maksymalizacji potencjału bojowego, czyli wzrostu możliwości efektywnego użycia na polu walki.

Rozwój techniki wojskowej stanowi pochodną ogólnego rozwoju technicznego i cywilizacyjnego. Można zatem twierdzić, że wszystkie istotne przemiany techniczne znajdowały swe odbicie w technice wojskowej. Do przemian tych należy przede wszystkim zaliczyć\*:

— rewolucję przemysłową z końca XVII wieku, której istotą było „przekazywanie” mechanizmom tych operacji, które dotychczas wykonywał ręcznie człowiek (podstawę techniczną przewrotu stanowiło zastosowanie silnika parowego);

— przewrót techniczny wywołany elektryfikacją na początku XX wieku, wprowadzający na miejsce energii parowej — elektryczną, a wraz z nią również energię silników spalinowych;

— przewrót organizacyjny związany z racjonalizacją pracy w pierwszej połowie XX wieku, który doprowadził do wzrostu wydajności pracy oraz przygotował przemysł do wdrożenia nowoczesnych procesów technologicznych o wysokim stopniu mechanizacji i automatyzacji produkcji;

— współczesną rewolucję naukowo-techniczną, która przyniosła m.in. jakościowo nową technikę (elektronika, informatyka, automatyka), technologię nowych surowców i energii, technikę komunikacji i transportu itp.

Wszystkie wymienione przemiany wywoływały zasadnicze zmiany w technice wojskowej, której z kolei postęp powodował przemiany w sztuce operacyjnej i taktyce.

Sięgając jeszcze bardziej w odległe czasy można prześledzić

\* W. Spruch: *Ekonomiczne problemy rewolucji naukowo-technicznej*. Wyd. MON 1975 r.



rozwojowe etapy techniki od zarania rozwoju cywilizacyjnego. Do charakterystycznych etapów można zaliczyć\*:

— pierwszą rewolucję techniczną — odkrycie i zastosowanie koła (narzędzia ręczne z rogu i kości, ręczne topory drewniane i kamienne w powszechnym zastosowaniu, specjalistyczne narzędzia ręczne z drewna i kamienia itp.);

— drugą rewolucję techniczną — opracowanie metod wytapiania rud i stopów oraz produkcja kutych narzędzi i broni (ręczne narzędzia metalowe plus energia człowieka i zwierząt);

— trzecią rewolucję techniczną — koniec wojny francusko-pruskiej (rewolucja przemysłowa);

— czwartą rewolucję techniczną — I wojna światowa (środki chemiczne, broń maszynowa);

— piątą rewolucję techniczną — II wojna światowa (elektryczność i telekomunikacja, masowy transport, technika jądrowa);

— szóstą i siódmą rewolucję techniczną — współczesna rewolucja naukowo-techniczna (automatyzacja, transport, telekomunikacja, „chemizacja” i atomizacja).

Przedstawiony proces rozwoju techniki, aczkolwiek oparty na dyskusyjnym wyróżnieniu etapów, pozwala prześledzić przemiany w technice wojskowej od prymitywnych środków rażenia do współczesnych STW. W ten sposób można zlokalizować w procesie rozwojowym takie wydarzenia o rewolucyjnym charakterze, jak pojawienie się: broni białej, broni palnej i broni jądrowej. Stosowanie broni białej spowodowało kolumnowy sposób prowadzenia walki zbrojnej, wyrażający się w kolejnym narastaniu na polu walki jednolitych mas wojowników.

Wprowadzenie broni palnej obejmowało trzy zasadnicze etapy:

— powszechne wykorzystanie broni palnej gładkolufowej,

— wykorzystanie broni palnej gwintowanej,

— wykorzystanie broni palnej maszynowej.

Szczególne znaczenie dla rozwoju sposobów prowadzenia walki miało wprowadzenie broni maszynowej. Przemiany w sztuce wojennej pogłębił osiągnięty w okresie II wojny światowej poziom rozwoju czołgów, samolotów i dział artyleryjskich. Okres po

\* J. McHale: *Rozmiary zmian*. W: *Technika i społeczeństwo*. Antologia. T. 1. PIW 1974 r.

II wojnie światowej przyniósł wiele radykalnych przemian systemowych, których źródła należy widzieć w zjawisku rewolucji naukowo-technicznej. Pogłębia się wpływ techniki na różne sfery życia społecznego.

Wśród nowych zjawisk wywołanych rozwojem techniki, a rozwojem techniki wojskowej w szczególności, na uwagę zasługuje powstanie tzw. supertechniki. Obejmuje ona tworzenie przez zespoły ludzkie złożonych systemów środków materialnych (technicznych) i organizacyjnych oraz sprzężonych z nimi systemów informacyjnych w celu realizacji określonych celów społecznych, politycznych, gospodarczych i militarnych. To zaś zjawisko przyniosło nowe problemy, w tym także psychologiczne, socjologiczne i kulturowe, dotyczące przede wszystkim nowej roli człowieka działającego wśród systemów technicznych. Wprowadzenie do uzbrojenia nowych środków walki, wciąż doskonalszej techniki wojskowej pociąga za sobą nieuchronnie zmiany w sposobach prowadzenia działań bojowych. Jednakże decydującym czynnikiem rozwoju sztuki wojennej — od chwili jej powstania do dnia dzisiejszego — był, jest i pozostanie człowiek. Nowe środki walki coraz bardziej stają się zależne od człowieka, od przygotowania żołnierza, któremu się je powierza. Powstaje wszakże problem nowy, niejako wzajemnego „dopasowania” podstawowych ogniów pewnego systemu, którego zasadniczymi podsystemami jest człowiek (grupa ludzi) i technika wojskowa. Okazuje się bowiem, że w łańcuchu „człowiek — technika — człowiek — itd.” często najsłabszym ogniwiem, w sensie niezawodnościowym, jest człowiek. Racjonalne oddziaływanie na niezawodność wszystkich ogniów, przy czym formy tego oddziaływania są różne, np. w zależności od struktury systemu, liczby jego elementów itp., jest jednym z podstawowych źródeł wzrostu efektywności całego systemu. Wyłania się zatem kolejny problem systemowy i nowa grupa systemów rzeczywistych, a mianowicie systemy „człowiek — technika”, nazywane systemami socjotechnicznymi. Systemem socjotechnicznym nazywać będziemy system złożony z co najmniej dwóch systemów współdziałających przy realizacji określonego celu, przy czym jednym z nich jest człowiek (zespół ludzi), a drugim — urządzenie techniczne (system techniczny).

Ze względu na podstawowe cechy systemowe powiemy, że system socjotechniczny jest systemem:

— niejednorodnym, ponieważ występują w nim obiekty niejednorodne (biologiczne i techniczne),

— nieelementarnym, gdyż nawet w najprostszych przypadkach człowieka traktuje się jako system,

— minimalnym, gdyż usunięcie człowieka prowadzi do utraty cech systemowych,

— niezupełnym, gdyż dołączenie nowego elementu (człowieka lub urządzenia) nie powoduje przekształcenia systemu w inny,

— uporządkowanym, ponieważ elementy są uporządkowane w zależności od celu działania,

— nieimmanentnym, gdyż relacja systemotwórcza może występować także między elementami nie należącymi do danego systemu;

— nieautonomicznym — ze względu na to, że poszczególne elementy systemu nie wykazują podstawowych wspólnych cech.

Jedną ze szczególnie ważnych cech systemów socjotechnicznych jest występowanie w nich sprzężeń rozwojowych, wyrażających się np. w tym, że człowiek permanentnie doskonali swoje umiejętności, podnosząc tym samym system na inny, wyższy poziom funkcjonowania (efektywności), pomimo że nie zmienia się stan obiektu technicznego.

Sformułujmy zatem wniosek następujący: współczesne STW ukształtowane w procesie RNT należą do klasy systemów socjotechnicznych. Uściślijmy przy tym, że STW obejmować będą złożone kompleksy techniczno-ludzkie zawierające specyficzny rodzaj techniki stosowanej jako środki bojowe (walki), której cechy systemowe odzwierciedlają właściwości sztuki wojennej. Możemy więc powiedzieć, że STW obejmują całokształt urządzeń technicznych, których przeznaczeniem jest wspomaganie ludzi w realizacji celów sił zbrojnych lub całokształt złożonych narzędzi działania stosowanych przez ludzi w walce zbrojnej.

Przyjmując jako podstawę rozważań charakter zasadniczych funkcji spełnianych przez ludzi w procesie walki wyróżniono następujące rodzaje STW:

— bojowe środki rażenia (niszczenia),

- bojowe środki przenoszenia,
- bojowe środki transportu,
- bojowe środki kierowania (dowodzenia).

Powyższe rodzaje techniki wojskowej wyróżniono w aspekcie historycznym w kolejności ich pojawiania się na polu walki. Ponadto można do nich zaliczyć także bojowe środki komunikowania (informowania), jednak nie uczyniliśmy tego ze względu na stosunkowo niewielkie różnice pomiędzy środkami wojskowymi a „cywilnymi” z jednej strony, z drugiej zaś — uważamy, że środki te zawierają się w ostatnim z wymienionych wyżej rodzajów techniki wojskowej.

Poszczególne rodzaje techniki wojskowej stanowiłyby jedynie zbiór określonych urządzeń technicznych, gdyby nie były rozpatrywane w sprzężeniach ze stosującymi je ludźmi. Celowe jest skupienie uwagi w analizie rozwojowej STW na zjawisku „integrowania się” elementów technicznych i ludzkich, czyli powstawania systemów „człowiek — technika wojskowa” — specyficznych systemów socjotechnicznych

Ze względu na specyficzne cechy tych systemów, wynikające z charakteru funkcji spełnianych przez technikę wojskową, wyróżniono cztery podstawowe etapy rozwoju STW (tabela 6.1)\*:

- I etap: przejście przez technikę wojskową funkcji rażenia (niszczenia);
- II etap: przejście przez technikę wojskową funkcji przenoszenia (miotania);
- III etap: przejście przez technikę wojskową funkcji transportu;
- IV etap: przejście przez technikę wojskową funkcji sterowania (kierowania).

W każdym z wyróżnionych etapów powstawał nowy rodzaj STW typu socjotechnicznego, a mianowicie:

- system „człowiek — techniczne (bojowe) środki rażenia” (w etapie I),
- system „człowiek — techniczne (bojowe) środki przenoszenia” (w etapie II);

\* A. P u p k o: *Sistiena: Czietowiek i wojennaja technika*, Moskwa 1976 r.  
 A. P u p k o: *Czietowiek i technika v sistiemie uprawlenija wojskami*, Moskwa 1974 r.

Podstawowe etapy rozwoju systemu „człowiek — technika bojowa”

Podstawowe funkcje bojowe	Podstawowe cechy etapów			
	Etap I: Przekazywanie urzędzeniu technicznych funkcji rażenia (niszczenia)	Etap II: Przekazywanie urzędzeniu funkcji przenoszenia (miotania)	Etap III: Przekazywanie urzędzeniu funkcji transportu	Etap IV: Przekazywanie urzędzeniu funkcji dowodzenia (kierowania)
Rażenie (niszczenie)	Bojowe środki rażenia (kopia, miecz, topór itp.)	Bojowe środki rażenia (strzała, miotacze + pociski + granaty)	Bojowe środki rażenia (pociski + fugasy + amunicja chemiczna, biologiczna)	Bojowe środki rażenia (pociski + amunicja chemiczna, biologiczna itp. + broń jądrowa)
Przenoszenie	Człowiek	Bojowe środki przenoszenia (łuk, kusza, kaptuła + działo, strzelba)	Bojowe środki przenoszenia (działo, karabin + karabin maszynowy)	Bojowe środki przenoszenia (karabin, działo + karabin maszynowy + rakiety różnego typu)
Transport	Człowiek	Człowiek	Bojowe środki transportu (czołg, transporter opanc. samolot itp.)	Bojowe środki transportu (czołg, samolot itp. + atomowy okręt podwodny, samolot, okręt nosiciel pocisków raketowych)
Kierowanie	Człowiek	Człowiek	Człowiek	Bojowe środki kierowania (człowiek + automatyczne urządzenia techniczne)
Charakter systemu techniki bojowej	Bojowe środki rażenia	Bojowe środki rażenia + bojowe środki przenoszenia	Bojowe środki rażenia + bojowe środki przenoszenia + bojowe środki transportu	Bojowe środki rażenia + bojowe środki przenoszenia + bojowe środki transportu + bojowe środki kierowania
Typ systemu „człowiek - technika bojowa”	„Człowiek - broń rażąca”	„Człowiek - broń miotająca”	„Człowiek - pojazd bojowy”	„Człowiek - bojowy kompleks zautomatyzowany”

— system „człowiek — techniczne (bojowe) środki transportu” (w etapie III),

— system „człowiek — techniczne (bojowe) środki automatyzacji sterowania” (w etapie IV).

Istota rozwoju STW polega więc na zmianach charakteru wykorzystywanych przez ludzi narzędzi walki, wyrażanych przechodzeniem od stosowania środków mechanicznych do stosowania środków zautomatyzowanych, przy czym przemiany rewolucyjne rozpoczynały się zawsze od środków niszczenia, następnie zmieniały się środki przenoszenia i dopiero potem pozostałe rodzaje środków. Zwróćmy również uwagę na to, że w trzech pierwszych z wyróżnionych etapów funkcję sterowania realizowali tylko i wyłącznie ludzie, czyli np. systemy dowodzenia były „czystymi” systemami społecznymi. Natomiast w etapie IV systemy te stały się już systemami socjotechnicznymi, a przykładów tych przemian dostarcza analiza współczesnych zautomatyzowanych systemów dowodzenia i kierowania ogniem\*.

Systemy socjotechniczne, a w szczególności STW są od wielu już lat przedmiotem intensywnych badań naukowych różnego typu (tabela 6.2), w tym także badań prowadzonych metodami

Tabela 6.2

Udział poszczególnych typów badań w badaniach systemów socjotechnicznych

Typ badań	Udział [%]	
	ZSRR	USA
Metodologiczne	10,8	8,8
Psychofizjologiczne	35,4	30,6
Pedagogiczne	6,2	7,1
Eksploatacyjne	2,5	2,3
Matematyczne	23,0	24,7
Cybernetyczne	12,1	14,2
Systemowe	10,0	12,3

Źródło: *V. V e n d a : Inżynierskaja psichologija i sintez sistiem otobrażenija informacii Moskwa 1975 r.*

\* P. Sienkiewicz, M. Szczepaniak, W. Więckowski: *Informatyka w dowodzeniu*. Wyd. MON (w przygotowaniu).

inżynierii systemów. Te ostatnie, ze względu na interdyscyplinarny charakter, stają się metodami o zasadniczym znaczeniu.

Na zakończenie uwag dotyczących rozwoju STW rozpatrzmy pewien uproszczony model. STW w procesie jego funkcjonowania, w każdej chwili czasu, charakteryzuje pewna wartość potencjału, który nazwiemy potencjałem socjotechnicznym. Wyrażać on będzie chwilowy stan możliwości STW do realizacji zadań bojowych (szkoleniowych)

$$P_{STW}(t) = F[X_C(t), X_M(t), X_{CM}(t)]$$

gdzie:  $X_C(t)$  — wektor wartości charakteryzujących człowieka jako element systemu,

$X_M(t)$  — wektor wartości charakteryzujących technikę wojskową jako element systemu,

$X_{CM}(t)$  — wektor wartości cech charakteryzujących interakcje człowieka i urządzeń technicznych.

Funkcja  $P_{STW}(t)$  określa stopień możliwości realizacji określonych zadań, wynikający z integracji funkcjonalnej elementów systemu: człowieka i techniki. W szczególności funkcja ta może wyrażać wielkość tzw. efektu synergii.

Przyjmijmy ponadto, że można wyróżnić trzy podstawowe typy integracji funkcjonalnej w STW:

- I — niski stopień integracji (człowiek stosuje technikę jako narzędzie),
- II — średni stopień integracji (człowiek „dopasowuje” cechy urządzeń do swoich potrzeb i możliwości),
- III — wysoki stopień integracji (występuje „wzajemne dopasowywanie” cech człowieka i techniki).

Wprowadzając pewien współczynnik  $a$  stopnia integracji funkcjonalnej w STW, taki że:  $a^I < a^{II} < a^{III}$ , określa się zjawisko stopniowości wartości potencjału STW, czyli

$$P_{STW}(a^I) < P_{STW}(a^{II}) < P_{STW}(a^{III})$$

co wyraża fakt, że wraz ze wzrostem stopnia integracji funkcjonalnej w systemie, wzrasta wartość potencjału STW. Temu wzrostowi towarzyszą na ogół dwa zjawiska rozwojowe:

— wzrost możliwości techniki wojskowej (doskonalenie parametrów taktyczno-technicznych urządzeń technicznych),

— wzrost możliwości ludzi stosujących technikę wojskową (doskonalenie umiejętności ludzi).

Przyjąć można również tezę, że potencjał bojowy wojsk jest funkcją potencjału STW, czyli  $PB \equiv \Phi(P_{STW})$ , a zatem jako ogólną prawidłowość rozwoju sił zbrojnych przyjmujemy: jednym z podstawowych czynników rozwoju sił zbrojnych (wzrostu potencjału bojowego) jest rozwój systemów techniki wojskowej (wzrost potencjału socjotechnicznego), wyrażających rozwój technicznych środków walki i możliwości wykorzystujących je ludzi.

Zapewnienie praktycznej realizacji sformułowanej tezy wiąże się m.in. z koniecznością kształtowania podstawowych cech systemowych techniki wojskowej, a w szczególności właściwości eksploatacyjnych.

### 3. Analiza eksploatacyjna systemów techniki wojskowej

Na wstępie sprecyzujemy pojęcie urządzenia technicznego jako podstawy tworzenia pojęcia systemu technicznego. Desygnatem pojęcia urządzenia technicznego jest dowolny obiekt techniczny bez względu na to, czy jest on mały, duży, prosty, złożony, mechaniczny, elektryczny itp. Każde urządzenie charakteryzuje się pewnymi cechami ogólnymi, a mianowicie\*:

— jest ono celowym wytworem człowieka z materii nieożywionej,

— ma określone przeznaczenie (zbiór możliwych zastosowań),

— ulega uszkodzeniom i wymaga obsługi technicznej,

— ma skończoną trwałość,

— może być celowo wykorzystane tylko przez człowieka,

— przechodzi w swojej historii przez kolejne fazy: konstrukcji (projektowania), produkcji i eksploatacji,

— może być rozwijane (ulepszane),

— składa się z elementów itp.

Wszystkie urządzenia można podzielić na różne grupy, np. na

\* J. Konieczny, wyd. cyt.



urządzenia: zasadnicze i pomocnicze, jednorazowego i wielorazowego użytku, naprawialne i nienaprawialne, jednofunkcyjne i wielofunkcyjne, przewoźne i nieprzewoźne, zasileniowe i informacyjne itp.

Ze względu na realizowane funkcje i zadania urządzeń tworzących technikę wojskową przyjmujemy, w ramach analizy właściwości operacyjno-taktycznych i techniczno-eksploatacyjnych, że najistotniejsze znaczenie ma niezawodność urządzeń, jako cecha systemowa i podstawowa charakterystyka eksploatacyjna każdego urządzenia. W teorii niezawodności badającej urządzenia z punktu widzenia ich niezawodności funkcjonowania wyróżnia się urządzenia proste i urządzenia złożone (systemy techniczne). Urządzeniem prostym jest obiekt traktowany jako niepodzielna całość (element), natomiast przez urządzenie złożone (system) rozumie się zorganizowany zbiór urządzeń prostych — elementów.

Miarą niezawodności urządzenia jest prawdopodobieństwo tego, że wartości parametrów określających istotne własności urządzenia nie przekroczą w ciągu okresu  $(0, t)$  dopuszczalnych granic w określonych warunkach eksploatacji urządzenia lub — niezawodność urządzenia jest to jego własność określona prawdopodobieństwem, że urządzenie będzie sprawne w ciągu określonego okresu  $(0, t)$ .

Z powyższego określenia wynika, że założono, iż urządzenie jest obiektem co najmniej dwustanowym, tzn. mogącym się znajdować bądź w stanie zdatności (sprawności), bądź w stanie niezdatności (niesprawności).

W pierwszej kolejności określimy niezawodność urządzenia prostego (elementu). Niech czas od początku eksploatacji do pierwszego uszkodzenia elementu wynosi  $T$ . Ponieważ uszkodzenie może nastąpić w losowo zmieniającej się chwili  $T$ , więc  $T$  jest zmienną losową o dystrybucji

$$F(t) = Pr\{T < t\}$$

a wtedy funkcja niezawodności jest nierosnącą funkcją czasu

$$R(t) = 1 - F(t)$$

Niezawodność elementu w chwili  $t$  jest prawdopodobieństwem sprawnej (bezawaryjnej) pracy elementu przez co najmniej  $t$  jednostek czasu. Funkcja  $R(t)$  z definicji jest funkcją malejącą,  $R(0)=1$ , lewostronnie ciągłą, oraz  $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t)=0$ .

Jeżeli czas pracy elementu jest zmienną losową ciągłą, a  $f(t)$  jest gęstością prawdopodobieństwa rozkładu tej zmiennej losowej oraz  $R(t) > 0$ , to niezawodność elementu można scharakteryzować za pomocą tzw. intensywności uszkodzeń  $\lambda(t)$ , zdefiniowanej następująco

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = - \frac{\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)}$$

Jeżeli intensywność uszkodzeń jest dana, to niezawodność elementu określa następująca zależność

$$R(t) = \exp \left[ - \int_0^t \lambda(x) dx \right], \quad t \geq 0, \quad R(t) > 0$$

a zatem funkcja całkowalna  $\lambda(t)$  jest intensywnością uszkodzeń wtedy i tylko wtedy, gdy

$$\lambda(t) \geq 0, \quad t > 0$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t \lambda(x) dx = \infty$$

Gdy czas pracy elementu ma rozkład wykładniczy, to

$$R(t) = e^{-\lambda t}, \quad \lambda(t) = \lambda = \text{const}$$

natomiast, gdy  $T$  ma rozkład Weibulla

$$R(t) = e^{-\lambda t^a}$$

$$\lambda(t) = \lambda a t^{a-1}, \quad t > 0, \quad a > 0, \quad \lambda > 0$$

Elementy, dla których intensywność uszkodzeń rośnie, nazywamy elementami starzejącymi się. Dla nich określono oszacowania funkcji niezawodności\*: jeżeli intensywność uszkodzeń elementu jest funkcją nie malejącą

\* B. Kopociński: *Zarys teorii odnowy i niezawodności*, WNT 1977 r.

$$\lambda(t_1) \leq \lambda(t_2), \quad 0 < t_1 < t_2$$

to niezawodność elementu można oszacować od dołu

$$R(t) > e^{-t/T}, \quad t < T,$$

gdzie  $T$  jest średnim czasem pracy elementu.

Jeżeli rozkład  $F(t)$  ma rosnącą intensywność uszkodzeń oraz  $\kappa_p$  jest  $p$ -tym kwantylem rozkładu  $F(t)$ ,  $F(\kappa_p) = p$ , to

$$R(t) \geq e^{-at}, \quad t \leq \kappa_p$$

$$R(t) \leq e^{-at}, \quad t \geq \kappa_p$$

gdzie

$$a = -\frac{\log(1-p)}{\kappa_p}$$

Jeżeli intensywność uszkodzeń spełnia warunek

$$0 < \frac{1}{a} \leq \lambda(t) \leq \frac{1}{\beta} < \infty, \quad 0 \leq t < \infty,$$

to znane są następujące oszacowania

— funkcji niezawodności

$$e^{-t/\beta} \leq R(t) \leq e^{-t/a}$$

— funkcji gęstości

$$\frac{1}{a} e^{-t/\beta} \leq f(t) \leq \frac{1}{\beta} e^{-t/a}$$

—  $r$ -tego momentu \*

$$\mu_r = \int_0^{\infty} t^r f(t) dt$$

$$\beta^r \leq \frac{\mu_r}{\Gamma(r+1)} \leq a^r, \quad r > -1$$

— średniego czasu pracy elementu

$$\inf \lambda(t) \leq \frac{1}{\mu_1} \leq \sup \lambda(t)$$

\*  $\Gamma(r+1)$  jest tzw. funkcją gamma.

Zagadnieniem zasadniczej wagi w praktyce eksploatacyjnej techniki wojskowej jest badanie niezawodności różnych elementów w różnorodnych warunkach eksploatacji. W tym celu organizowane są eksperymenty, w których obserwuje się czas pracy próbnych elementów poddanych warunkom zbliżonym do normalnej eksploatacji. Eksperymenty te są często bardzo kosztowne i długotrwałe. Zmusza to do poszukiwania specjalnych technik prowadzenia eksperymentów i bardzo precyzyjnej teorii statystycznej, która pozwoliłaby najlepiej wykorzystać wszystkie informacje w eksperymentach (tabela 6.3). Nowoczesne siły zbrojne potrzebują bowiem elementów, które charakteryzują się wysokim poziomem niezawodności.

Tabela 6.3

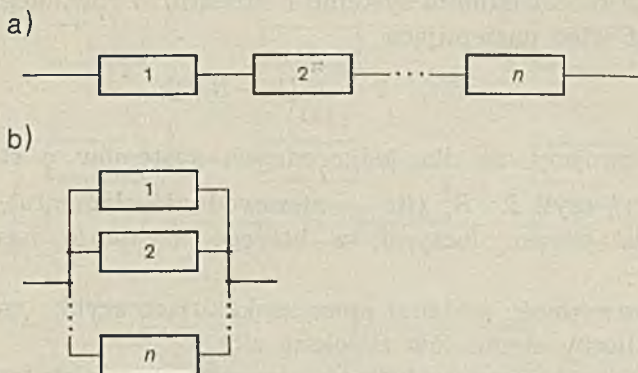
Przyczyna uszkodzeń elementów systemu	Typ rozkładu czasu pracy elementów
Zużycie ogólne	normalny lub Weibulla
Korozja	normalny
Zużycie zmęczeniowe	logarytmo-normalny lub Weibulla
Uszkodzenia początkowe	logarytmo-normalny lub Weibulla
Uszkodzenie losowe	wykładniczy
Awarie mieszane	normalny, Weibulla lub wykładniczy

Wykorzystując podstawowe założenia teorii niezawodności rozpatrzmy podstawy określania niezawodności urządzeń złożonych — systemów technicznych.

Strukturę systemu, który jest sprawny, gdy co najmniej  $k$  dowolnych spośród  $n$  jego elementów, nazywa się strukturą typu  $(n, k)$ . Struktura typu  $(n, n)$  jest nazywana strukturą szeregową niezawodnościowo, czyli system o strukturze szeregowej jest sprawny wtedy i tylko wtedy, gdy wszystkie elementy, od których zależy sprawność systemu, są sprawne.

Struktury typu  $(n, k)$ ,  $k < n$ , są nazywane strukturami z nadmiarem, czyli gdy jakiś element utraci sprawność, funkcje jego przejmują pozostałe elementy, niektóre lub wszystkie, dopóki sprawnych jest co najmniej  $k$  spośród  $n$  elementów systemu. Struktury typu  $(n, 1)$ ,  $n > 1$ , są nazywane strukturami równo-

ległymi niezawodnościowo, czyli system staje się niesprawny wtedy i tylko wtedy, gdy wszystkie jego elementy utraciły sprawność. System ma strukturę mieszaną, gdy stanowi on kombinację struktur typów  $(n, n)$  i  $(n, k)$  o  $k < n$  (rys. 6.1).



6.1. Podstawowe typy struktur systemów:  
a — szeregową, b — równoległą

Rozpatrzmy system o strukturze typu  $(n, n)$ , przy czym dane są czasy sprawnej pracy (do pierwszego uszkodzenia) poszczególnych elementów  $T_i$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ . Czas pracy tego systemu określony jest następująco

$$T = \min (T_1, T_2, \dots, T_n)$$

Oznaczmy przez  $F_i(t) = Pr\{T_i < t\}$ ,  $i=1, 2, \dots, n$  dystrybuanty czasu pracy elementów. Zakładając, że czasy pracy są niezależne otrzymujemy rozkład czasu pracy systemu

$$F(t) = Pr\{T = \min (T_1, T_2, \dots, T_n) < t\} = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - F_i(t)]$$

Wtedy niezawodność systemu o strukturze szeregowej określa następująca funkcja

$$R(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t)$$

Utrzymując w mocy założenia poprzednie, określamy czas pracy systemu o strukturze równoległej

$$T = \max(T_1, T_2, \dots, T_n)$$

a wtedy rozkład jego dany jest w postaci wyrażenia

$$F(t) = \Pr\{T = \max(T_1, T_2, \dots, T_n) < t\} = \prod_{i=1}^n F_i(t)$$

Funkcja niezawodności systemu o strukturze równoległej określona jest więc następująco

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)]$$

Przypomnijmy, że dla jednorodnych systemów o strukturze typu  $(n, n)$ , czyli  $R = R_e^n$  ( $R_e$  — niezawodność elementu), obowiązuje tzw. prawo iloczynu, z którego wynikają następujące wnioski\*:

— niezawodność systemu może zaskakująco szybko zmniejszać się, gdy liczba elementów zwiększa się;

— istnieją sytuacje, w których o niepowodzeniu systemu decydują nie najmniej pewne, najbardziej zawodne elementy, lecz najbardziej pewne (niezawodne), jeśli jest ich dużo;

— wtedy, gdy niezawodności elementów o najmniejszej niezawodności są bardzo małe lub gdy elementów o małej niezawodności jest dużo, więc doskonalenie elementów najbardziej niezawodnych może być niecelowe.

Następną grupę systemów stanowią systemy o strukturze mieszanej: szeregowo-równoległej lub równoległo-szeregowej (rys. 6.2).

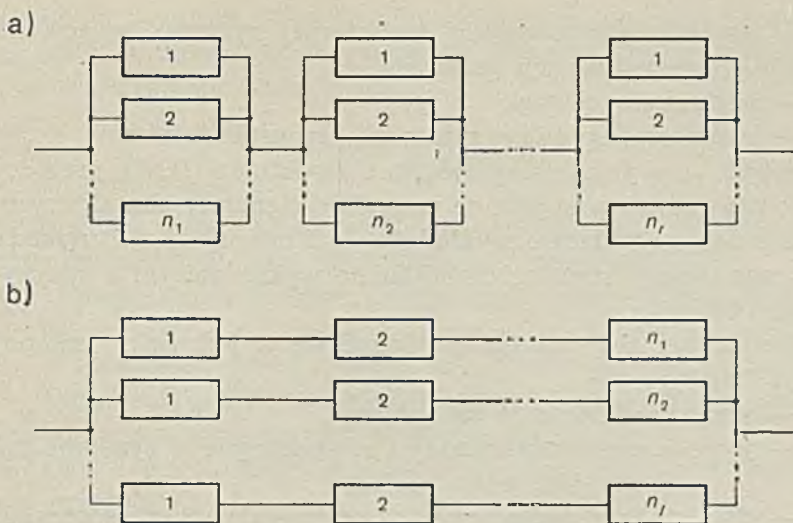
Niezawodność systemu o strukturze szeregowo-równoległej określa funkcja

$$R(t) = \prod_{r=1}^k \left\{ 1 - \prod_{i=1}^{n_r} [1 - R_{ri}(t)] \right\}$$

gdzie  $R_{ri}(t)$ ,  $i=1, 2, \dots, n_r$  oznacza niezawodność  $i$ -tego elementu w  $r$ -tym podsystemie równoległym, natomiast niezawodność systemu o strukturze równoległo-szeregowej

$$R(t) = 1 - \prod_{l=1}^P \left[ 1 - \prod_{i=1}^{n_l} R_{li}(t) \right]$$

\* A. Kiliński: *Jakość*. WNT 1979 r.



6.2. Podstawowe mieszane struktury systemów:  
 a — szeregowo-równoległa, b — równoległo-szeregowa

gdzie  $R_{ii}(t)$ ,  $i=1, 2, \dots, n$  oznacza funkcję niezawodności  $i$ -tego elementu w  $l$ -tym podsystemie szeregowym.

Znacznie trudniejszą do analizy eksploatacyjnej klasę systemów technicznych stanowią tzw. systemy naprawialne, w których uszkodzenia usuwane są w trakcie eksploatacji. Usunięcie uszkodzenia nazywane jest obsługą (naprawą, remontem lub odnową). Złożoność spotykanych modeli systemów naprawialnych wynika z przyjęcia takich warunków, jak np.:

- stosowanie urządzeń (elementów) rezerwowych,
- ograniczona liczba obsług  $i$  (lub) ograniczona liczba elementów zapasowych,
- obecność urządzeń oczekujących na obsługę, tzn. ograniczona wydajność systemu obsługi technicznej,
- nieskuteczność kontroli itp.

Modele systemów technicznych naprawialnych, pozwalające na analizę niezawodności, oparte są, w większości przypadków, na modelach procesów (łańcuchów) Markowa. Najczęściej stosowanymi miarami zdolności eksploatacyjnych naprawialnych systemów technicznych są:

— współczynnik gotowości technicznej systemu będący wartością graniczną funkcji gotowości,

— średni czas obsługi,

— średni czas sprawnej pracy między uszkodzeniami.

Rozpatrzmy jednorodny system o strukturze  $(N, N)$ , przy czym dla uproszczenia przyjęto, że wszystkie elementy charakteryzują: czas pracy o rozkładzie wykładniczym i intensywności uszkodzeń  $\lambda$  i czas obsługi również o rozkładzie wykładniczym i intensywności obsługi  $\mu$ .

System ten może zatem znajdować się w jednym z następujących stanów:

0 — wszystkie elementy są sprawne,

1 — jeden element uszkodzony i równocześnie w systemie przeprowadzona jest jedna obsługa,

2 — dwa obiekty uszkodzone i równocześnie przeprowadzane są w systemie dwie obsługi lub jedna obsługa (drugi element oczekuje na obsługę), itd. aż wreszcie

$N$  —  $N$ -elementów systemu jest uszkodzonych i w systemie przeprowadza się odpowiednią liczbę obsług (w zależności od liczby ekip remontowych).

Dla systemu o strukturze szeregowej wymaga się, aby wszystkie elementy systemu były sprawne, czyli funkcja gotowości określona jest następująco

$$G(t) = P_0(t)$$

lub dla warunków stacjonarnych

$$G = \lim_{t \rightarrow \infty} P_0(t) = P_0$$

gdzie

$$P_0 = \left[ \sum_{n=0}^{k-1} \frac{N!}{(N-n)! n!} e^n + \sum_{n=k}^N \frac{N!}{(N-n)! k!} e^k \left( \frac{\rho}{k} \right)^{n-k} \right]^{-1}$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

Analiza niezawodności systemu o strukturze równoległej niewiele różni się od analizy przedstawionej uprzednio. Jeżeli system może znajdować się w  $N+1$  stanach ponumerowanych, tak jak



poprzednio, od 0 do  $N$ , przy czym stanom sprawności odpowiadają stany o numerach nie większych od  $k$ , to funkcję gotowości systemu określamy następująco

$$G(t) = \sum_{i=0}^k P_i(t)$$

Procedurę niezawodnościowej analizy systemu technicznego można przedstawić jako ciąg następujących czynności

1. Określenie dla danego systemu typu struktury niezawodnościowej.
2. Wybór zasad obsługi technicznej (liczby ekip obsługowych).
3. Określenie grafu stanów eksploatacyjnych systemu i wyznaczenie intensywności przejść między stanami.
4. Określenie na grafie stanów sprawności i stanów niesprawności systemu.
5. Wyznaczenie macierzy prawdopodobieństw przejść  $P$ .
6. Wybór miar niezawodności (gotowości) systemu i wyznaczenie ich na podstawie macierzy  $P$ .

Dla analizy eksploatacyjnej STW istotne znaczenie ma podział systemów na trzy podstawowe klasy\*:

a) systemy, które nie mogą być obsługiwane w trakcie realizacji zadania. Miarą niezawodności tej klasy systemów jest prawdopodobieństwo sprawnej pracy w określonym przedziale czasu  $\Delta t$ :  $P(\Delta t)$ ;

b) systemy, które powinny być gotowe do pracy w dowolnej chwili czasu i pracować poprawnie w określonym przedziale czasu (systemy te znajdują się przez długi okres w stanie oczekiwania na zadania, a realizowane zadania są krótkotrwałe). Miarą niezawodności tej klasy systemów jest prawdopodobieństwo właściwego ich wykorzystania, czyli  $P(t, \tau)$  — prawdopodobieństwo, że system w chwili  $t$  będzie sprawny i będzie pracował bez uszkodzeń w przedziale czasu  $\tau$

$$P(t, \tau) = G(t) P_0(\tau)$$

$P_0(\tau)$  — prawdopodobieństwo poprawnej pracy systemu w przedziale czasu  $\tau$ ;

\* W. Zamojski: *Teoria i technika niezawodności*. Wrocław 1976 r.

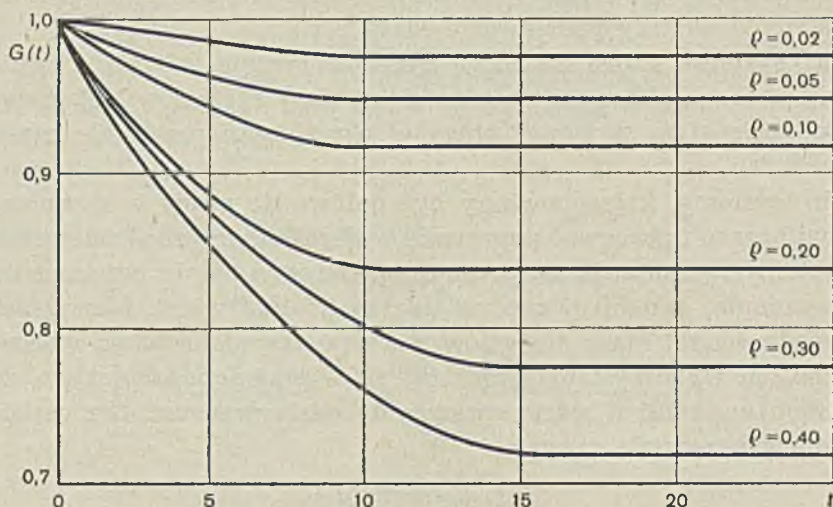
c) systemy, od których wymaga się sprawnego działania w długim okresie, zaś okres ten zależy między innymi od czasu obsługi systemu. Miarą niezawodności systemów tej klasy jest funkcja gotowości systemu  $G(t)$ .

Przyjmując w analizie eksploatacyjnej aspekt operacyjno-taktyczny jako zasadniczy punkt widzenia, należałoby uwagę skoncentrować na ogólnych zasadach wyznaczania funkcji gotowości, jako podstawowej charakterystyki STW.

Niech  $G(\tau)$  oznacza prawdopodobieństwo, że system w dowolnej chwili znajduje się w stanie sprawności oraz  $P(t, \tau)$  prawdopodobieństwo, że system znajdując się w stanie sprawności w chwili  $t$  będzie nadal bezawaryjnie pracował w czasie  $\tau$ . Wtedy można określić tzw. gotowość operacyjną  $G_0(t, \tau)$  następująco \*

$$G_0(t, \tau) = G(t) P(t, \tau)$$

Dla wykładniczych rozkładów czasu pracy i czasu obsługi współczynnik gotowości systemu określa wyrażenie (rys. 6.3)



6.3. Współczynnik gotowości technicznej systemów

\* J. Jaźwiński: *Wyznaczanie gotowości operacyjnej obiektu*. [W:] Podstawowe problemy zarządzania systemem utrzymania ruchu maszyn i urządzeń. Wrocław 1980 r.

$$G(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}$$

a stacjonarny współczynnik gotowości

$$G = \lim_{t \rightarrow \infty} G(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$$

Aby wyznaczyć prawdopodobieństwo  $P(t, \tau)$ , niezbędne jest wprowadzenie funkcji  $\psi(t)$ , wyrażającej średni czas pracy systemu od ostatniej obsługi technicznej do chwili  $t$ . Stacjonarną wartość tej funkcji określa wyrażenie

$$\psi = \lim_{t \rightarrow \infty} \psi(t) = \frac{E(T) + V(T)}{2[E(T) + E(\Theta)]}$$

gdzie  $E(t)$  i  $E(\Theta)$ , odpowiednio, wartości oczekiwane czasów pracy i obsługi,  $V(t)$  — wariancja zmiennej losowej  $T$ .

Dla wykładniczych rozkładów zmiennych  $T$  i  $\Theta$  otrzymujemy

$$\psi(t) = \frac{\mu}{\lambda(\lambda + \mu)} + \frac{\lambda + \mu}{\lambda\mu} e^{-\lambda t} - \frac{\lambda}{\mu(\lambda + \mu)} e^{-(\lambda + \mu)t}$$

oraz

$$\psi = \frac{\mu}{\mu(\lambda + \mu)}$$

Charakterystyka  $P(t, \tau)$  wyznaczona jest ze wzoru

$$P(t, \tau) = \exp \left[ - \int_{\psi(t)}^{\psi(t) + \tau} \lambda(x) dx \right]$$

Stacjonarna gotowość operacyjna systemu

$$G_0(\tau) = G \exp \left[ - \int_{\psi}^{\psi + \tau} \lambda(x) dx \right]$$

Przedmiotem analizy będzie obecnie system o tzw. strukturze „ $k$  z  $N$ ”, czyli gdy co najmniej  $k$  spośród  $N$  elementów systemu znajduje się w dowolnej chwili  $t$  w stanie gotowości. Dla systemu jednorodnego podstawowe stacjonarne charakterystyki mają następującą postać

$$G_s = \sum_{i=k}^N \binom{N}{i} G^i (1-G)^{N-i}$$

$$P_{0s}(\tau) = \sum_{i=k}^N \binom{N}{i} G^i (1-G)^{N-i} \left\{ \sum_{j=k}^i \binom{i}{j} [P(\tau)]^j \cdot [1-P(\tau)]^{i-j} \right\}$$

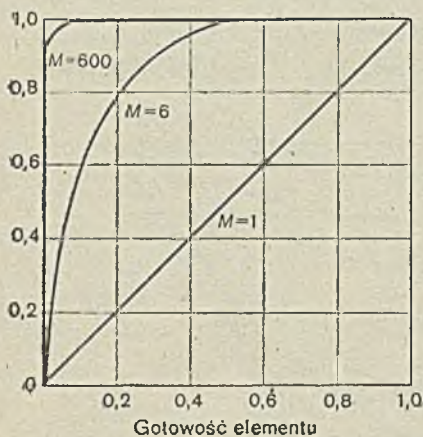
Jeśli system ma szeregową strukturę, tj. gdy  $k=N$ , to jego gotowość operacyjną określa wzór

$$P_{0s}(t, \tau) = [G(t) P(t, \tau)]^N$$

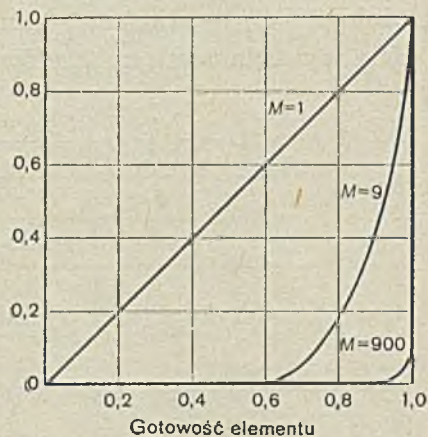
natomiast dla szeregowej struktury, tj. gdy  $k=1$  otrzymuje się

$$P_{0s}(t, \tau) = 1 - \{[1 - G(t)] [1 - P(t, \tau)]\}$$

Na rys. 6.4a i 6.4b przedstawiono zależność gotowości systemu od gotowości jego elementów.



a)



b)

#### 6.4. Zależność gotowości systemów od gotowości elementów:

a — struktura równoległa (co najmniej jeden z  $M$  elementów znajduje się w stanie gotowości), b — struktura szeregową ( $M$  elementów znajduje się w stanie gotowości)

Podczas analizy niezawodności systemu „człowiek — technika” pominięcie specyficznych cech obu zasadniczych podsystemów może doprowadzić do istotnych błędów systemowych. Dlatego w pierwszej kolejności należy określić różnice pomiędzy człowiekiem a maszyną. Do nich zaliczymy przede wszystkim:

— części maszyny są wzajemnie niezależne i nie istnieją między nimi układy kompensacyjne, mające tak duże znaczenie w żywym organizmie;

— funkcjonowanie maszyny ma charakter skokowy, co oznacza, że między stanami funkcjonowania i bezruchu nie ma stanów pośrednich, u człowieka natomiast czynności psychofizjologiczne mają charakter ciągły, zaś stany przejściowe, takie jak np. zaburzenia świadomości, sen, utrata przytomności, bywają przyczyną błędów w działaniu;

— działanie maszyny ma charakter liniowy, co znaczy, że odpowiedź wyjściowa jest sumą odpowiedzi na poszczególne sygnały; u człowieka natomiast reakcja końcowa jest odpowiedzią wypadkową na wszystkie uzyskane na wejściu informacje.

Trudno jest więc zastosować do człowieka ten sam model niezawodności i gotowości co do urządzenia technicznego, gdyż trudno definicji o niezawodności przyjmowanej dla systemów technicznych pogodzić z faktem, że np. człowiek popełnia ok. 1—2% błędów w warunkach optymalnych. Ponadto dla tych błędów często nie można podać przyczyny, gdyż nie są znane mechanizmy ich powstania. Spotykany jest również pogląd, że niezawodność człowieka należy badać w warunkach ekstremalnych, czyli na granicy nadmiernych przeciążeń i granicy deprywacji, gdyż warunki optymalne nie są w stanie ujawnić indywidualnych cech niezawodnościowych, lecz tylko cechy związane z kwalifikacjami i zdolnościami.

Do podstawowych cech określających niezawodność człowieka jako elementu systemu socjotechnicznego zalicza się:

— jakościowe i ilościowe cechy wyposażenia technicznego stanowiska pracy, warunki technologiczne i organizacyjne procesu pracy i warunki otoczenia;

— cechy fizyczne i zdrowotne;

— kwalifikacje i zdolności;

— cechy temperamentalne i emocjonalne;

— cechy procesów poznawczych i charakterologicznych.

Można zatem sformułować wniosek, że o niezawodności systemów socjotechnicznych decyduje nie obiekt techniczny a czło-

wiek — ten mniej sprawny i trudno wymierny, ale plastyczny i uniwersalny podsystem.

Z punktu widzenia systemowej analizy eksploatacyjnej, uwagę zwracają trzy modele systemu socjotechnicznego, a mianowicie:

1) model deterministyczny systemu, w którym zakłada się, że działanie człowieka jest w pełni zalgorytmizowane;

2) model niedeterministyczny (probabilistyczny) systemu, w którym działanie człowieka oparte jest o określone wcześniej algorytmy, jednak sygnały (bodźce) i chwile ich pojawienia się nie są człowiekowi znane;

3) model growy (rozgrywający) systemu, w którym działanie człowieka jest całkowicie heurystyczne; nie są mu znane wszystkie warianty sytuacji, w których musi podejmować decyzje.

Zwróćmy uwagę na jeszcze jeden problem eksploatacyjny techniki wojskowej, który musi zostać rozwiązany w procesie analizy systemowej STW. Jest nim problem wyboru najefektywniejszej formy odnowy (reprodukcji) urządzeń technicznych, który w szczególności wymaga oceny efektywności (taktycznej, technicznej i ekonomicznej):

- a) remontu kapitałnego ( $E_R$ ),
- b) modernizacji ( $E_M$ ),
- c) wymiany sprzętu ( $E_W$ ).

W ocenie uwzględnia się np. wartość efektywności bojowej względem efektywności techniczno-eksploatacyjnej, na którą zasadniczy wpływ mają koszty eksploatacyjne. Dwie pierwsze z wymienionych form, tj. remont kapitałny i modernizacja, traktowane są alternatywnie. W przypadku niskiej ich efektywności względnej rozpatrywana jest, jako alternatywa, forma trzecia — wymiana analizowanego sprzętu na sprzęt nowej generacji. Wtedy jako kryterium wyboru formy optymalnej stosuje się warunek efektywności bezwzględnej dla danego STW

$$E^* = \max(E_R, E_M, E_W)$$

Omówiono wybrane elementy analizy eksploatacyjnej systemów technicznych, przede wszystkim zaś te, które determinują efektywność działania urządzeń. Analiza eksploatacyjna stanowi istotny składnik analizy systemowej wszystkich STW.

#### 4. Analiza systemowa techniki wojskowej

Rozwój nowoczesnej techniki wojskowej wymaga rozwiązywania wielu problemów konstrukcyjnych, ekonomicznych, eksploatacyjnych, taktycznych itp. Problemy te mają pewną wspólną cechę, a mianowicie wymagają dokonywania wyborów optymalnych wariantów systemów techniki wojskowej, a więc zmuszają do prowadzenia złożonej analizy decyzyjnej. Należy ona do zbioru działań podejmowanych przez organa odpowiedzialne za badania i rozwój techniki wojskowej. Mówiąc o konieczności wyborów optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych, eksploatacyjnych i organizacyjnych, mamy na myśli rozwiązania optymalne w sensie maksymalizacji efektywności bojowej STW. Analiza STW w aspekcie efektywności bojowej, będąca w istocie badaniem wielkości efektów i kosztów (nakładów, strat) stanowi zasadniczą cechę analizy systemowej.

Omawiając problemy analizy systemowej STW skoncentrujemy uwagę, w zasadzie, na dwóch zagadnieniach, a mianowicie:

- zasadach wyboru optymalnego wariantu STW oraz
- określeniu optymalnych wymagań taktyczno-technicznych (WTT) dla projektowanych STW.

Pierwsze zagadnienie sformułujemy w sposób następujący: badana jest pewna klasa STW, dla której określono zbiór kryteriów oceny efektywności

$$E = \{E_k : k \in \mathcal{K}\}$$

STW charakteryzuje zbiór parametrów  $X \subset R^N$ , a wartość  $k$ -tego kryterium dla  $x \in X$  oznaczmy  $E_k(x) \in R$  oraz  $Y_k = \{E_k(x) \in R, x \in X\}$  oznacza zbiór wartości  $k$ -tej funkcji efektywności  $E_k$ .  $Y$  oznacza rozszerzoną przestrzeń kryterialną

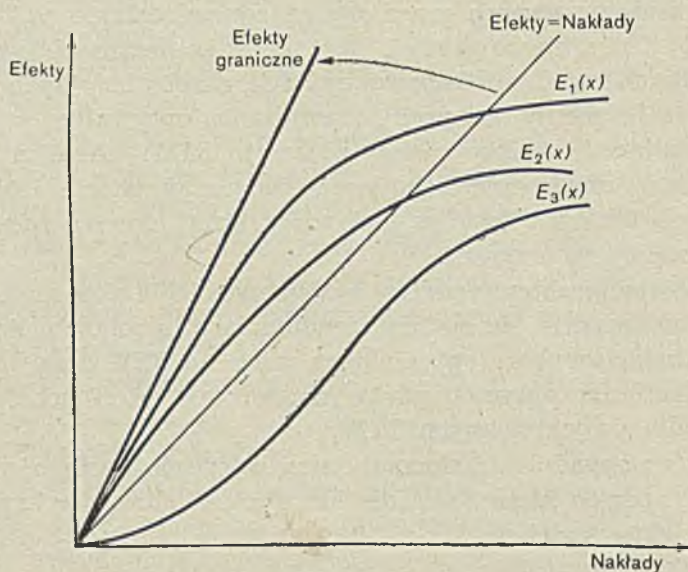
$$Y = Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_K, \quad K = \text{card } \mathcal{K}$$

Optymalnym rozwiązaniem problemu wielokryterialnej maksymalizacji efektywności STW na zbiorze  $X$  nazywamy zbiór  $X^* \subset X$ , taki że

$$X^* = \{x^* \in X : E_k(x^*) = \sup_{x \in X} E_k(x) \text{ dla każdego } k \in \mathcal{K}\}$$

Należy zwrócić uwagę na to, że w wielu przypadkach okazuje się, że  $X = \emptyset$  i dlatego często dąży się do uzyskania rozwiązań suboptymalnych. Zbiór  $X \neq \emptyset$  określa optymalny wariant STW.

W wielu przypadkach dokonując wyboru STW stosuje się analizę koszt-efekt w sensie ekonomicznym, przy czym pojęcie kosztów może być rozszerzone o np. oczekiwaną wartość strat danego STW na hipotetycznym polu walki. Na rys. 6.5 przedstawiono



6.5. Analiza systemowa w kategoriach „efekty — nakłady” na przykładzie zadania polioptymalizacji

pewną typową sytuację, w której dane są krzywe przedstawiające efekty w funkcji kosztów dla trzech różnych wariantów STW. Dla wszystkich wariantów występuje pewne nasycenie, tzn. przy bardzo dużych nakładach nie można już przekroczyć określonej granicy efektów. Porównując trzy krzywe można podać tzw. zbiór kompromisów, który tworzą odcinki krzywej leżące najdalej na lewo w górę. Ten zbiór kompromisów jest rozwiązaniem zadania polioptymalizacji: minimalizacja nakładów i maksymalizacja efektów. Dla wszystkich wariantów efekty muszą być



większe niż poniesione koszty, co przedstawia wprowadzona na rysunku prosta nachylona pod kątem  $45^\circ$  jako dolna granica racjonalnego (np. ekonomicznie uzasadnionego) wariantu. Zagadnienie polioptymalizacji zostało tu zredukowane do maksymalizacji pojedynczego kryterium efektywności, tj. stosunku efektów do nakładów\*.

Zagadnienie zilustrujemy jeszcze jednym przykładem. Założmy, że istnieje konieczność wyboru jednego z dwóch typów samolotów myśliwskich, charakteryzujących się tą samą ceną i osiąganymi taktyczno-technicznymi. Efektywność samolotów określają dwa wskaźniki:  $P_1$  — prawdopodobieństwo zniszczenia w walce samolotu nieprzyjacielskiego,  $P_2$  — prawdopodobieństwo zniszczenia samolotu przez samolot nieprzyjacielski. Dla analizowanych typów samolotów wartości wskaźników są następujące: dla samolotów pierwszego typu  $P_1^{(1)}=0,6$  i  $P_2^{(1)}=0,4$ , a dla drugiego typu:  $P_1^{(2)}=0,8$  i  $P_2^{(2)}=0,7$ . Do celów analizy decyzyjnej przyjmujemy sytuację, w której zadaniem samolotów jest osłona obiektów, bombardowanych przez nieprzyjaciela. Np. 100 obiektów jest osłanianych przez 50 samolotów, zaś pierwszego dnia w nalocie bierze udział 50 samolotów nieprzyjaciela, które na podejściach atakują analizowane samoloty. Każdy nie zniszczony samolot nieprzyjaciela wykonuje uderzenie na jeden obiekt rażąco z prawdopodobieństwem 0,8. Uderzenie wykonują codziennie wszystkie ocalałe samoloty nieprzyjaciela, a w odpieraniu ataku uczestniczą ocalałe samoloty osłaniające objekty.

W celu oceny efektywności samolotów konstruuje się model opisujący przebieg działań bojowych samolotów i funkcjonowanie obiektów. Za pomocą modelu określono zakres produkcji osłanianych obiektów przemysłowych  $D$ , zrealizowanej w ciągu 10 dni, a także średnią ilość samolotów osłaniających obiekt  $M$  i samolotów nieprzyjaciela  $N$ , pozostałych do końca tego okresu działań. Dla przyjętych warunków uzyskano następujące rezultaty: dla samolotów pierwszego typu:  $D^{(1)}=800$ ,  $M^{(1)}=20$ ,  $N^{(1)}=0$  oraz dla samolotów drugiego typu:  $D^{(2)}=910$ ,  $M^{(2)}=8$ ,  $N^{(2)}=0$ . Wyływa

\* M. Peschel, C. Riedel: *Polioptymalizacja. Metody podejmowania decyzji kompromisowych w zagadnieniach inżynierjno-technicznych*. WNT 1979 r.

stąd wniosek, że skuteczność obrony obiektów przez samoloty drugiego typu była  $\frac{910}{800}=1,15$  razy większa niż samolotów pierwszego typu, jednakże należy zwrócić uwagę na liczbę pozostałych samolotów pierwszego typu, która była  $\frac{20}{8}=2,5$  raza większa niż samolotów drugiego typu.

Powstaje więc kolejny problem decyzyjny, który można rozwiązać wprowadzając pewną ogólną funkcję „wartościującą” uzyskane rezultaty, tj. przypisując określoną użyteczność zarówno produkcji obiektów, jak i strat samolotów:  $U^{(i)}=u(D^{(i)})+u(M^{(i)})$ , gdzie  $i=1, 2$ . Należy, po prostu, określić: czy bardziej „użyteczna” jest z punktu widzenia pewnych globalnych celów wielkość produkcji obiektów osłanianych, czy przydatność pozostałych po atakach nieprzyjaciela samolotów. Przyjęto taką funkcję użyteczności, dla której uzyskano następujące rezultaty:

$$E^{(1)}=u^{(1)}=u(D^{(1)})+u(M^{(1)})=80+10=90,$$

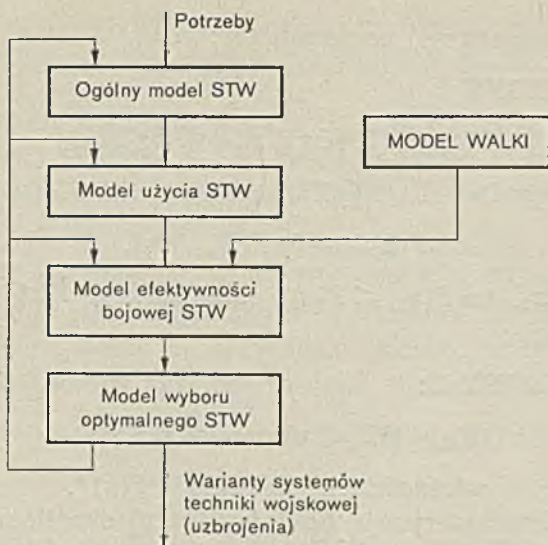
$$E^{(2)}=u^{(2)}=u(D^{(2)})+u(M^{(2)})=90+5=95,$$

skąd zaś wynika, że należy dokonać wyboru samolotów drugiego typu, którego efektywność jest o  $95-90=5$  jednostek użyteczności wyższa.

Stosowanie typowych „ilorazowych” i „różnicowych” wskaźników oceny efektywności jest w wielu wypadkach nieskuteczne. Konieczne jest więc wykorzystywanie bardziej złożonych wskaźników oceny, pozwalających na głębsze uwzględnianie potrzeb bojowych (przyjętych preferencji).

Analiza decyzyjna, której celem jest wybór optymalnego wariantu STW, zawiera dylemat następujący: czy zagadnienie optymalizacji można sprowadzić do optymalizacji jednokryterialnej, w której posługujemy się globalnym wskaźnikiem oceny efektywności, czy do optymalizacji wielokryterialnej, w której np. możliwe jest wyznaczenie zbioru kompromisów.

Ogólny schemat analizy systemowej STW, w wyniku której należy określić optymalny STW, przedstawiono na rys. 6.6. Wy różnić w nim można pewne zasadnicze etapy:



6.6. Schemat analizy systemowej techniki wojskowej

- opracowanie ogólnego modelu walki (dwustronnej),
- opracowanie modelu użycia STW z uwzględnieniem reakcji możliwych nieprzyjaciela,
- opracowanie modelu efektywności bojowej STW,
- opracowanie modelu wyboru optymalnego (zadowalającego) STW.

Należy jednocześnie pamiętać o tym, co wyraził N. Wiener: „Efektywność danej broni zależy od tego, jaką drugą bronią można jej przeciwstawić” \*.

Drugie podstawowe zagadnienie zastosowania analizy systemowej w badaniu STW sformułowano następująco: dla danej klasy STW określono przestrzeń parametrów taktyczno-techniczno-ekonomicznych  $X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_k$ , gdzie  $X_k$  — zbiór wartości parametrów  $k$ -tego rodzaju oraz przestrzeń parametrów  $Y = Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_L$ , charakteryzujących STW nieprzyjaciela stosowane do zwalczania STW badanej klasy (grupy). Przyjęto do analizy sytuację konkurencyjną, w której uczestniczą dwie strony: STRONA I (parametry  $X$ ) i STRONA II (parametry  $Y$ ). Znane są

\* N. Wiener: *Cybernetyka i społeczeństwo*. KiW, Warszawa 1960 r.

funkcje zapotrzebowań na parametry:

— dla STRONY I:

$$F(x) = P(X < x), \quad x_{\min} < x < x_{\max}$$

przy czym  $F(x) \geq 0$  dla  $x \in X$

$$F(x_{\min}) = 0, \quad F(x_{\max}) = 1,$$

jeżeli  $x_1 \leq x_2$ , to  $F(x_1) \leq F(x_2)$  oraz funkcja  $F(x)$  jest prawostronnie ciągła;

— dla STRONY II:

$$G(y) = P(Y \leq y), \quad y_{\min} < y < y_{\max}$$

o analogicznych własnościach jak funkcja  $F(x)$  \*.

Sytuację charakteryzuje funkcja  $M(x, y)$  określona na zbiorze  $X \times Y$ .

Zasadniczy problem analizy systemowej sformułujemy następująco: dana jest funkcja  $M(x, y)$ ; należy znaleźć taką funkcję zapotrzebowania na parametr  $x \in X: F(x)$  oraz taką funkcję zapotrzebowania na parametr  $y: G(y)$ , aby funkcja

$$E(F, G) = \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} M(x, y) dF(x) dG(y)$$

czyli funkcja oczekiwanych efektów STRONY I przyjmowała wartość maksymalną.

Wprowadzając wartości

$$x' = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \in [0, 1]$$

$$y' = \frac{y - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} \in [0, 1]$$

problem sprowadza się do gry dwuosobowej typu ciągłego, a wtedy

$$E(F, G) = \int_0^1 \int_0^1 M(x', y') dF(x') dG(y')$$

\* Z. Karolak, W. Miszalski, E. Olearczuk: *Modele efektywności urządzeń*. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, z. 3 (19), 1974 r.

Przypomnijmy, że jeżeli

$$\max_F \min_G E(F, G) = \min_G \max_F E(F, G) = V$$

to  $V$  nazywa się wartością gry dla STRONY I, czyli istnieje taka funkcja  $F^*$ , że STRONA I uzyska co najmniej  $V$ , niezależnie od decyzji STRONY II, tj.  $\min_G E(F^*, G) = V$ . Zatem  $E(F^*, G) \geq V$

dla dowolnego  $G$ . Analogicznie istnieje funkcja  $G^*$  taka, że  $E(F, G^*) \leq V$  dla dowolnego  $F$ . Dlatego  $F^*$  i  $G^*$  nazywają się, w języku teorii gier, optymalnymi strategiami mieszanymi stron.

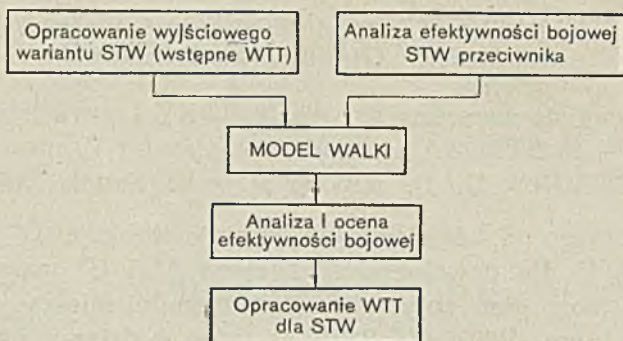
Optymalnymi WTT dla STW nazywać będziemy następujące wartości parametrów systemu użytego w grze przez STRONĘ I

$$WTT = \{x^*(y^*) : E(F^*, G^*) = \max_F \min_G \int_0^1 \int_0^1 M(x', y') dF(x') dG(y'), \\ x^* \in X, y^* \in Y\}$$

Wynika stąd, że WTT określają takie wartości parametrów STW, które zapewniają pożądaną efektywność bojową, bez względu na efektywność środków bojowych, użytych przez nieprzyjaciela w celu przeciwdziałania efektywnemu wykorzystaniu danego STW na polu walki. Określone WTT mogą stanowić podstawę do przyjęcia założeń projektowanych dla nowych STW lub do oceny efektywności alternatywnych wariantów, np. systemów uzbrojenia (przez porównanie ich parametrów z wartością odpowiednich parametrów określonych w WTT). Powyższy model wyraża tylko idee leżące u podstaw przedstawionego zastosowania analizy systemowej w badaniu STW (rys. 6.7). Oczywiście, w większości rzeczywistych problemów trudno jest zagadnienie określenia WTT techniki wojskowej sprowadzić do rozwiązania gry dwuosobowej.

Często celowe jest stosowanie w analizie systemowej STW uogólnionych parametrów — wskaźników oceny efektywności takich, jak np.:

- wskaźnik ruchu i manewru,
- wskaźnik rażenia,
- wskaźnik osłony załogi,
- przeciętna powierzchnia rażenia 1 jo,
- przeciętna liczba zniszczonych celów 1 jo itp.



6.7. Analiza systemowa wymagań taktyczno-technicznych systemów techniki wojskowej

Powoduje to dodatkowe trudności związane z opracowaniem metodyki wyznaczania uogólnionych wskaźników oceny efektywności, przydatnych także podczas określania wartości tzw. jakościowego stosunku sił.

Znajomość WTT dla STW należy uznać za warunek konieczny oceny jakości STW, rozumianej jako stopień spełnienia podstawowych wymagań taktyczno-technicznych. Ocena jakości STW uzyskuje się przez porównanie rzeczywistych wartości parametrów (charakterystyk) systemu  $X^*$  z wartościami określonymi w WTT, czyli

$$Q_{STW} = Q(X_r, X^*)$$

gdzie:

$x_r \in X_r \subset R_K$  — przestrzeń rzeczywistych wartości parametrów STW,

$$x^* \in X^* = \{x^*(y^*)\} \equiv \text{WTT}$$

Dla przypadku, gdy np.  $x_0 \leq x_r \leq x^*$ , funkcja jakości może mieć postać

$$Q_{STW} = \prod_{k=1}^K a_k \left( \frac{x_r - x_0}{x^* - x_0} \right)^{\beta_k}$$

gdzie:  $a_k$  — współczynnik wagowy,  $\beta_k$  — współczynnik korekcyjny.

Proponowana metodyka analizy systemowej STW wykazuje pewne wspólne cechy z metodą zastosowaną w ocenie perspektywicznego wyposażenia wojsk w nowe systemy, takie jak:

- samobieżny system typu TALLBOY, wykrywający i zwalczający wykryte cele ogniem pośrednim;
- system ognia bezpośredniego, w skład którego wchodziły przenośne zestawy laserowe.

Metoda badań obejmuje następujące etapy:

- opis koncepcji (ogólnego zamiaru działań bojowych);
- określenie charakterystyk taktycznych i technicznych perspektywicznego systemu;
- ustalenie sił w eksperymencie (opis koncepcji ugrupowania bojowego działających pododdziałów — rozmach działań, struktura organizacyjna, zamiar działań stron, organizacja łączności);
- opis hipotetycznej sytuacji bojowej (zadania obu stron walczących, wielkości sił zaangażowanych w walce i rodzaj sił, zamiary strony nacierającej i broniącej się, położenie stron przed walką, warunki atmosferyczne itp.);
- prowadzenie walki (na stole plastycznym) w celu uzyskania informacji o efektywności badanego systemu rażenia w różnych sytuacjach taktycznych;
- opis wyników badań czynników wpływających na efektywność systemu i sformułowanie wniosków.

W celu określenia wzajemnego oddziaływania czynników technicznych i taktycznych szukano odpowiedzi na następujące pytania:

- kto kogo widzi, z jakiej odległości i jak długo;
- jaki jest minimalny czas na otwarcie ognia,
- jakie jest rozłożenie ognia w głąb i wszerz,
- jak często dany system używany jest do zwalczania określonych celów i z jakich odległości,
- kiedy, gdzie i dlaczego przesuwiają się pododdziały i jak realizowane jest współdziałanie pomiędzy nimi,
- jaką łącznością i kiedy dysponują pododdziały,
- kiedy i gdzie następuje uzupełnienie zapasów w pododdziałach,
- jak poszczególne środki walki uzupełniają się wzajemnie,

— w jakim stopniu działanie pododdziałów jest niezabezpieczone przed atakiem przeciwnika.

W celu przeprowadzenia oceny systemu TALLBOY w tabeli 6.4 zestawiono sumaryczne straty „czerwonych” w czasie 2,5 godzin walki.

Tabela 6.4

Straty przeciwnika

Stan początkowy	390 środków
Straty:	
— liczba	300 środków
— procent strat	77%
Straty zadane pododdziałom znajdującym się:	
— w lesie	20%
— w terenie otwartym	76%
— w rejonie zurbanizowanym	4%
Stosunek strat	3 : 1

Na podstawie przeprowadzonych badań systemu TALLBOY sformułowano następujące wnioski:

— metoda jest najbardziej przydatna we wczesnym stadium koncepcyjnego opracowywania perspektywicznych systemów uzbrojenia,

— dla systemów, które są już rozwijane, metoda może być przydatna podczas rozwiązywania problemów związanych z ich użyciem,

— metoda prowadzi także do wniosków subiektywnych,

— metoda pozwala określić, jakie badania poligonowe powinny być jeszcze przeprowadzone.

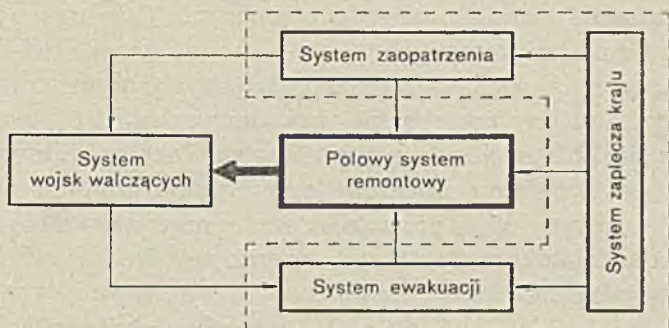
Uważa się, że analiza systemowa STW byłaby niezupełna bez analizy efektywności zaplecza technicznego (SZMTW). Analiza systemowa SZMTW powinna pozwolić na uzyskanie odpowiedzi na trzy podstawowe pytania:

— na ile możliwości zaplecza technicznego odpowiadają potrzebom wynikającym z eksploatacji STW w procesie walki (szkolenia),



— jaki jest wpływ zaplecza technicznego na gotowość bojową wojsk, a w szczególności — na gotowość techniczną STW,  
 — jakie są względne nakłady ponoszone na efektywne funkcjonowanie SZMTW.

Jako przedmiot analizy systemowej przyjęto polowy system remontowy (rys. 6.8), dla którego sformułowano następujący wskaźnik oceny efektywności \*



6.8. Ogólny model polowego systemu remontowego

$$E(K) = \prod_{k=1}^K \{1 - \alpha(i) [1 - a(i) \beta(i)]\}$$

gdzie:  $a(i)$  — dobowy współczynnik odzysku sprzętu,

$\beta(i)$  — dobowy współczynnik naprawialności,

$\alpha(i)$  — dobowy współczynnik strat,

$K$  — numer doby walki, dla której dokonywana jest ocena systemu.

Konieczność oceny efektywności SZMTW podczas analizy systemowej wynika z faktu istnienia wielu ograniczeń systemowych w użyciu techniki wojskowej wywołanych możliwościami SZMTW, co jest szczególnie ważnym czynnikiem racjonalnego planowania operacji (walki). Oczywiście jest zależność gotowości STW od parametrów SZMTW. Organizacja i działanie SZMTW warunkuje efektywność wykorzystania techniki wojskowej w walce\*\*.

\* J. Konieczny: *Analiza ogólna polowego systemu remontowego*. [W:]. Prace Zespołu Teorii Walki, nr 4, 1971 r.

\*\* Z. Bobeck: *Współzależność systemów walki i systemów zabezpieczenia materiałowo-technicznego*. [W:]. Systemy Zabezpieczenia Wojsk, nr 3, WAT 1978 r.

W okresie II wojny światowej organizacja obsługi technicznej wozów bojowych, ich ewakuacji i szybkiego odtwarzania gotowości technicznej stanowiła jeden z ważniejszych problemów w całokształcie przedsięwzięć podejmowanych w ramach zapewnienia gotowości bojowej wojsk pancernych. Świadczą o tym doświadczenia płynące z organizacji i realizacji zapewnienia technicznego wojsk 3 Frontu Białoruskiego w Operacji Białoruskiej, gdzie SZMTW były czynnikiem operacyjno-taktycznym, od którego w znacznej mierze zależało powodzenie działań wojsk pancernych i zmechanizowanych\*.

Przy obecnym rozmachu działań bojowych obserwowana jest sprzeczność między potrzebami remontowymi a niemożnością odrywania się PSR od niecierających wojsk. Dlatego jednym z rozwiązań tego problemu może być centralizacja środków remontowych i ewakuacyjnych przy jednoczesnym wyposażeniu oddziałów i pododdziałów w warsztaty remontowe i środki ewakuacyjne o dużej wydajności.

Ponadto współczesne STW wymagają równie skomplikowanych środków obsługi technicznej: aparatury kontrolno-pomiarowej i diagnostycznej, agregatów dozujących i przepompowujących do tankowania wozów bojowych i pojazdów mechanicznych, środków do transportu i konserwacji sprzętu itp. Kierowanie procesami obsługi techniki wojskowej wymaga stosowania systemów informatycznych usprawniających procesy informacyjno-decyzyjne, a w szczególności zapewniających efektywną ocenę możliwości SZMTW w zakresie służby czołgowo-samochodowej, służby uzbrojenia i elektroniki itp. oraz efektywne planowanie materiałowego i technicznego zabezpieczenia wojsk w walce (operacji).

Specyfika nowoczesnych STW znajduje swoje odbicie w zasadach obsługi technicznej i organizacji współczesnych SZMTW. Dostrzega się przy tym następujące tendencje:

- automatyzacja diagnostyki STW,
- minimalizacja udziału człowieka w procesach odnowy STW,
- wprowadzenie konstrukcji modułowych, w których przewi-

\* M. Kaczyński: *Doskonalenie zabezpieczenia technicznego wojsk pancernych w operacjach zaczepnych*. Wyd. cyt.

dywany będzie równomierny proces starzenia się systemów technicznych itp.

Systemy eksploatacji techniki wojskowej charakteryzować będzie wysoki stopień automatyzacji procesów użycia STW i procesów obsługi technicznej oraz dominująca rola systemów biotechnicznych i socjotechnicznych zarówno w sferze wykonawczej, jak i w sferze kierowania procesami eksploatacji.

## 5. Zakończenie

Prezentacja określonych refleksji metodologicznych i propozycji ujęć badania, złożonego i dynamicznie rozwijającego się, systemu techniki wojskowej miała na celu nakreślenie spójnego obszaru zastosowań analizy systemów i inżynierii systemów oraz egzemplifikacji ogólnych zasad i metod systemologii. Oczywiście, technika wojskowa była przedmiotem zorganizowanych intensywnych badań systemowych już blisko 30 lat temu, lecz były to badania prowadzone tylko w wybranych dziedzinach techniki\*. Dziś stały się naturalnym kierunkiem rozwoju wojskowej myśli technicznej, zwłaszcza w sferze projektowania i eksploatacji STW.

Istotę przedstawionych uwag można prześledzić na przykładzie STW, np. współczesnego czołgu. Zakres badań systemowych czołgu określony jest nadal aktualnym pytaniem o „kształt” czołgu odpowiadającego potrzebom i wymaganiom przyszłego pola walki. W szczególności pytanie to można zredukować do następującego: jakie powinny być wartości taktyczno-techniczne czołgu w warunkach działania systemu obrony przeciwpancernej na europejskim TDW. <sup>1</sup>

Najogólniej rzecz biorąc z punktu widzenia działań wojsk lądowych na europejskim TDW, wymagania taktyczno-techniczne dla czołgu powinny być wynikiem potrzeby obrony i zdobywania terenu, manewrowania w obliczu nieprzyjaciela, szybkiego przechodzenia od obrony do ataku itp. Szczególne wymagania dotyczyć będą takich właściwości czołgu, jak: siła ognia, osłona i mo-

\* Np. A. D. Hall: *Podstawy techniki systemów*. WNT, W-wa 1968 r.

bilność. Wykorzystując zatem badania modelowe, poligonowe i doświadczenia wojenne\*, pozwalające na symulację działania czołgu i jego otoczenia, można sformułować WTT odpowiadające warunkom terenowym i atmosferycznym, wymaganiom eksploatacyjnym oraz oczekiwaniom działaniom obrony przeciwpancernej nieprzyjaciela. Ogólny systemowy model badawczy czołgu może składać się z następujących, wzajemnie powiązanych, modeli cząstkowych: modelu czołgu i modelu operatora (załogi), modelu użycia w walce i modelu eksploatacji (obsługi technicznej), modelu obrony przeciwpancernej nieprzyjaciela i modelu warunków terenowych i atmosferycznych oraz modelu oceny efektywności bojowej. Oczywiście naturalnym elementem analizy systemowej jest poszukiwanie rozwiązań alternatywnych. W przypadku czołgu jako rozwiązanie alternatywne wysuwany był śmigłowiec, który jednak, jak się okazało, nie jest w stanie sprostać wymaganiom zwłaszcza w zakresie siły ognia w stopniu takim jak czołg.

Ogólnie biorąc, wszystkie zadania związane z badaniem i rozwojem systemów techniki wojskowej, które mogą być przedmiotem analizy systemowej i inżynierii systemów, można podzielić na następujące kategorie:

- a) zadania wynikające w toku ustaleń WTT dla nowych rodzajów i typów STW, a w tym:
  - uzasadnienie WTT dla nowych rodzajów i typów techniki wojskowej,
  - uzasadnienie projektowanych systemów uzbrojenia;
- b) zadania wynikające w procesie opracowywania i badania egzemplarzy doświadczalnych techniki wojskowej, a w tym:
  - ocena porównawcza projektowanych wariantów uzbrojenia i opracowanie zaleceń dotyczących kryteriów wyboru wariantów optymalnych,
  - ocena efektywności, niezawodności i gotowości opracowywa-

\* Szczególnie cenne wydają się być doświadczenia bojowe uzyskane w Wietnamie, gdzie przez pewien czas posługiwano się śmigłowcami przeciwpancernymi, wyposażonymi w pociski rakietowe TOW, oraz doświadczenia z wojny Yom Kippur, w której co najmniej w jednej dużej operacji poważne straty pancerne wywołane były przez przeciwpancerną broń kierowaną. Analiza tych doświadczeń wywołała kontrowersyjną opinie na temat „czołgu przyszłości”.

nych wariantów STW na podstawie WTT, projektowanych parametrów i wyników badań doświadczalnych,

— analiza ekonomiczna wariantów STW;

c) zadania wynikające w toku eksploatacji seryjnie produkowanych STW, a w tym:

— ocena jakości, niezawodności, gotowości i efektywności wyrobów seryjnych na podstawie wyników badań eksploatacyjnych,

— analiza ekonomiczna eksploatowanych STW,

— opracowanie optymalnych systemów obsługi technicznej (SZMTW),

— opracowanie optymalnych zasad eksploatacji (normatywy przebywania w różnych stanach gotowości, zasad użycia sprzętu w różnych warunkach eksploatacyjnych itp.)\*.

\* J. W. Czujew, P. Mielnikow, S. Pietuchow, G. Stiepanow, J. Szor: *Osnovy issledowanija opieracji v wojennoj technike*. Sowietskoje radio. Moskwa 1965 r.

# Zakończenie

„Po raz pierwszy tak wiele uwagi poświęca się przyszłości, co zakrawa na ironię, bo przyszłości możemy wcale nie mieć”.

(Artur CLARKE)

Materiał, który złożył się na prezentowaną książkę, podporządkowany miał być, w zamiarze autora, ogólnej refleksji związanej z pytaniem: co mogą wnieść współczesne badania systemowe do rozwoju myśli wojskowej, a tym samym do poznania nowoczesnych systemów wojskowych? Aby odpowiedzieć na to pytanie, skoncentrowano uwagę na pewnych, najistotniejszych naszym zdaniem, rodzajach systemów (przypomnijmy, że rozpatrywano systemy: informacyjne, decyzyjne, kierowania, walki i techniczne), a następnie podjęto próbę egzemplifikacji ogólnych zasad metodologii badań systemowych w obszarze określonym przez wyróżnione systemy rzeczywiste. Aby natomiast podolać tym zamierzeniom, sięgano często do już znanych metod matematycznych i modeli, niejednokrotnie dyskutowanych ujęć metodologicznych, a także stosunkowo prostych i zapewne znanych niejednemu Czytelnikowi przykładów. Wszystko to miało zaś na celu wyrażenie głębokiego przekonania o skuteczności badań systemowych prowadzonych metodami matematycznymi i cybernetycznymi, których przedmiotem są procesy walki zbrojnej, dowodzenia i funkcjonowania techniki wojskowej. Od skuteczności tych badań niewątpliwie zależy rozwój sił zbrojnych.

Im skuteczniejsze będą metody badań systemowych, a więc głębsze poznanie wymienionych zjawisk, tym szczegółowszy może być obraz potencjalnej wojny i obiektywniejszy obraz ewentualnych zagrożeń. W badaniach tych dostrzegamy także jakby uzupełnienie innej dziedziny twórczej aktywności ludzkiej, a mianowicie — sztuki. Dziedziny te, tworząc obrazy ewentualnych zagrożeń, mogą wpływać na oddalanie się groźby wojny i globalnej katastrofy. W przeciwnym wypadku złowrogiej realności nabiera teza L. J. Petera: „Przy obecnym wskaźniku rozwoju prawdo-

podobieństwo globalnej zagłady nuklearnej wzrasta o 20% rocznie. W roku 2000 wyniesie 50%, czyli jeden do jednego". Dodajmy, że uzyskanie prognozy tego typu może być rezultatem stosowania analizy systemowej w badaniach polityczno-militarnych.

Zaprezentowana w książce optymistyczna ocena metodologii badań systemowych opiera się na wielu pozytywnych rezultatach uzyskanych, poza przytaczanymi w książce, głównie w pracach tzw. Klubu Rzymskiego prezentowanych w kolejnych raportach. Raporty dla Klubu Rzymskiego, aczkolwiek wzbudzają jeszcze liczne dyskusje i kontrowersje (dotyczą one głównie przyjętej postawy metodologicznej i założeń wyjściowych), świadczą o wielu poznawczych i praktycznych możliwościach tkwiących w podejściu systemowym do wyjątkowo złożonych zjawisk wymagających całościowego ujęcia. Dodajmy, że zawarte w wymienionych raportach wnioski zostały niegdyś w wielu kręgach wręcz zignorowane, co zapewne było wynikiem braku i wyobraźni, i wiary w skuteczność badań rozwojowych prowadzonych metodami ścisłymi. Skutki takich reakcji dostrzegane są dziś niekiedy w drastycznej postaci (np. zagrożenie środowiska naturalnego, kryzys energetyczny, kryzys żywnościowy itp.).

Jeśli chodzi o problemy polityczno-militarne, to możliwości analizy systemowej interesująco charakteryzuje, na przykładzie gier komputerowych i symulacji, R. Jungk: „W grze odtwarza się więc pewne wydarzenia, z tym że w punkcie decydującym zmienia się je, a nawet całkowicie stawia na głowie: Napoleon wygrywa bitwę pod Waterloo, islam podbija Europę, wynalazek sztuki drukarskiej pojawia się sto lat wcześniej czy sto lat później, Lenin żyje trzydzieści lat dłużej, Hitler pierwszy produkuje bombę atomową, lewicowi socjaliści i komuniści po pierwszej wojnie światowej obejmują władzę w Niemczech... Na pierwszy rzut oka tego rodzaju tematy gier mogą zdawać się „bezsensowne”, nawet „wariackie”, zresztą często tak o nich mówiono. Ale nie ulega wątpliwości, że uczestnicy tych ćwiczeń z czasem nabierają niesłychanego wyczucia przeoczonych bądź alternatywnych szans. Ogarniają szeroką skalę politycznych możliwości, rozwijają ostrzejsze spojrzenie na czynniki normalnie nie zauważane, a mające swoje znaczenie dla przyszłości, wyrabiają

sobie znaczną elastyczność duchową, wyrażającą się w rosnącej zdolności do rozwiązywania problemów i stawiania konstruktywnych propozycji”\*.

Zapewne Czytelnik przyzna, że są to możliwości wręcz fascynujące, otwierające jakby nowe perspektywy badawcze i praktyczne przed wszystkimi uczestnikami badań systemowych w wojsku. Autor natomiast pragnie mieć nadzieję, że niniejsza książka może stanowić wprowadzenie do problemów metodologii badań systemowych i jej zastosowań w siłach zbrojnych.

W książce, co zapewne nietrudno dostrzec, szczególną uwagę przywiązywano do procesów informacyjno-decyzyjnych oraz do problemów organizacji i funkcjonowania systemów kierowania. Jest to dziedzina, która niewątpliwie determinuje postęp w siłach zbrojnych i gospodarce narodowej. Postęp ten w znacznej mierze jest uzależniony od ogólnego rozwoju metodologii badań i rozwoju, a w szczególności — metodologii badań systemowych.

Podkreślmy, że systemologia jako teoria globalna ma następujące własności\*\*:

a) systemologia opisuje w całościowy sposób pewne obiekty złożone i ich własności,

b) opis ten jest niezależny od wiedzy o częściach i o ich powiązaniu w całość, niezależny w tym znaczeniu, że nie może być do niej całkowicie zredukowany,

c) z całościowego opisu obiektów złożonych wynikają konsekwencje dotyczące ich własności lub pozwalające na wyprowadzenie pewnych własności części i ich powiązania.

Powyższe własności mogą chyba uzasadniać przyjęcie w prezentowanej książce perspektywy metodologicznej określanej mianem systemologii lub postawy systemowej wobec złożonej rzeczywistości, związanej z działaniem współczesnych systemów sił zbrojnych.

\* R. Jungk: *Człowiek tysiąclecia*. PIW, W-wa 1981 r.

\*\* M. Tempczyk: *Strukturalna jedność świata*. PWN, W-wa 1981 r.



# Literatura

1. Ackoff R.: *Decyzje optymalne w badaniach stosowanych*, W-wa 1969.
2. Ackoff R.: *Zasady planowania w korporacjach*, W-wa 1973.
3. Arrow K.: *Eseje z teorii ryzyka*, W-wa 1979.
4. Ayres R.: *Prognozowanie rozwoju techniki i planowanie długookresowe*, W-wa 1973.
5. Baborski A., Duda M., Forlicz S.: *Elementy cybernetyki ekonomicznej*, W-wa 1977.
6. Barton R.: *Wprowadzenie do symulacji i gier*, W-wa 1974.
7. Beer S.: *Cybernetyka a zarządzanie*, W-wa 1966.
8. Biela A.: *Informacje a decyzje*, W-wa 1976.
9. Bojarski W.: *Wprowadzenie do oceny niezawodności działania układów technicznych*, W-wa 1967.
10. Brilluin L.: *Nauka a teoria informacji*, W-wa 1969.
11. Bubnicki Z.: *Identyfikacja obiektów sterowania*, W-wa 1974.
12. Burkov V.: *Osnovy matematycznej teorii aktywnych systemów*, Moskwa 1977.
13. Buslenko N., Kałasznikow W., Kowalenko I.: *Teoria systemów złożonych*, W-wa 1979.
14. Chojnacki A.: *Modelowanie matematyczne i algorytmizacja planowania działań bojowych (rozprawa doktorska)*, WAT, W-wa 1976.
15. Chojnacki A., Piasecki S.: *Planowanie operacji wojennych*, WAT, W-wa 1973.
16. Cvirkun A.: *Struktura złożonych systemów*, Moskwa 1975.
17. Czerniak J.: *Informacja i zarządzanie*, W-wa 1978.
18. Czujew J.: *Badania operacji w wojsku*, W-wa 1973.
19. Daniels A., Yeats D.: *Podstawy analizy systemów*, W-wa 1974.
20. Drucker P.: *Skuteczne zarządzanie*, W-wa 1976.
21. Drużynin W., Kontorow D.: *Idea, algorytm, decyzja*, W-wa 1975.

22. Drużynin W., Kontorow D.: *Problemy sistiemologii*, Moskwa 1976.
23. Drużynin W., Kontorow D.: *Woprosy woЕННОj sistiemotiechniki*, M. 1976.
24. Evans G., Wallace G., Sutherland G.: *Symulacja na maszynach cyfrowych*, W-wa 1973.
25. Findeisen W.: *Wielopoziomowe układy sterowania*, W-wa 1974.
26. Flakiewicz W.: *Systemy informowania kierownictwa*, W-wa 1978.
27. Flakiewicz W., Wawrzyniak B.: *Zasady i metody podejmowania decyzji kierowniczych*, W-wa 1978.
28. Fleiszman B.: *Eliemienty teorii potencjalnoj effiektivnosti słożnych sistiem*, Moskwa 1971.
29. Fokin J.: *Niezawodność eksploatacyjna urządzeń technicznych*, W-wa 1977.
30. Forrester J.: *Industrial Dynamics*, Massachusetts 1961.
31. Gackowski Z.: *Projektowanie systemów informacyjnych zarządzania*, W-wa 1974.
32. Gaussens J.: *Problemy decyzji w badaniach i pracach rozwojowych*, W-wa 1975.
33. Gedymin O.: *Optymalne sterowanie procesami gospodarczymi*, W-wa 1977.
34. Giermiejer J.: *Igry s nieprotivonoločnymi intieresami*, Moskwa 1976.
35. Giermiejer J.: *Wwiedienije v teoriju issliedowanija opieraczi*, Moskwa 1971.
36. Gołąb Z., Kołcz S.: *Współczesne dowodzenie wojskami*, W-wa 1974.
37. Gordon G.: *Symulacja systemów*, W-wa 1974.
38. Gościński J.: *Projektowanie systemów zarządzania*, W-wa 1974.
39. Gościński J.: *Zarys teorii sterowania ekonomicznego*, W-wa 1976.
40. Graham J.: *Analiza systemowa w jednostkach gospodarczych*, W-wa 1975.
41. Greczko A.: *Sily zbrojne państwa radzieckiego*, W-wa 1974.
42. Greniewski H.: *Cybernetyka niematematyczna*, W-wa 1969.
43. Grzelak J.: *Konflikt interesów*, W-wa 1978.
44. Gwiszani D.: *Organizacja i zarządzanie*, W-wa 1976.
45. Habr J., Veprek J.: *Systemowa analiza i synteza*, W-wa 1976.
46. Hall A.: *Podstawy techniki systemów*, W-wa 1968.
47. Iwanow D., Sawieljew W., Szemanski P.: *Zasady dowodzenia wojskami*, W-wa 1973.
48. Jaroń J.: *Podstawy cybernetyki*, Wrocław 1976.
49. Judin D.: *Sistiemnyj podchod i princip diejatielnosti*, Moskwa 1978.
50. Kalman R., Falb P., Arbib M.: *Topics in Mathematical System Theory*, New York 1969.

51. Kasprzak T. (red.): *Badania operacyjne w nowoczesnym zarządzaniu*, W-wa 1974.
52. Kierczyński A.: *Bariery rachunku optymalizacyjnego*, SGPiS, W-wa 1975.
53. Kieżun W.: *Podstawy organizacji i zarządzania*, W-wa 1977.
54. Kilar E.: *Modelowanie boju spotkaniowego oddziału* (rozprawa doktorska), ASG WP, W-wa 1976.
55. Kiliński A.: *Jakość*, W-wa 1979.
56. Klatka N.: *Konflikt i gra*, W-wa 1971.
57. Klir G. (red.): *Ogólna teoria systemów*, W-wa 1976.
58. Kołodziejczak B.: *Co będzie jutro? Rozważania o przyszłym polu walki*, W-wa 1976.
59. Konieczny J.: *Cybernetyka walki*, W-wa 1970.
60. Konieczny J.: *Podstawy eksploatacji urządzeń*, W-wa 1975.
61. Konieczny J.: *Inżynieria systemów*, W-wa 1982.
62. Konieczny J.: *Podejście systemowe*, WAT, W-wa 1982.
63. Kornai J.: *Anti-equilibrium. Teoria systemów gospodarczych*, W-wa 1973.
64. Korzan B.: *Elementy teorii grafów i sieci*, W-wa 1978.
65. Kossecki J.: *Cybernetyka społeczna*, W-wa 1975.
66. Kotarbiński T.: *Wybór pism, t. 1 — Myśli o działaniu*, W-wa 1958.
67. Kotarbiński T.: *Traktat o dobrej robocie*, W-wa 1968.
68. Koziński J. (red.): *Problemy psychologii matematycznej*, W-wa 1971.
69. Koziński J.: *Konflikt, teoria gier i psychologia*, W-wa 1970.
70. Koziński J.: *Psychologiczna teoria decyzji*, W-wa 1975.
71. Koźmiński A.: *Analiza systemowa organizacji*, W-wa 1976.
72. Krapivin W.: *O teorii żywuchestni złożonych systemów*, Moskwa 1978.
73. Krapivin W.: *Teoretiko-igrovyye metody sintieza złożonych systemów*, Moskwa 1972.
74. Kuhn T.: *Struktura rewolucji naukowych*, W-wa 1965.
75. Kuleszyński L.: *Dowodzenie wojskami a cybernetyka*, W-wa 1967.
76. Kulikowski J. L.: *Informacja i świat, w którym żyjemy*, W-wa 1978.
77. Kulikowski R.: *Analiza systemowa i jej zastosowania*, W-wa 1977.
78. Lange O.: *Całość i rozwój w świetle cybernetyki*, W-wa 1962.
79. Łukaszewicz R.: *Dynamika systemów zarządzania*, W-wa 1975.
80. Marschak J., Radner R.: *Ekonomiczna teoria zespołów*, W-wa 1977.
81. Martin F.: *Wstęp do modelowania cyfrowego*, W-wa 1976.
82. Maślyk E.: *Teoria i praktyka rozwoju organizacyjnego*, W-wa 1978.

83. Mazur M.: *Cybernetyczna teoria układów samodzielnych*, W-wa 1966.
84. Mazur M.: *Jakościowa teoria informacji*, W-wa 1970.
85. Mazur M.: *Cybernetyka i charakter*, W-wa 1975.
86. Mesarovic M. (red.): *Views on General Systems Theory*, New York 1964.
87. Mesarovic M., Macko D., Takahara Y.: *Theory of Hierarchical, Multilevel Systems*, New York 1970.
88. Mesarovic M., Takahara Y.: *General Systems Theory Mathematical Foundations*, New York 1975.
89. Mikielewicz G.: *Metoda syntezy systemów kierowania* (rozprawa doktorska), WAT, W-wa 1977.
90. Miszański W.: *Modelowanie konfliktów w systemach działania* (rozprawa doktorska), WAT, 1979.
91. Nowak L.: *Wstęp do idealizacyjnej teorii nauki*, W-wa 1977.
92. Nowakowska M.: *Teoria działania. Próba formalizacji*, W-wa 1973.
93. Nowakowska M.: *Nowe idee w naukach społecznych*, W-wa 1980.
94. Nożko K.: *Zagadnienia współczesnej sztuki wojennej*, W-wa 1973.
95. Owen G.: *Teoria gier*, W-wa 1975.
96. Piasecki S.: *Optymalizacja systemów obsługi technicznej*, W-wa 1972.
97. Piasecki S.: *Elementy teorii niszczenia*, WAT, W-wa 1968.
98. Piasecki S.: *Elementy teorii niezawodności i eksploatacji urządzeń*, WAT, W-wa 1974.
99. Peschel M., Riedel C.: *Poliptymalizacja. Metody podejmowania decyzji kompromisowych w zagadnieniach inżynierjno-technicznych*, W-wa 1979.
100. Pupko A.: *Sistema: Człowiek i woennaia technika*, Moskwa 1976.
101. Rogiński V.: *Wwiedienije w teoriju sietiej sviazi*, Moskwa 1976.
102. Rogucki A.: *Analiza systemowa w planowaniu obrony*, W-wa 1975.
103. Sadowski W.: *Podstawy ogólnej teorii systemów*, W-wa 1978.
104. Sienkiewicz P.: *Teoria efektywności systemów kierowania. T. 1 — Wstęp do systemologii*, ASG WP, W-wa 1979.
105. Sienkiewicz P.: *Teoria efektywności systemów kierowania. T. 2 — Problemy efektywności działania*, ASG WP, W-wa 1979.
106. Sienkiewicz P.: *Analiza systemowa procesów informacyjno-decyzyjnych. Wstęp do inżynierii systemów kierowania*. PTC Ossolineum 1982.
107. Simon H. A.: *Działanie administracji*, W-wa 1976.
108. Staniszewski R.: *Rozwój systemów projektowania*, Ossolineum 1981.

109. Tarakanov K.: *Matiematika i woorużiennaja borba*, Moskwa 1974.
110. Tarakanov K., Ovczarov Ł., Tyryszkin A.: *Analityczeskije metody issliedowanija sistiem*, Moskwa 1974.
111. Tkaczienko P. (red.): *Matiematiczeskije modieli bojevych dziejstwij*, Moskwa 1969.
112. Tyszka T.: *Konflikty i strategie*, W-wa 1978.
113. Ventciel E.: *Issliedowanije opieracij*, Moskwa 1972.
114. Worobiew N., Kofler E., Greniewski H.: *Strategia gier*, W-wa 1969.
115. Zawisłak A.: *Organizacja i planowanie. Ujęcie systemowe*, W-wa 1978.
116. Ziemia S., Jarominek W., Staniszewski R.: *Problemy teorii systemów*, W-wa 1980.
117. Zbiorowe: *Teoria i zastosowania wielkich systemów*, W-wa 1972.
118. Zbiorowe: *Materiały I i II Szkoły Podstaw Inżynierii Systemów w Orzyszu*, 1976, 1979.

Printed in Poland

Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej  
Warszawa 1983. Wydanie I

Nakład 2.000 + 250 egz. Objętość: 19,26 ark. wyd.,  
22,25 ark. druk. Papier druk. sat. IV kl. 65 g,  
format 61×86/16 z Fabryki Celulozy i Papieru  
im. J. Dąbrowskiego w Kluczach. Oddano do  
składania 28.07.1982 r. Druk ukończono w stycz-  
niu 1983 r. w Wojskowej Drukarni w Łodzi.  
Zam. nr 395

Cena zł 200,—

L-3

„Rozwój metodologii badań systemowych wywiera coraz większy wpływ na rozwój metodologicznych podstaw teorii i praktyki systemów wojskowych. Systemologia, proponując ogólne zasady badania dowolnych złożonych obiektów oraz metod ich analizy, syntezy i oceny, staje się szczególnie użyteczna w rozwiązywaniu problemów: sterowania rozwojem systemów sił zbrojnych, tworzenia racjonalnych systemów dowodzenia i kierowania ogniem, syntezy systemów «człowiek — technika wojskowa», komputerowego wspomaganie planowania działań i operacji, modelowania procesów i systemów walki itp”.

(fragment książki)

zł 200,—

ISBN 83-11-06851-8