

Grey Scale #13



A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19



AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO WP

INSTYTUT BADAŃ STRATEGICZNO-OBRONNYCH

ASG WP wewn. 4209/89

Do użytku wewnętrznego

Egz. nr 101

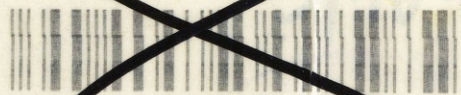
METODYKA WOJSKOWYCH BADAŃ NAUKOWYCH

Część II

METODY SFORMALIZOWANE

Podręcznik

Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej
S/1049 cz. II



05-001388-101-0



WARSZAWA

59682 1989



Colour Chart #13

Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black



AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO WP

INSTYTUT BADAŃ STRATEGICZNO-OBRONNYCH

ASG WP wewn. 4209/89

~~Do użytku wewnętrznego~~

Egz. nr 101

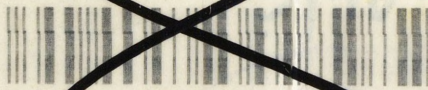
METODYKA WOJSKOWYCH BADAŃ NAUKOWYCH

Część II

METODY SFORMALIZOWANE

Podręcznik

Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej
S/1049 cz. II



05-001388-101-0

WARSZAWA

59682

19

W

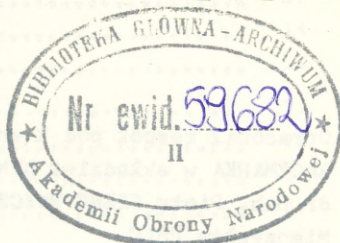
AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO WP

INSTYTUT BADAŃ STRATEGICZNO-OBRONNYCH

ASG WP wewn. 4209/89

~~Do użytku wewnętrznego~~

Egz. nr ... 101



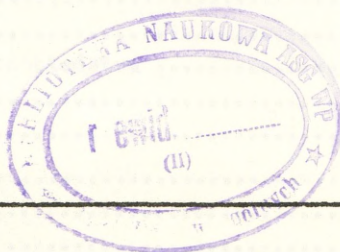
M E T O D Y K A
WOJSKOWYCH BADAŃ NAUKOWYCH

Cz. II

METODY SFORMALIZOWANE


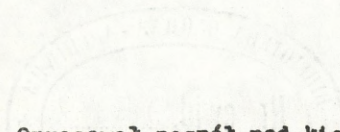
Podręcznik

~~5/1049~~



WARSZAWA

1989 r.



Opracował zespół pod kierownictwem naukowym płk.prof.dr.hab. Juliana
KACZMARKA w składzie: płk prof.dr hab. Władysław FILAR, płk prof.
dr hab. Piotr SIENKIEWICZ, płk doc.dr hab. Andrzej BARCZAK, ppłk dr
Mieczysław FELC.

SPIS TREŚCI

	Str.
WSTĘP	5
I. MODELOWANIE MATEMATYCZNE	8
1. Geneza	8
2. Istota modelowania	10
3. Rodzaje modeli	14
4. Modelowanie systemów walki	16
II. METODY LOGICZNE	23
1. Wprowadzenie	23
2. Reguły wnioskowania	24
3. Niezawodne schematy wnioskowania	27
4. Stawianie i weryfikacja hipotez	31
III. METODY SYSTEMOWE	37
1. Geneza	37
2. Istota, pojęcia, metody	39
3. Modelowanie systemowe	44
✓ 4. Analiza systemowa	48
5. Zastosowania wojskowe	53
IV. METODY STRUKTURALNE	57
1. Geneza	57
2. Istota, pojęcia, metody	58
3. Graf jako model struktury	60
4. Struktury organizacyjne	61
V. METODY CYBERNETYCZNE	67
1. Geneza	67
2. Istota, pojęcia, metody	69
3. Modele cybernetyczne	76
4. Zastosowanie wojskowe	79
VI. METODY PROBABILISTYCZNE	84
1. Wprowadzenie	84
✓ 2. Elementy rachunku prawdopodobieństwa	85
3. Metody statystyczne	91
4. Procesy stochastyczne	97
VII. MODELE DECYZYJNE	101
1. Geneza	101
2. Pojęcia, problemy, modele	102

VIII. MODELE SYMULACYJNE	112
1. Istota symulacji komputerowej	112
2. Zasady budowy modelu symulacyjnego	116
3. Weryfikacja modelu	124
4. Wojskowe zastosowania modelowania symulacyjnego	125
5. Przykład symulacyjnego modelu walki	127
6. Prowadzenie eksperymentów symulacyjnych	129
IX. KOMPUTEROWE GRY WOJENNE. PROJEKTOWANIE I WYKORZYSTANIE ..	136
1. Wprowadzenie	136
2. Gra jako model działania	138
3. Model komputerowy gry wojennej	141
4. Projektowanie komputerowej gry wojennej	147
5. Funkcjonowanie komputerowej gry wojennej	152
6. Wykorzystanie komputerowej gry wojennej	155
X. KIERUNKI ROZWOJU WSPÓŁCZESNYCH METOD BADAWCZYCH	159
Bibliografia	163

WSTĘP

Dla każdego okresu w rozwoju nauki charakterystyczna jest określona postawa metodologiczna, wyrażająca stosunek podmiotu badań do charakteru działań poznawczych. Fryderyk Engels pisał w "Dialektyce przyrody": "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". A zatem, 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 więc doskonaleniem tych zasad.

Wedle dialektycznej koncepcji rozwoju nauki, każda rewolucja naukowa jest dialektyczną negacją, tj. zaprzeczeniem dotychczasowej teorii, ale z zachowaniem jej pozytywnego dorobku. Thomas S. Kuhn^{1/} 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 itp.

Rozwój nauk i dyscyplin naukowych - to postęp w dziedzinie instrumentarium badawczego, metod poznania rzeczywistości, modeli tworzonych dla określonych celów poznawczych i praktycznych.

Wzrost zakresu złożoności zadań stawianych przed wojskowymi badaniami naukowymi przyniósł zmiany w owym instrumentarium badawczym. Pojawiły się nowe metody badań naukowych, metody i techniki tworzenia obiektów wojskowych. Wiele z tych metod zostało przyjętych i przyswojonych z innych nauk, lecz niektóre można z pewnością uznać za swoiste dla wojskowych badań naukowych.

1/ T.S.Kuhn, Struktura rewolucji naukowych, PWN, Warszawa 1968.

Przed wojskowymi pracownikami naukowymi pojawiło się zadanie szczególne, a mianowicie: szybkie opanowanie nowych metod badawczych i sprawne posługiwanie się nimi w procesie badań, a także przekazanie wiedzy metodologicznej młodym pracownikom nauki.

W ten sposób narodziła się potrzeba opracowania syntetycznego podręcznika z metodologii wojskowych badań naukowych, swoistego kompendium nowoczesnych metod i technik badawczych.

Próbą zaspokojenia tej potrzeby jest niniejszy podręcznik, na który złożył się przegląd najpopularniejszych w ostatnim ćwierćwieczu metod. Z pewnością nie wyczerpuje on tego, co stanowi istotę współczesnych badań naukowych w ogóle, lecz zawiera zwięzłe omówienie metod, które uznano za podstawowe i które - co jest istotne - znajdują skromne odbicie w programie nauczania na studiach doktoranckich w ASG WP.

Warto zwrócić uwagę na to, że podręcznik nie zawiera żadnej klasyfikacji metod badawczych, te zaś, którym poświęcono uwagę nie są "rozłączne" /w sensie cech konstytutywnych/. Są to po prostu metody wybrane.

Szczególną uwagę poświęcono tym metodom badawczym, które służą tworzeniu określonych modeli rzeczywistych obiektów /procesów, systemów/ wojskowych. A modelowanie należy uznać za najistotniejszą cechę nowoczesnych problemów poznawczych^{2/}.

W pracy, którą rozpoczyna próba określenia istoty modelowania matematycznego, omówiono metody logiczne i systemowe, strukturalne i cybernetyczne, metody probabilistyczne, modele decyzyjne i symulacyjne, przedstawiono technikę gier komputerowych. Na zakończenie podjęto próbę określenia zasadniczych kierunków rozwoju współczesnych metod badawczych.

W podręczniku wykorzystano materiały przedstawione w publikacjach i opracowaniach, które mogą stanowić lekturę uzupełniającą.

Wypada nadmienić, że potrzebę uwzględnienia metod matematycznych w systemie metod przydatnych w wojskowych badaniach naukowych dostrzegli już autorzy opracowanego w 1983 roku podręcznika pt.:*Metodyka wojskowych badań naukowych*^{3/}, czyniąc to jedynie w sposób opisowy, a zarazem skrótowy i zarysowy. Natomiast w wydaniu wznowionym, rozszerzonym, uzupełnieniowym i poprawionym, zatytułowanym: *Metodyka wojskowych badań naukowych cz. I*^{4/}. Autor świadomie zrezygnował z prezentacji problematyki metod "nowoczesnych", mając na uwadze, że zostaną one omówione w niniejszym opracowaniu.

2/ Jeden z największych uczonych XX wieku Janos Neumann /John von Neumann/ twierdził zawsze, że celem nauki jest tworzenie modeli.

3/ Zab. E.Wiśniewski, K.Jagiełło, J.Nowakowski, *Metodyka wojskowych badań naukowych*. ASG WP, Warszawa 1983.

4/ E.Wiśniewski, *Metodyka wojskowych badań naukowych cz.I /wydanie ASG WP w czterech zeszytach: Zeszyt nr 1 i Zeszyt nr 2 w 1988 roku; natomiast Zeszyt nr 3 i Zeszyt nr 4 w 1989 roku/.*

Metodyka wojskowych badań naukowych cz. II - oddawana do rąk Czytelników stanowi więc dopełnienie Metodyki wojskowych badań naukowych cz. I. W zamysle autorów te dwa podręczniki stanowią pewną całość.

Prezentowany podręcznik przeznaczony jest przede wszystkim dla doktorantów Akademii Sztabu Generalnego WP. Autorzy mają nadzieję, że wszyscy uczestnicy wojskowych badań naukowych znajdą w nim użyteczny materiał do analizy i przemyśleń.

I. MODELOWANIE MATEMATYCZNE

1. Geneza

Historia modelowania matematycznego jest w istocie historią matematyki. Ta zaś jest niezwykle bogata, zaś chociażby wybór wydarzeń i ich krótkie omówienie wymagałoby obszernego opracowania^{1/}. Zapewne mniej bogatą niż historia "czystej" matematyki jest historia jej zastosowań, te natomiast wiążą się z tworzeniem matematycznych opisów rzeczywistości przyrodniczej i społecznej.

Powszechnie niemal uważa się, że początki tworzenia modeli matematycznych należy łączyć z następującymi postaciami:

- w naukach przyrodniczych - G.Galileuszem^{2/};
- w naukach społecznych - K.Marksem^{2/};
- w naukach humanistycznych - N.Chomskym.

Za sprawą tych uczonych dokonywał się przełom metodologiczny w poszczególnych grupach nauk, wyrażający się w dążeniu do nadawania obiektom badań /zjawiskom/ ścisłej postaci matematycznej. Obecnie fizyka jest nauką całkowicie zmatematyzowaną. Do chemii matematykę wprowadził Lavoisier w półtora wieku po Galileuszu. Znacznie później pojawiły się zastosowania modeli matematycznych w ekonomii, a ponadto w naukach przyrodniczych opracowano modele matematyczne procesów biologicznych, ekologicznych, ewolucyjnych, zaś w naukach społecznych - procesów rozwoju historycznego. Wykorzystanie modeli matematycznych w technice jest najczęściej pochodną modeli wywodzących się z fizyki i chemii.

W naukach wojskowych zastosowania modeli matematycznych zostały zapoczątkowane w 1916 roku, kiedy to W.F.Lanchester opracował pierwszy matematyczny model walki /ściślej - pojedynku ogniowego/. Należy zauważyć,

1/ Zainteresowanym można polecić książkę N.Bourbaki pt. Elementy historii matematyki, PWN, Warszawa 1980.

2/ Porównaj formułę $x = c + v + m$.

że model Lanchestera stanowi przykład zastosowania równań różniczkowych liniowych do opisu prostego przypadku boju. Podobne modele stosowane są np. w biologii, ekologii i demografii. Jest to model użyteczny, gdyż pozwala analizować dynamikę zjawiska, przemiany procesów w czasie.

Szczególony wzrost zainteresowania modelami matematycznymi nastąpił w związku z rozwojem techniki komputerowej i nowymi perspektywami badawczymi. Jak wiadomo, warunkiem dokonania eksperymentów i analiz za pomocą komputera jest opracowanie matematycznego modelu badanego obiektu /procesu, systemu/.

Warto zwrócić uwagę na to, dlaczego, stosując się do reguł matematyki otrzymuje się zawsze wyniki, które potwierdza rzeczywistość, dlaczego - jak zauważył Leibniz "na całym świecie wszystko przebiega matematycznie"? Owa "matematyczność natury należy do najbardziej zastanawiających tajemnic przyrody"^{3/}.

Spośród szczególnie ważnych dla rozwoju matematyki wydarzeń warto zwrócić uwagę na te, które z punktu widzenia współczesnej metodologii należy uznać za istotne. W 1904 roku wybitny matematyk Dawid Hilbert przedstawił w ramach słynnego programu swoje koncepcje budowy systemów matematycznych, które byłyby:

- a/ zupełne, czyli mogły dać odpowiedź na każde zagadnienie matematyczne sformułowane na ich gruncie;
- b/ niesprzeczne, tzn., że na ich gruncie niemożliwe byłoby udowodnienie pewnego twierdzenia A i jednocześnie jego negacji $\sim A$, przy czym niesprzeczność powinna być zagwarantowana osobnym dowodem.

Myślą przewodnią programu Hilberta było zbudowanie systemu formalnego stanowiącego bazę całej matematyki. Program ten nie przyniósł oczekiwanych rezultatów, zaś przyczyną jego upadku było fundamentalne twierdzenie Gödla^{4/}. Teoria sformalizowana obejmująca całą matematykę musi oczywiście zawierać arytmetykę liczb naturalnych. Dowód niesprzeczności każdej teorii sformalizowanej, zawierającej arytmetykę liczb naturalnych, można przeprowadzić jedynie na gruncie teorii matematycznej obszerniejszej od tej, której niesprzeczność chcemy udowodnić. W szczególności dowód niesprzeczności sformalizowanej arytmetyki można uzyskać tylko na gruncie teorii matematycznej, która zawiera całą arytmetykę i jeszcze inne twierdzenia nie należące do arytmetyki.

Z punktu widzenia matematycznego modelowania systemów szczególne znaczenie ma rozwój takich dyscyplin matematycznych, jak:

3/ J. Gutenbaum, Modelowanie matematyczne systemów. PWN, Warszawa 1987.

4/ Np. W. Miszański, Matematyka w inżynierii systemów. WAT, Warszawa 1979.

a/ topologia, teoria funkcji obliczalnych, teoria algorytmów i automatów, teoria gramatyk i języków formalnych;

b/ analiza funkcjonalna /z punktu widzenia potrzeb modelowania procesów sterowania/;

c/ algebra abstrakcyjna /z punktu widzenia potrzeb modelowania struktur systemów/;

d/ teoria kategorii i funktorów /ze względu na język ogólniejszy niż język teorii mnogości/;

e/ teoria równań różniczkowych liniowych i nieliniowych /ze względu na potrzeby modelowania procesów, systemów dynamicznych/.

Proponuje się przyjąć następujące założenia dotyczące istoty modelowania matematycznego:

a/ celem modelowania nie jest tworzenie modeli;

b/ modelowanie jest formą "walki" ze złożonością rzeczywistości i jej nieokreślonością";

c/ celem modelowania jest uzyskanie nowych informacji o rzeczywistości, zarówno w procesie badań, jak i szkolenia, projektowania, podejmowania decyzji;

d/ modelowanie w wąskim sensie to, po prostu, tworzenie modelu, czyli obrazu określonego fragmentu rzeczywistości;

e/ modelowanie w szerokim sensie to tworzenie modelu oraz określone postępowanie z nim w celu uzyskania nowych informacji o badanym fragmencie rzeczywistości.

2. Istota modelowania

Wśród wielu cech charakterystycznych dla współczesnych badań naukowych, prowadzonych zarówno w obszarze nauk przyrodniczych, jak i społecznych, dwie zasługują na szczególną uwagę. Są to cechy następujące:

- wzrost znaczenia formalizacji przedmiotu badań, polegający na powszechnym niemal podejmowaniu działalności zwanej modelowaniem, czyli na konstruowaniu modeli badanych zjawisk i operowaniu nimi w celu osiągnięcia zamierzonych poznawczych i praktycznych rezultatów;

- wzrost znaczenia instrumentalizacji procesu badawczego, czyli powszechnego stosowania określonych urządzeń technicznych niezbędnych do zbierania i przetwarzania danych opisujących badane zjawiska /obiekty/, wśród których podstawowe dziś znaczenie ma niewątpliwie technika informatyczna /komputerowa/.

Oczywiście cechy te nie pojawiły się w ostatnich latach. Modelowe podejście do poznawanej rzeczywistości było niemal zawsze stosowane w

nauce - najwcześniej w naukach przyrodniczych, stosunkowo późno w naukach społecznych.

Jednakże dopiero w ostatnich latach modelowanie rzeczywistości uzyskało jakby inny wymiar, przenosząc się z "mikrozjawisk" na "makrozjawiska". Stało się to za sprawą cybernetyki i metodologii badań systemowych. Także instrumentalizacja zawsze towarzyszyła rozwojowi nauki w postaci badań laboratoryjnych korzystających z różnego rodzaju przyrządów, np. pomiarowych. Pod koniec II wojny światowej jednym z urządzeń technicznych wspomagających badania stał się komputer, który obecnie jest nieodłącznie związany z modelowaniem, tzn. uzyskiwaniem pożądaných rezultatów dzięki komputerowej realizacji modelu realnego zjawiska /objektów, procesów/. Aczkolwiek koszty takich badań są ogromne, to w wielu przypadkach modelowanie i komputerowa realizacja modeli jest jedyną możliwą drogą postępowania badawczego.

Najwięcej wątpliwości i spornych kwestii metodologicznych pojawia się, gdy przedmiotem modelowania stają się zjawiska społeczne, obejmujące zachowania społeczne, działalność produkcyjną i usługową, walkę zbrojną i niezbrojną oraz kierowanie nimi. Ma na to wpływ zarówno złożoność i dynamiczność, wielowymiarowość i wieloaspektowość tych zjawisk, jak i tradycja opisowego i empirycznego ich traktowania. Powszechność metodologii "opisowej" i empirycznej analizy różnorodnych "mikrozjawisk" /faktów i zdarzeń/, a nierzadko również "mit indywidualnego doświadczenia" - opóźniały "wdrażanie" metodologii systemowej wraz z jej "arsenałem" metod matematycznych i technik komputerowych. Nadal często spotykają się z protestami modele systemów społecznych, jako że są uproszczone w stosunku do ich oryginałów, gdy tymczasem żadnych protestów nie budzą już "gazy idealne", ciała idealnie gładkie itp. występujące w naukach przyrodniczych. Należy sądzić, że nie grzechem modelowania są "uproszczenia rzeczywistości" występujące w jej opisie, lecz brak ich świadomości u korzystających z modeli. Albo zapominanie o różnicach między oryginałem a ich modelami.

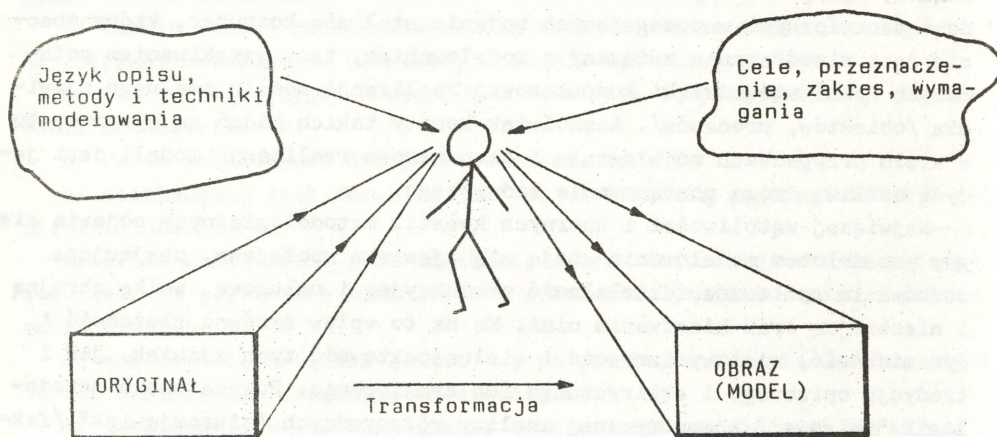
Warto przypomnieć, że w naukach formalnych modelem jest formalne przedstawienie teorii lub formalny spis empirycznej obserwacji. W rozważaniach filozoficznych powszechną niemal akceptację zyskał sąd, wg którego: "Przez model rozumie się taki dający się pomyśleć lub materialnie zrealizować, układ, który, odzwierciedlając lub odtwarzając przedmiot badania, zdolny jest zastępować go tak, że jego badanie dostarcza nam nowej informacji o tym przedmiocie"^{5/}.

Przyjmijmy zatem, że:

5/ W. Sztuff, Modelowanie i filozofia. PWN, Warszawa 1971.

- modelowanie jest procesem konstruowania obrazu danego fragmentu rzeczywistości, zwanego oryginałem, wyrażonego w przyjętym języku /kodzie/ za pomocą określonej metody badawczej i zgodnie z wiedzą podmiotu;

- model jest rezultatem modelowania, tzn. obrazem danego przedmiotu badań, wyrażającym cel badań i wiedzę podmiotu, przedstawionym w przyjętym języku /kodzie/.



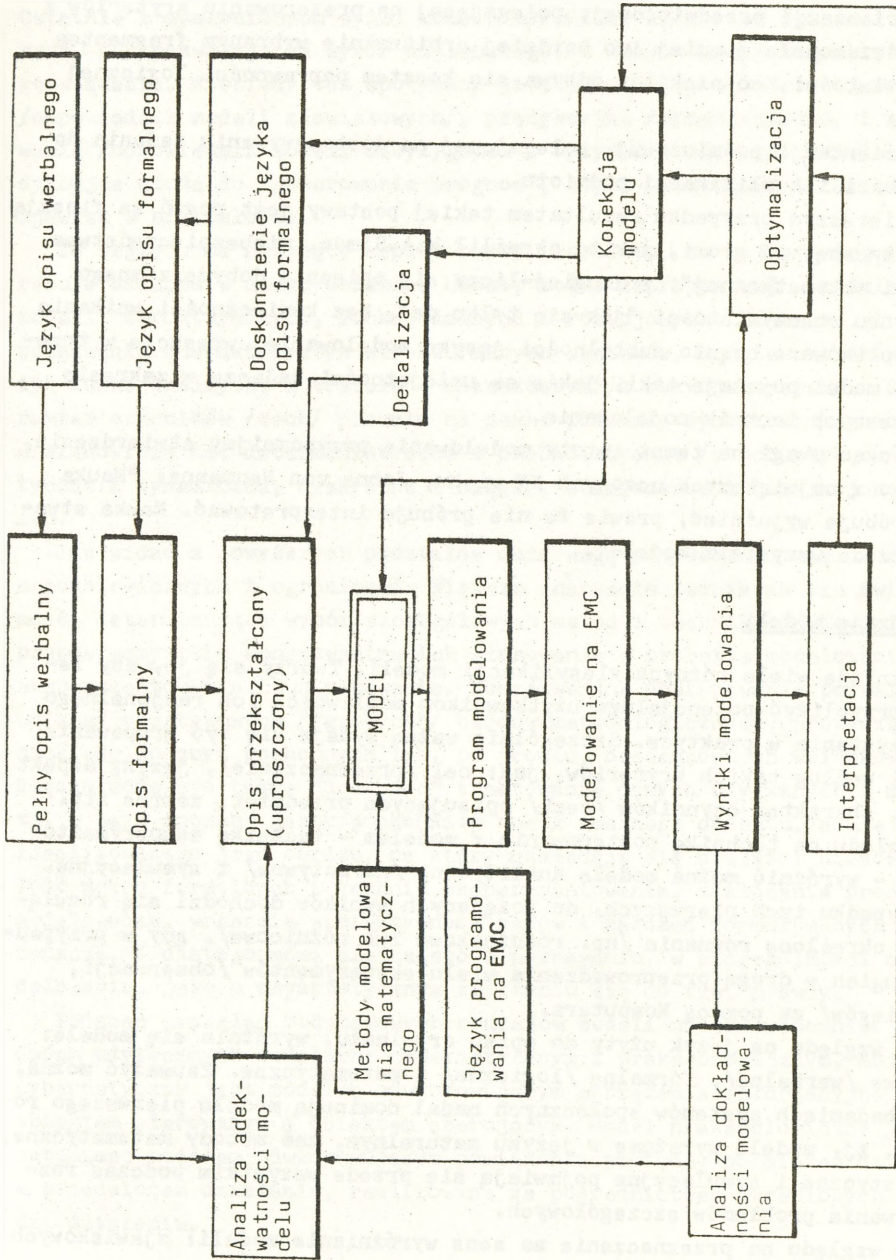
Rys. 1. Podstawowe uwarunkowania procesu modelowania

Wynika stąd, że modelowanie jest pewną relacją pomiędzy oryginałem a obrazem, którą realizuje podmiot badań. Podmiot jest głównym czynnikiem determinującym adekwatność modelu, czyli stopień zgodności obrazu z oryginałem, albowiem stopień ten zależy od wiedzy empirycznej i wiedzy metodologicznej podmiotu modelowania. Ponadto na adekwatność i typ modelu mają wpływ ograniczenia zewnętrzne takie jak: cel badań, zakres i czas badań, założenia i wymagania.

O wyborze typu i rodzaju modelu decydują:

- wykorzystanie znajomości własności "naturalnych" /empirycznych/ przedmiotu badań;
- wykorzystanie istniejących danych eksperymentalnych uzyskanych podczas doświadczeń bezpośrednich z przedmiotem badań;
- wybór arbitralny.

Tego ostatniego czynnika nie można w badaniach pomijać, tak jak nie można pomijać wpływu intuicji badacza. W związku z tym można mówić o pewnych orientacjach w modelowaniu, a mianowicie o:



Rys. 2. Ogólny schemat modelowania

- orientacji modelowej, polegającej na preferowaniu kryteriów wewnętrznej poprawności logicznej modelu, przy czym zagadnienie adekwatności modelu schodzi na plan dalszy;

- orientacji przedmiotowej, polegającej na preferowaniu kryteriów z zgodności modelu z mniej lub bardziej arbitralnie wybranym fragmentem rzeczywistości, co niekiedy odbywa się kosztem poprawności logicznej modelu;

- orientacji podmiotowej, polegającej na dostosowywaniu zadania do możliwości i kwalifikacji podmiotu.

W pierwszym przypadku rezultatem takiej postawy jest pogoń za finezją matematyczną, co grozi, jak to określili M.A.Simon, niebezpieczeństwem "afazji matematycznej"; w drugiej - liczy się opisanie dobrze znanego fragmentu rzeczywistości "jak się tylko da", bez konieczności wnikania w skomplikowane często subtelności języka modelowania, wreszcie w trzeciej - model powstaje taki, jakie są umiejętności badacza w zakresie nowoczesnych technik modelowania.

Kończąc uwagi na temat istoty modelowania przypomnijmy stwierdzenie, jednego z największych uczonych XX wieku, Johna von Neumanna: "Nauka nie próbuje wyjaśniać, prawie że nie próbuje interpretować. Nauka stwarza przede wszystkim modele".

3. Rodzaje modeli

Istnieje wiele różnych klasyfikacji modeli. Tworzy się je, aby lepiej przybliżyć potencjalnym użytkownikom możliwości ich racjonalnego wykorzystania w praktyce. Szczególnie ważne wydaje się być grupowanie modeli według takich kryteriów, jak: cel /przeznaczenie/, język, aspekt badań, charakter czynników /cech/ opisujących przedmiot, zakres itp. Ze względu na technikę postępowania z modelem - technikę eksperymentowania - wyróżnić można modele analityczne /normatywne/ i symulacyjne. W przypadku tych pierwszych, do pożądanego wyniku dochodzi się rozwiązując określone równania /np. różniczkowe lub różnicowe/, gdy w przypadku drugich - drogą przeprowadzenia wielu eksperymentów /obserwacji, przebiegów/ za pomocą Komputera.

Ze względu na język użyty do opisu oryginału, wyróżnia się modele: opisowe /werbalne/, formalne /logiczne/ i matematyczne. Zauważyć można, że w badaniach systemów społecznych nadal dominują modele pierwszego rodzaju, tj. modele wyrażone w języku naturalnym, zaś metody matematyczne, statystyczne i symulacyjne pojawiają się przede wszystkim podczas rozwiązywania problemów szczegółowych.

Ze względu na przeznaczenie ma sens wyróżnianie modeli: zjawiskowych

/opisujących i objaśniających przedmiot badań/, ocenowych /pozwalających na formułowanie ocen, czyli wypowiedzi wartościujących/ i decyzyjnych /pozwalających na formułowanie wariantów decyzji i dokonywanie wyborów/. Ostatnie z wymienionych wyżej modeli określane są mianem optymalizujących, gdy pozwalają na wybór najlepszego, w sensie przyjętego kryterium, rozwiązania. Niekiedy też spotykany jest podział na modele: objaśniające /odpowiednik modeli zjawiskowych/, predykcyjne /prognostyczne/ i sterowania /odpowiednik modeli decyzyjnych i optymalizujących/. Modele predykcyjne służą do "generowania prognoz", czyli przewidywania przebiegu zjawisk w przyszłości.

Ze względu na przyjęty aspekt badań, czyli to, co najbardziej interesuje badacza w danym obiekcie badań, można zaproponować wyróżnienie modeli: strukturalnych, funkcjonalnych i rozwojowych. Pierwsze służą poznawaniu charakterystyk strukturalnych systemów, drugie - charakterystyk funkcjonalnych, a trzecie - charakterystyk rozwoju systemów. Charakter czynników /cech/ pozwala na pewne podziały dychotomiczne modeli, a mianowicie na: deterministyczne i probabilistyczne /stochastyczne/, statyczne i dynamiczne, dyskretne i ciągłe, stacjonarne i niestacjonarne itp.

Jak widać z powyższych podziałów dużą wagę przywiązuje się do założeń metodologicznych i ograniczeń. Większe znaczenie jednak ma ich świadomość, determinująca wybór szczegółowych metod i technik modelowania, a przede wszystkim konsekwentne ich stosowanie w procesie modelowania, eksperymentowania i wnioskowania. Konsekwentne postępowanie pozwala uniknąć podstawowych /"grubych"/ błędów metodologicznych, prowadzących niekiedy do zbyt pochopnych lub, po prostu, bezsensownych wniosków. Błędem może być także "dosłowne" traktowanie danych uzyskanych z modelu, tj. w taki sposób, jakby pochodziły one z realnego obiektu, a nie z wyidealizowanego jego obrazu, na który nakładają się niejako: niedoskonałość metod formalnych i technik eksperymentowania, zakłócenia procesu modelowania, wreszcie subiektywność sądów i założeń formułowanych przez badacza. I dlatego mówi się często o poznawaniu, w szczególności o modelowaniu, jako o asymptotycznym zbliżaniu się do tzw. prawdy.

Kończąc przegląd podstawowych rodzajów modeli należy wspomnieć o dwóch użytecznych modelach: cybernetycznym i prakseologicznym. Model cybernetyczny jest modelem odwzorującym sprzężenia informacyjne między obiektem sterowanym a obiektem sterującym. Model prakseologiczny jest natomiast modelem odwzorującym powiązania pomiędzy podmiotem działania a przedmiotem działania, realizowane za pośrednictwem określonych narzędzi działania.

4. Modelowanie systemów walki

Model matematyczny walki jest sformalizowanym opisem rzeczywistych przewidywanych procesów działań bojowych /walki, operacji/, wyrażonym w języku matematyki. Model pozwolić powinien na pośrednie badanie wybranych zjawisk związanych z walką zbrojną, na przeprowadzenie, oczywiście ograniczonych eksperymentów.

Wyniki eksperymentów z kolei powinny umożliwić formułowanie wniosków pozwalających na lepsze, tj. obiektywniejsze i uogólniające, poznanie specyficznych cech systemowych charakteryzujących organizację i funkcjonowanie rzeczywistych procesów walki. Dysponowanie matematycznymi modelami 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. Stanowią one więc 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 swojej dyspozycji po jednym środku rażenia;
- matematyczne modele walki "grupowej" /zgrupowań jednorodnych i niejednorodnych/.

Klasycznymi modelami opisującymi dynamikę walki są modele Lanchestera /ML/, których rozwój został zapoczątkowany w 1916 r.^{6/}

Istniejące znane modele pozwalają m.in. na prowadzenie ilościowych badań, takich jak np.:

- ilościową porównawczą ocenę różnych rodzajów uzbrojenia;
- określenie optymalnej odległości otwarcia ognia w wyniku badania wpływu tej odległości na wynik walki;
- badanie wpływu odległości między środkami rażenia na wynik walki;
- badanie wpływu sposobów strzelania na wynik walki;
- wybór optymalnej prędkości przesunięcia środków /zgrupowań/;
- 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;

6/ W.F.Lanchester, Aircraft in Modern Warfare, the Dawn of the Fourth Arm. Constable and co, London 1916.

- określenie optymalnego stosunku kosztów systemu techniki wojskowej /uzbrojenia/ do kosztów systemu dowodzenia;

- określenie optymalnej wartości stosunku sił niezbędnej dla wykonania postawionego zadania bojowego itp.

Obecnie rozpatrzmy model dynamiki walki, przyjmując za podstawę model Lanchestera. Najprostszym jest liniowy ML.

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 równaniem:

$$E = \frac{n/t_o/ - n/t_k/}{m/t_o/ - m/t_k/} = \frac{N - n/t_k/}{M - m/t_k/}$$

gdzie: $m/t_o/ = M$ i $n/t_o/ = N$ 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:

$$\frac{dn}{dt} = - \frac{1}{1 + E}$$

$$\frac{dm}{dt} = - \frac{1}{1 + E}$$

Drugie prawo Lanchestera /zależność kwadratowa/ odpowiada wojnom współczesnym /do II wojny światowej/, gdy należy uwzględnić również możliwości bezpośredniego oddziaływania środków walki:

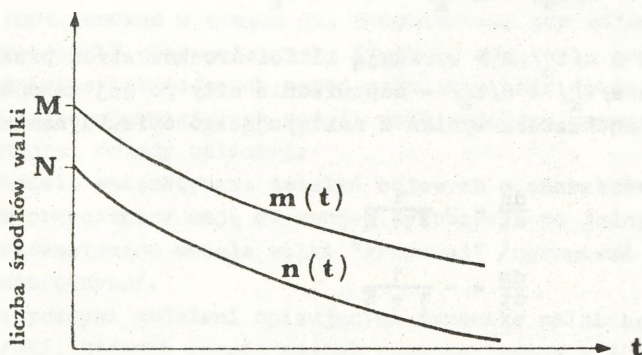
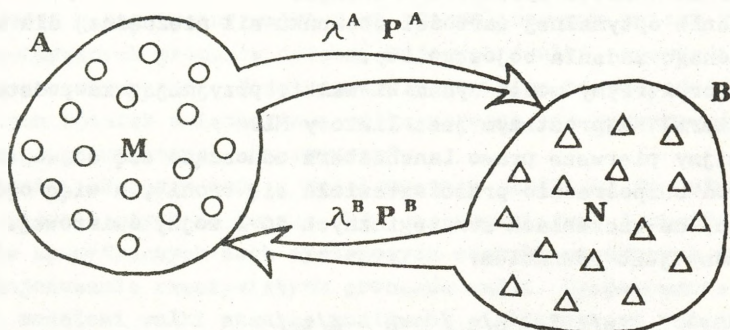
$$E = \frac{N^2 - n/t_k/^2}{M^2 - m/t_k/^2}$$

Klasyczny model Lanchestera 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 procesem Poissona;

- jednym strzałem nie można zniszczyć więcej niż jeden środek;

- sumaryczny potencjał bojowy każdej strony jest proporcjonalny do wartości oczekiwanej liczby ocalałych jednostek /środków/.



$$\frac{d m / t /}{d t} = -\lambda^B P^B n / t /$$

$$\frac{d n / t /}{d t} = -\lambda^A P^A m / t /$$

$$m / 0 / = M, n / 0 / = N, 0 \leq t \leq T \text{ przy } T < \infty$$

Rys. 3. Przykład "prostego" modelu walki

Sformułujmy problem optymalizacji procesu walki dla przypadku niejednorodnych środków stron walczących^{7/}.

Niech dany będzie zbiór typów środków walki poszczególnych stron:

$$J^A = \{1, \dots, i, \dots, I^A\}$$

$$J^B = \{1, \dots, j, \dots, J^B\}$$

7/ A. Chojnacki, Modelowanie matematyczne i algorytmizacja planowania działań bojowych. Rozprawa doktorska, WAT, 1976.

oraz znane są charakterystyki tych środków

$$M_1, \lambda_1^A, P_{1j}^A / t / \text{ i } N_j, \lambda_j^B, P_{j1}^B / t /$$

dla $i \in J^A, j \in J^B$.

Określa się wielkości, które posłużą jako zmienne decyzyjne:

$X_{1j}^A / t /$ - 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;

$Y_{j1}^B / t /$ - 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:

$$0 \leq X_{1j}^A / t /, \quad 0 \leq Y_{j1}^B / t /$$

$$\sum_{j=1}^{J^B} X_{1j}^A / t / \leq 1, \quad \sum_{i=1}^{I^A} Y_{j1}^B / t / \leq 1$$

Wtedy równania dynamiki walki mają postać:

$$\frac{dm_1 / t /}{dt} = - \sum_{j=1}^{J^B} \lambda_j^B P_{j1}^B / t / Y_{j1}^B / t / n_j / t /$$

$$\frac{dn_j / t /}{dt} = - \sum_{i=1}^{I^A} \lambda_i^A P_{ij}^A / t / X_{1j}^A / t / m_1 / t /$$

dla warunków początkowych: $m_1 / 0 / = M_1, n_j / 0 / = N_j$.

Wprowadźmy funkcje oceny efektywności dla stron walczących, posiadające sens różnicy ważonych strat:

dla strony A:

$$E_A = \sum_{j=1}^{J^B} \omega_j^B / N_j - n_j / T // - \sum_{i=1}^{I^A} \omega_i^A / M_1 - m_1 / T //$$

dla strony B:

$$E_B = - E_A$$

Ponieważ rozwiązanie problemu $\langle m/t/, n/t/ \rangle$ zależy od wyboru $/x, y/ \in X \cdot Y$, gdzie:

$$X = \{x_{ij}^A : i \in J^A, j \in J^B\}^o, \quad Y = \{y_{ji}^B : j \in J^B, i \in J^A\},$$

więc także $m/T/$ i $n/T/$ zależy od $/x, y/$ przy ustalonym $T > 0$, wtedy możemy przyjąć, że

$$E_A = E_A /x, y/$$

$$E_B = E_B /x, y/$$

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

$$\frac{d PB^A/t/}{dt} = \varphi_A^B /x, y, t/$$

$$\frac{d PB^B/t/}{dt} = \varphi_B^A /x, y, t/ \quad t \in t_0, T$$

$$\text{dla } PB^A/t_0/ = PB_0^A > 0, \quad PB^B/t_0/ = PB_0^B > 0.$$

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.

$$PB^A/t_g < PB_g \quad \text{lub} \quad PB^B/t_g < PB_g.$$

b/ określenia funkcji /funkcjonału/ efektywności walki, pozwalającej 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 współczesnego 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^{8/}/.

W tym miejscu pojawia się pewien dylemat badacza związany z wyborem narzędzia modelowania: czy modele analityczne typu przedstawione ML, czy modele symulacyjne i realizacja w postaci komputerowej gry wojennej? Wydaje się, że jedno nie wyklucza drugiego, gdyż - po pierwsze - nie sposób zastosować metody symulacji komputerowej bez uprzedniego rozwiązania problemu ustalenia zależności funkcyjnych pomiędzy istotnymi ce-

8/ Np. interesujące wyniki badań związanych z modelem boju spotkaniowego, skonstruowanego w konwencji ML przedstawiono w rozprawie E.Kilar, Matematyczny model boju spotkaniowego. ASG WP, 1975.

chami badanych procesów, a po drugie - w ramach komputerowej gry wojennej, mogą, a raczej powinny być realizowane procedury obliczania wartości istotnych charakterystyk i wskaźników oceny. Istnieją zresztą na ten temat interesujące i wartościowe prace, przybliżające metody i techniki modelowania i komputerowej realizacji modeli, także procesów działań bojowych /walki, operacji/.

Pytania kontrolne

1. Scharakteryzować historyczny proces rozwoju zastosowań metod matematycznych w poszczególnych naukach.
2. Jak należy rozumieć pogląd Leibniza o "matematycznej naturze" przyrody.
3. Omówić program D.Hilberta.
4. Jakie są konsekwencje poznawcze twierdzenia Gödla?
5. Omówić istotę modelowania matematycznego.
6. Podać definicję modelu.
7. Co wpływa na wybór typu i rodzaju modelu?
8. Przedstawić klasyfikację modeli.
9. Omówić liniowy model walki Lanchestera.
10. Omówić ogólny schemat modelowania walki zbrojnej.

Wykaz literatury

1. A.Chojnacki, Modelowanie matematyczne. WAT, Warszawa 1986.
2. A.Chojnacki, S.Piasecki, Planowanie operacji wojennych. WAT, Warszawa 1973.
3. J.Czujew, Badania operacji w wojsku. MON, Warszawa 1972.
4. W.Drużynin, D.Kontorow, Woprosy wojennoj sistiemotiechniki. Moskwa 1976.
5. J.Gutenbaum, Modelowanie matematyczne systemów. PWN, Warszawa 1987.
6. J.Konieczny, Inżynieria systemów działania. WNT, Warszawa 1983.
7. S.Piasecki, Elementy teorii niszczenia. WAT, Warszawa 1968.
8. P.Sienkiewicz, Inżynieria systemów. MON, Warszawa 1983.
9. P.Sienkiewicz, Teoria efektywności systemów. Ossolineum, Wrocław 1987.
10. P.Sienkiewicz, A.Ameljańczyk, A.Chojnacki, T.Nowicki, A.Sowa, Teoretyczne podstawy optymalizacji w systemach dowodzenia. ASG WP, Warszawa 1986.
11. K.Tarakanow, Matematika i woorużiennaja borba. Moskwa 1974.
12. P.Tkaczienko /red./, Matematyczieskije modeli bojowych diejstwij. Moskwa 1969.
13. E.Wentcel, Issliedowanije opieracij. Moskwa 1972.

II. METODY LOGICZNE

1. Wprowadzenie

Logika to dyscyplina naukowa, tradycyjnie zaliczana do nauk filozoficznych, zainicjowana w starożytności i rozwijana przez wiele wieków jako normatywna nauka o formach poprawnego myślenia, ustalająca zasady, których naruszenie prowadzi do błędów logicznych.

Do połowy XIX wieku logika obejmowała naukę o pojęciu, naukę o sądzie, naukę o rozumowaniu i naukę o wnioskowaniu. Występowała w postaci określanej logiką tradycyjną /klasyczną/. Logika ta ograniczała się do elementarnych praw dotyczących wynikania i sprzeczności oraz nie wykraczała poza logikę zdań i logikę nazw, których formuły odpowiadają wyrażeniom języka naturalnego.

Współcześnie logika w szerokim znaczeniu obejmuje zwykle:

- logikę formalną /teorię wnioskowania dedukcyjnego/;
- teorię wnioskowania indukcyjnego;
- semantykę logiczną^{1/} i syntaktykę^{2/};
- metodologię nauk^{3/};
- wybrane zagadnienia techniki pracy umysłowej i erystyki^{4/}.

Logika w węższym znaczeniu, przyjmowanym na ogół współcześnie, to logika formalna. Jest to nauka o związkach logicznych między zdaniami,

-
- 1/ Semantyka logiczna - ogólna nauka o związkach, jakie zachodzą pomiędzy wyrażeniami języka a przedmiotami, do których się one odnoszą.
 - 2/ Syntaktyka - dział semiotyki badający wzajemne stosunki znaczeniowe między wyrażeniami języka w procesie porozumiewania się ludzi.
 - 3/ Metodologia nauk - w logice rozumiana jest jako nauka o sposobach budowania i strukturze systemów naukowych oraz o stosowanych w nich rodzajach rozumowań.
 - 4/ Erystyka - sztuka prowadzenia sporów, dyskusji, umiejętność takiego argumentowania, by wykazać słuszność głoszonego poglądu lub bronionej tezy, albo też obalić pogląd /tezę/ przeciwnika.

wskazująca formy poprawnego wnioskowania. Współczesną postacią logiki formalnej jest logika matematyczna, będąca teorią wnioskowania dedukcyjnego oraz teorią struktury systemów dedukcyjnych, ukształtowana w drugiej połowie XIX wieku.

Logika formalna składa się z następujących głównych działów:

- logika zdań /której podstawowym działem jest rachunek zdań^{5/};
- logika nazw /z najwcześniejszym historycznie rachunkiem nazw^{6/};
- teoria relacji^{7/};
- rachunek operatorów logicznych.

Zasadniczymi przedmiotami badań współczesnej logiki formalnej są:

- stosunek wynikania logicznego;
- stosunek sprzeczności między twierdzeniami;
- analiza pojęć i relacji oznaczania przez nie przedmiotów;
- związki spełniania i definiowania zachodzące między przedmiotami, ich właściwościami i relacjami a określeniami, czy charakterystykami formułowanymi w odpowiednim języku.

Ważną rolę w logice formalnej odgrywają tautologie, które wiążą się ze stosunkiem wynikania logicznego, który pozwala na podział wnioskowań na niezawodne /dedukcyjne/ i zawodne /niededukacyjne/.

W XX wieku logika rozszerza zakres swych badań; rozwijają się coraz nowe teorie i kierunki jak np.: logika deontyczna /zwana logiką powinności/, logika pytań /zwana również logiką erotetyczną/. Wzrasta również zakres zastosowań logiki w różnych dziedzinach nauki i techniki /np. w teorii prawdopodobieństwa, cybernetyce, teorii maszyn cyfrowych, teorii gier, teorii decyzji czy też teorii efektywności/.

Pośród wielu polskich uczonych, którzy wnieśli istotny wkład do rozwoju logiki wymienić wypada: K.Twardowskiego, J.Łukasiewicza, S.Leśniewskiego, A.Tarskiego, A.Mostowskiego, T.Kotarbińskiego, K.Ajdukiewicza, K.Szanławskiego, R.Wójcickiego, J.Kmitę.

2. Reguły wnioskowania

Reguły wnioskowania, to reguły logicznie poprawnego przekształcania zdań, pozwalające uznawać pewne zdania na podstawie innych, uznanych już zdań.

- 5/ Rachunek zdań - dział logiki formalnej, obejmujący wzory logiczne ze zmiennymi zdaniowymi występujące w postaci funkcji zdaniowych.
- 6/ Rachunek nazw /teoria nazw/, dział logiki formalnej, którego przedmiotem badań są formuły logiczne zawierające tzw. zmienne nazwowe oraz funktory zdaniotwórcze od argumentów nazwowych.
- 7/ Teoria relacji /rachunek relacji, teoria stosunków/ - to teoria stosunków /związków, zależności/ między dwoma /lub więcej/ przedmiotami danego rodzaju /pojęciami, wielkościami/.

Przyjmujemy bez dowodu, że określone schematy formalne są niezawodne. Schematy takie nazywamy schematami pierwotnymi, a zdania stwierdzające, że są one schematami niezawodnymi, nazywamy regułami pierwotnymi. Schematy pierwotne dobierane są w ten sposób, by ich niezawodność nie budziła żadnych wątpliwości. Opierając się na niezawodności schematów pierwotnych dochodzimy w określony sposób niezawodności innych schematów formalnych, które nazwiemy schematami wtórnymi.

Jak pisze J. Nowakowski^{8/} budowa niezawodnych schematów wnioskowania polega na rozwiązaniu następującego zadania: znamy zależności jakie zachodzą pomiędzy wartością logiczną poszczególnych członów a całym zdaniem złożonym, znamy wartość logiczną całego zdania złożonego oraz znamy wartości logiczne niektórych jego członów i na tej podstawie określamy wartość logiczną pozostałych członów.

Postawić można pytanie: czy istnieje jakaś metoda pozwalająca określić, że pewien formalny schemat wnioskowania jest schematem logicznym /niezawodnym/ czy też nie.

Jedną z metod pozwalającą ocenić dany schemat wnioskowania jest znalezienie takiego przykładu aby wychodząc od prawdziwych przesłanek dojść do fałszywego wniosku. Znalezienie choćby jednego takiego przykładu nakazuje uznać dany schemat wnioskowania za zawodny.

Np. mamy następujący schemat wnioskowania

$$\begin{array}{ccc} a & \longrightarrow & b \\ \hline b & \longrightarrow & a \end{array}$$

Metoda sprawdzenia tego schematu polega na zastąpieniu zmiennych a i b takimi zdaniami, które dadzą prawdziwą przesłankę i fałszywy wniosek.

Jeżeli dokonamy następującego podstawienia

a - pada deszcz

b - jezdnia jest mokra

to zastępując zmienne a i b w powyższym schemacie odpowiednimi zdaniami otrzymujemy:

Jeżeli pada deszcz, to jezdnia jest mokra

więc

Jeżeli jezdnia jest mokra, to pada deszcz.

W wyniku podstawienia konkretnych zdań za zmienne występujące w sprawdzonym schemacie otrzymaliśmy wnioskowanie, w którym przesłanka jest prawdziwa, zaś wniosek jest fałszywy /jezdnia może być mokra, np. dlate-

8/ Zob. J. Nowakowski, Logika, zeszyt nr 3. Elementy logiki formalnej. ASG, Warszawa 1970.

go, że została zmoczona przez polewaczkę/. Oznacza to, że analizowany schemat wnioskowania nie jest niezawodny, gdyż niekiedy prowadzi on od prawdy do fałszu.

Zadać można kolejne pytanie: co można powiedzieć na temat analizowanego schematu wnioskowania jeżeli nie potrafimy znaleźć /dokonać/ takiego podstawienia, w którym wychodząc od prawdziwych przesłanek dojdziemy do fałszywego wniosku? Innymi słowy, wszystkie próby podstawień pod zmienne a i b konkretnych zdań prowadzą nas od prawdziwych przesłanek do prawdziwego wniosku. Otóż w takim przypadku nie mamy jeszcze podstaw do uznania, że dany schemat wnioskowania jest schematem niezawodnym. Nie mamy bowiem pewności, że nie ma takiego podstawienia, w którym wychodząc od prawdziwych przesłanek dojdziemy do fałszywego wniosku.

Inną metodą sprawdzania schematów wnioskowania jest metoda zero-jedynkowa /zwana również matrycową/.

Idea tej metody polega na tym, że w sprawdzanym schemacie dokonujemy wszystkich możliwych podstawień pod zmienne zdaniowe symboli 0 i 1. Jeżeli wykonując operacje określone w tabelkach wartości logicznych zdań złożonych zawsze otrzymamy w ostatecznym wyniku 1, to uznajemy sprawdzany schemat wnioskowania za niezawodny. Jeżeli choćby raz otrzymamy 0, to sprawdzany schemat uznajemy za zawodny. Zastosujemy tę metodę do poprzedniego przykładu:

$$\frac{a \rightarrow b}{b \rightarrow a}$$

Najpierw przedstawmy ten schemat w postaci implikacji, której poprzednik stanowi przesłanka powyższego schematu, natomiast następnik - jego wniosek. Otrzymamy następujące wyrażenie:

$$/a \rightarrow b/ \rightarrow /b \rightarrow a/$$

Następnie w miejsce zmiennych a i b podstawiamy wszystkie możliwe kombinacje 0 i 1.

a	b	Wartość wyrażenia
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

Podstawienie pierwsze

$$\begin{array}{c} /a \rightarrow b/ \rightarrow /b \rightarrow a/ \\ /0 \rightarrow 0/ \rightarrow /0 \rightarrow 0/ \\ 1 \xrightarrow{\quad} 1 \\ 1 \end{array}$$

Podstawienie drugie

$$\begin{array}{c} /0 \rightarrow 1/ \rightarrow /1 \rightarrow 0/ \\ 1 \xrightarrow{\quad} 0 \\ 0 \end{array}$$

Podstawienie trzecie

$$\begin{array}{c} /1 \rightarrow 0/ \rightarrow /0 \rightarrow 1/ \\ 0 \xrightarrow{\quad} 1 \\ 1 \end{array}$$

Podstawienie czwarte

$$\begin{array}{c} /1 \rightarrow 1/ \rightarrow /1 \rightarrow 1/ \\ 1 \xrightarrow{\quad} 1 \\ 1 \end{array}$$

Uzupełnić można obecnie tabelę. Otrzymujemy:

a	b	Wartość wyrażenia
0	0	1
0	1	0
1	0	1
1	1	1

Ponieważ w drugim podstawieniu sprawdzane wyrażenie przyjęło wartość 0, więc sprawdzany schemat wnioskowania nie jest schematem niezawodnym.

Szersze omówienie sprawdzania schematów wnioskowania w oparciu o metodę zero-jedynkową znajdzie Czytelnik w [5].

3. Niezawodne schematy wnioskowania

3.1. Niezawodne schematy wnioskowania z jedną zmienną zdaniową

3.1.1. Prawo sprzeczności

Dwa zdania sprzeczne nie mogą być jednocześnie prawdziwe, lub koniunkcja zdań sprzecznych jest zawsze fałszywa, lub zaprzeczenie koniunkcji zdań sprzecznych jest zawsze prawdziwe.

Formalny zapis

$$\sim / p \wedge \sim p /$$

który odczytujemy: Nieprawda, że zarazem p i nie p.

3.1.2. Prawo wyłączonego środka

Z dwóch zdań sprzecznych jedno i tylko jedno jest prawdziwe, lub alternatywa zdań sprzecznych jest zdaniem prawdziwym.

Formalny zapis

$$p \vee \sim p$$

który odczytujemy p lub nie p

Zgodnie z tym prawem prawdziwym jest zdanie:

Automatyzacja procesów dowodzenia przyczyni się do zwiększenia sprawności dowodzenia lub nieprawda, że automatyzacja procesów dowodzenia przyczyni się do zwiększenia sprawności dowodzenia.

3.1.3. Prawo podwójnego przeczenia

Zdanie dwukrotnie zaprzeczone nie zmienia swojej wartości logicznej.

Zapis:

$$\frac{\sim \sim p}{p}$$

który odczytujemy: Nieprawda, że nieprawda p, więc p lub Nieprawda, że nie p więc p.

3.2. Niezawodne schematy wnioskowania z dwiema zmiennymi zdaniowymi

3.2.1. Reguła odrywania

Reguła ta stwierdza, że z implikacji i jej poprzednika wynika jej następnik. Schemat wnioskowania jest następujący:

$$\frac{p \rightarrow q}{p} \\ \hline q$$

który czytamy: Jeżeli p, to q i p, więc q.

Przykład:

Jeżeli nastąpi wybuch wojny to odbywa się mobilizacja i wiadomo, że nastąpił wybuch wojny, więc musi zostać przeprowadzona mobilizacja.

3.2.2. Reguła dołączenia koniunkcji

Z dwóch wyrażeń zdaniowych wynika ich koniunkcja, czyli reguła stwierdza niezawodność schematu:

$$\frac{p}{p \wedge q}$$

Przykład: Ze zdań:

a/ Absolwent ASG WP opanował sztukę operacyjną i

b/ Absolwent ASG WP opanował język rosyjski

Wynika zdanie:

c/ Absolwent ASG WP opanował sztukę operacyjną i język rosyjski.

3.2.3. Reguła opuszczania koniunkcji

Z koniunkcji wynika każdy z jej członów, a więc reguła ta stwierdza niezawodność schematów:

$$\frac{p \wedge q}{p}$$

$$\frac{p \wedge q}{q}$$

Przykład: Ze zdania c/ /p. 3.2.2./ wynika każde ze zdań a/ i b/.

3.2.4. Reguła dołączenia alternatywy

Z każdego członu alternatywy wynika ta alternatywa, a więc reguła ta stwierdza niezawodność schematów:

$$\frac{p}{p \vee q}$$

$$\frac{q}{p \vee q}$$

Przykład: Według tej reguły z każdego ze zdań:

d/ Samolot F16 jest przeznaczony do transportu bomb lotniczych;

e/ Samolot F16 jest przeznaczony do transportu sprzętu desantowego, wynika alternatywa;

f/ Samolot F16 jest przeznaczony do transportu bomb lotniczych lub samolot F16 jest przeznaczony do transportu sprzętu desantowego.

Alternatywa f/ stwierdza to samo, co zdanie: Samolot F16 jest przeznaczony do transportu bomb lotniczych lub sprzętu desantowego.

3.2.5. Reguła opuszczania alternatywy

Reguła ta stwierdza, że z alternatywy i negacji jednego z jej członów wynika drugi jej człon.

Zapisać ją można w postaci następującego schematu:

$$\frac{p \vee q}{\sim p} \\ q$$

Ze względu na to, że alternatywa jest przemienne, stosować można również drugą odmianę tego schematu

$$\frac{p \vee q}{\sim q} \\ p$$

Przykład: Został ogłoszony alarm, ponieważ wprowadzono stan podwyższonej gotowości bojowej lub do jednostki przybyła inspekcja i wiadomo, że nieprawdą jest, że wprowadzono stan podwyższonej gotowości bojowej, więc do jednostki przybyła inspekcja.

3.2.6. Reguła dołączania równoważności

Stwierdza ona, że z danej implikacji i z implikacji względem niej odwrotnej wynika równoważność odpowiadająca danej implikacji. Przebiega według następującego schematu:

$$p \rightarrow q \\ q \rightarrow p \\ p \equiv q$$

Przykład: Ze zdań:

g/ Jeżeli został wprowadzony stan wojenny, to zawieszona jest konstytucja.

h/ Jeżeli zostaje zawieszona konstytucja, to wprowadzony został stan wojenny.

Wynika zdanie

1/ Konstytucja zostaje zawieszona wtedy i tylko wtedy, gdy został wprowadzony stan wojenny.

3.2.7. Reguła modus tollens /zwana również sposobem obalającym przez obalenie/

Stwierdza, że z implikacji i wyrażenia sprzecznego z jej następnikiem wynika wyrażenie sprzeczne z jej poprzednikiem.

Niezawodny jest następujący schemat wnioskowania:

$$p \rightarrow q \\ \sim q \\ \sim p$$

Przykład: Ze zdań:

j/ Jeśli żołnierze są dobrze wyszkoleni to wykonują strzelanie.

k/ Żołnierze nie wykonali strzelania.

wynika zdanie:

l/ Żołnierze nie są dobrze wyszkoleni.

Powyżej przedstawiliśmy tylko niektóre, najbardziej podstawowe niezawodne schematy wnioskowania. Jest ich znacznie więcej, że wymienimy nazwy jeszcze kilka innych, bez podawania interpretacji: reguła sylogizmu warunkowego, reguła transpozycji, reguła transpozycji złożonej, reguła negowania alternatywy, reguła mnożenia implikacji, reguła nowego czynnika, reguła dodawania implikacji, reguła dylematu konstrukcyjnego złożonego, reguła nowego składnika, reguła odrywania dla równoważności, reguła przechodności równoważności, reguła negowania członów równoważności, reguła mnożenia równoważności, reguła nowego czynnika dla równoważności, reguła nowego składnika dla równoważności, reguła dylematu destrukcyjnego złożonego, reguła dylematu destrukcyjnego prostego, reguła Dunsza Szkota, reguła redukcji do absurdu, reguła odwracania implikacji.

Szerszą informację na temat omawianych w niniejszym podrozdziale zagadnień znajdzie Czytelnik w [3], rozdział III.

4. Stawianie i weryfikacja hipotez

Mechanizm formalno-logiczny stawiania hipotez jest następujący:

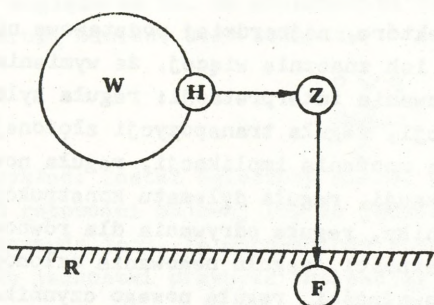
1. Stwierdzamy, że prawdziwe jest zdanie /z/ o pewnym fakcie;
2. Dysponujemy pewnym zasobem wiedzy /w/, który jest należycie uzasadniony;
3. Chcemy znaleźć zdanie, które stanowiłoby rację dla zdania z;
4. Z samych zdań tworzących naszą wiedzę W zdanie z nie wynika;
5. Formułujemy dodatkowe zdanie H /hipotezę/, które pozwala nam w połączeniu z naszą wiedzą W znaleźć rację dla zdania z.

Hipotezę stawianą na gruncie posiadanej wiedzy nazywamy takie zdanie wątpliwe, które przyjmuje się na razie za prawdziwe, ze względu na to, że to zdanie w połączeniu ze zdaniami posiadanej wiedzy stanowi rację dla zdań o pewnych faktach.

Hipoteza jest więc domysłem /przypuszczeniem/, będącym zdaniem tylko częściowo uzasadnionym /prawdopodobnym/, tłumaczącym pewne zaistniałe fakty /zdarzenia/.

Tak więc podstawą do stawiania uzasadnionych hipotez są fakty. Uzasadnione hipotezy można postawić tylko po przeprowadzeniu wszechstronnej

analizy faktów i po dokonaniu syntezy uzyskanych informacji. Pamiętaj jednak należy i o tym, że do postawienia hipotez potrzebna jest oprócz faktów i ich analizy również "rozumna fantazja".



R - poziom rzeczywistości
 F - fakt /zdarzenie/
 z = FN - fakt naukowy,
 H - hipoteza
 W - wiedza naukowa

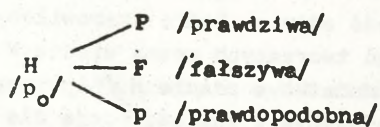
Rozumna fantazja to lotność umysłu, swoboda myślenia, łatwość kojarzenia faktów i ich interpretacji, co można również sformułować w sposób następujący: wpaść na pomysł, chwycić coś w lot.

Istnieją dwa sposoby weryfikacji pozytywnej hipotez:

- 1/ weryfikacja bezpośrednia;
- 2/ weryfikacja pośrednia.

Weryfikacja bezpośrednia polega na tym, że hipotezę bezpośrednio konfrontujemy z rzeczywistością i na tej podstawie określamy jej wartość logiczną.

Hipoteza po weryfikacji bezpośredniej może przyjąć jeden z trzech możliwych stanów:

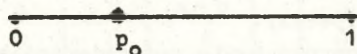


gdzie: p_0 - oznacza prawdopodobieństwo subiektywne spełnienia hipotezy H przed weryfikacją;

p - oznacza prawdopodobieństwo /także subiektywne/ spełnienia hipotezy po weryfikacji bezpośredniej.

W przypadku pierwszym hipoteza jest prawdziwa, a proces badania można zakończyć. W przypadku drugim hipoteza jest fałszywa i w celu otrzymania hipotezy prawdziwej wystarczy ją zanegować. Najtrudniejszy dla badacza jest przypadek trzeci. Trudno jest automatycznie ocenić co zrobić z pos-

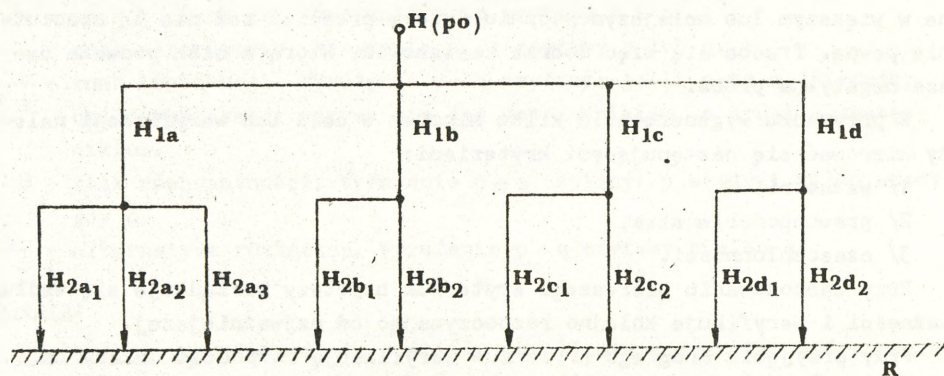
tawioną hipotezą /przyjąć ją, odrzucić, osłabić, wzmocnić?/. To w konkretnym przypadku zależy od decyzji badacza, lecz ważne jest położenie p względem p_0 .



Jeżeli prawdopodobieństwo spełnienia hipotezy po konfrontacji jej z rzeczywistością - p leży w przedziale $[p_0, 1]$, to hipoteza H umocniła się /utwierdziła się/. Jeżeli $p \in [0, p_0]$, to badana hipoteza osłabiła się. Każdorazowo pojedynczy przypadek ocenić musi badacz biorąc pod uwagę czy uzyskane p można uznać za zadowalające /satisfakcjonujące/ go. Jeśli nie - być może trzeba będzie uzupełnić materiał empiryczny o nowe dane lub zmodyfikować badaną hipotezę.

Pamiętać należy o tym, że weryfikacja bezpośrednia możliwa jest jedynie dla "prostych" hipotez, a więc takich, które wolno jest bezpośrednio "zderzać" z rzeczywistością.

Weryfikację pośrednią stosuje się wobec tych hipotez, które zostały sformułowane na wyższym poziomie abstrakcji /uogólnienia/, których nie wolno bezpośrednio konfrontować z rzeczywistością. W tym przypadku badaną hipotezę traktujemy jako rację i wysuwamy z niej szereg logicznie wynikających konsekwencji zwanych hipotezami pierwszego rzędu.



Z hipotez pierwszego rzędu wysuwamy znowu logiczne konsekwencje z nich wynikające /hipotezy drugiego rzędu/ i postępujemy w ten sposób tak długo, aż wolno nam będzie wyprowadzone konsekwencje "zderzyć" z rzeczywistością.

Podczas wysuwania logicznych konsekwencji wynikających z hipotezy H i stopniowego przybliżania się do poziomu rzeczywistości stosujemy wy-

łącznie wnioskowanie dedukcyjne, a więc takie, które daje całkowitą pewność prawdziwości wniosku przy założeniu prawdziwości przesłanek.

Im więcej logicznych konsekwencji można z testowanej hipotezy wysunąć i im więcej z nich znajdzie empiryczne potwierdzenie, tym większy jest stopień uzasadnienia hipotezy.

W efekcie końcowym na podstawie prawdziwości hipotez niższego rzędu orzekamy o hipotezie wyjściowej. Ale zwrócić uwagę należy na fakt, że ów "powrót" od hipotez niższego rzędu do hipotezy pierwotnej H odbywa się na podstawie wnioskowania redukcyjnego, a więc zawodnego. Nawet gdyby wszystkie konsekwencje logiczne wysunięte z hipotezy H potwierdziły się to i tak nie mamy 100% pewności, że nasza hipoteza jest prawdziwa.

Możliwe jest również sprawdzanie negatywne /falsyfikacja/ hipotez. Idea sprawdzania negatywnego jest następująca: szukamy przykładów pozwalających na obalenie hipotezy H. Jeśli łatwo udaje się takie przykłady wskazać, tym hipoteza jest słabsza, tym szybciej upada. Bardzo trafnie scharakteryzował to postępowanie Karl Popper stwierdzając: naukowcy stawiają hipotezy, a następnie starają się je obalić. Im trudniej jest je obalić, tym one mocniej się utwierdzają.

Zbytнім uproszczeniem byłoby sądzić, że jedna negatywna obserwacja obala testowaną hipotezę. W konkretnych sytuacjach badawczych sprawa jest o wiele bardziej złożona. Nigdy bowiem nie sprawdzamy "izolowanej" hipotezy. Jest ona powiązana z innymi koncepcjami, które zostały potwierdzone w większym lub mniejszym stopniu, które przecież też nie są absolutnie pewne. Trzeba się więc dobrze zastanowić, którą z nich podważa nasza negatywna próba.

W przypadku wygenerowania kilku hipotez w celu ich weryfikacji należy kierować się następującymi kryteriami:

- 1/ ważności;
- 2/ prawdopodobieństwa;
- 3/ czasochłonności.

Przy zastosowaniu pierwszego kryterium hipotezy porządkuje się według ważności i weryfikuje kolejno rozpoczynając od najważniejszej.

Przy przyjęciu drugiego kryterium weryfikację rozpocząć należy od hipotezy najbardziej prawdopodobnej.

W trzecim - rozpoczynamy od weryfikacji hipotezy najmniej czasochłonnej i kolejno badamy hipotezy coraz bardziej czasochłonne.

Reasumując wypada stwierdzić, że testem rozstrzygającym o akceptacji lub odrzuceniu hipotezy jest empiryczne jej sprawdzenie.

Ciekawe rozważania dotyczące weryfikacji hipotez znajdzie Czytelnik w [6] ss. 139-144. Studiowanie tej pozycji wymaga jednak odpowiedniego przygotowania.

Tabela 1

Tabela wartości logicznych

a/ alternatywy

a	b	$a \vee b$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

b/ alternatywy rozł.

a	b	$a \dot{-} b$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

c/ koniunkcji

a	b	$a \wedge b$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

d/ równoważności

a	b	$a \equiv b$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

e/ implikacji

a	b	$a \rightarrow b$
0	0	1
0	1	1
1	0	0
1	1	1

Stosowane symbole i podstawowe pojęciaSymbole

- \sim - symbol negacji, np. $\sim p$ - czytamy nie p; nieprawda że p; nie jest tak, że p;
- \wedge - znak koniunkcji. Wyrażenie $p \wedge q$ czytamy p i q.
- \vee - znak alternatywy. Wyrażenie $p \vee q$ czytamy p lub q.
- \rightarrow - znak implikacji. Wyrażenie $p \rightarrow q$ czytamy: jeśli p to q. Pierwszy człon implikacji nazywa się jej poprzednikiem, a drugi - następnikiem.
- \equiv - znak równoważności. Wyrażenie $p \equiv q$ czytamy: p wtedy i tylko wtedy, gdy q.
- $\dot{-}$ - alternatywa rozłączna. Wyrażenie $p \dot{-} q$ czytamy p albo q.

Pojęcia:

Stała logiczna - wyrażenie o ściśle określonym znaczeniu, które zastępując w logicznej funkcji zdaniowej zmienne logiczne przekształca tę funkcję w zdanie.

Zmienna logiczna - wyrażenie występujące w funkcji logicznej, pozbawione samodzielnego znaczenia. Oznaczana symbolicznie małymi literami p, q, r, Zmienna logiczna nazwowa zastępuje nazwę, zdaniowa - zdanie.

Formalny schemat wnioskowania - jest to taki schemat wnioskowania, w którego przesłankach i wniosku występują tylko stałe logiczne i zmienne.

W języku potocznym przesłanki wnioskowania oddzielamy od wniosku wyrazami: a więc, a zatem itp. W logice wypisujemy przesłanki jedna pod drugą, a pod nimi wniosek oddzielony od nich kreską poziomą. Np.:

Każdy czołg jest środkiem walki.

Niektóre środki walki cechuje duża skuteczność.

Czołg jest skutecznym środkiem walki.

} Przesłanki

Wniosek

Pytania kontrolne

1. Jakież działy obejmuje logika formalna?
2. Co jest przedmiotem badań logiki formalnej?
3. Co to są niezawodne schematy wnioskowania?
4. Jakież są metody pozwalające określić czy dany schemat wnioskowania jest niezawodny?
5. Omówić dowolnie wybrany niezawodny schemat wnioskowania.
6. Na czym polega weryfikacja pozytywna hipotez?
7. Na czym polega istota weryfikacji negatywnej hipotez?
8. Który sposób weryfikacji /pozytywna, czy negatywna/ hipotez ma większą moc logiczną?

Wykaz literatury

1. K.Ajdukiewicz, Logika pragmatyczna. PWN, Warszawa 1965.
2. K.Ajdukiewicz, Zarys logiki. PZWS, Warszawa 1957.
3. L.Borkowski, Logika formalna. PWN, Warszawa 1970.
4. K.Jaroń, Logika, zeszyt nr 4, Wnioskowanie dedukcyjne i redukcyjne. ASG WP, Warszawa 1976.
5. J.Nowakowski, Logika, zeszyt nr 3, Elementy logiki formalne. ASG WP, Warszawa 1970.
6. S.Pabis, Metodologia i metody nauk empirycznych. PWN, Warszawa 1985.
7. J.Woleński, Filozoficzna szkoła lwowsko-warszawska. PWN, Warszawa 1985.

III. METODY SYSTEMOWE

1. Geneza

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 przyczynowo-skutkowy światopogląd naukowy w XX wieku przekształcił się w światopogląd strukturalno-nomologiczny. Ten zaś bliski jest temu co skłonni jesteśmy utożsamiać z paradygmatem systemowym. Zanim do tego doszło, 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 zaciekle spór - spór o metodę.

Wraz z rozwojem nauki światopogląd naukowy przekształcał się z mechanicystyczno-redukcjonistycznego w strukturalno-nomologiczny, zaś holistyczną metafizykę zastępował naukowy redukcjonizm, aby wreszcie prze-

kształcić się w holizm materialistyczny, którego przejawem jest współczesny materializm dialektyczny. Dokonany przełom metodologiczny charakteryzuje dominujące znaczenie metody idealizacji wraz z metodami modelowania matematycznego.

Z powyższych przemian wynika zasada systemowości jako paradygmat, który charakteryzuje się materialistyczno-holistycznym widzeniem świata, realizującym się w kategorii całości oraz stosowaniu metody idealizacji w postaci matematycznego modelowania całościowo ujmowanych zjawisk społecznych i przyrodniczych. Kategoria całości, która ma postać abstrakcyjno-syntetyczną, prowadzi do kategorii systemu. Natomiast metoda idealizacji prowadzi do wyodrębnienia się metod systemowych.

Współczesne badania systemowe mają wiele źródeł i są wytworem ostatnich kilkudziesięciu lat. Dowodzą także 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 z atomów. Warto również wspomnieć m.in. o koncepcjach funkcjonalnych systemu społecznego stworzonych przez V.Pareto, F.Znanieckiego i T.Parsona. 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 zaorganizowanym 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 Ludwiga von Bertalanffy'ego sformułowana na gruncie biologii. Bertalanffy pierwszy traktował obiekty biologiczne jako zorganizowane układy dynamiczne, co stanowiło punkt wyjścia do sformułowania nowej idei całościowości organizmów żywych /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. Koncepcja Bertalanffy'ego stanowiła przeciwieństwo zarówno mechanistycznej idei redukcyjnego rozkładania bez reszty organizmów żywych na części i składniki fizykochemiczne, jak też witalistycznej hipotezy niematerialnych czynników całościowych. Bertalanffy uogólniając swe biologiczne doświad-

czenia wysunął ideę ogólnej teorii systemów, wykazującą, w sensie ontologicznym, bliskie jej pokrewieństwo z marksistowskim materializmem dialektycznym. W 1954 roku założył Society for the Advancement of General Systems Theory, które przez długie lata stanowiło główny ośrodek rozwoju systemowych koncepcji badań.

Aktualnie w rozległym nurcie badań systemowych można wyróżnić trzy "warstwy":

a/ metodologię badań systemowych jako podstawę epistemologiczną;

b/ różne warianty ogólnej teorii systemów;

c/ metody systemowe stosowane w działalności preparacyjnej.

Inna klasyfikacja współczesnych badań systemowych obejmuje:

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

b/ ogólnosystemowe koncepcje formalne i matematyczne Mesarovica, Klira, Wymore'a, Cornacchia, Zadeha i innych, dotyczące głównie określonych klas systemów;

c/ teoretyczne sformułowania zadań inżynierii systemów jako teorii i metodologii tworzenia wielkich systemów;

d/ prace o charakterze naukowoznawczym i metodologicznym zawierające idee badania systemowego lub nauki systemowej /systemologii/;

e/ badania logiczno-metodologicznych aspektów teorii systemów, mające przede wszystkim na celu budowę języka analizy 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./.

2. Istota, pojęcia, metody

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. Systemowość występuje we wszystkich dziedzinach i na wszelkich poziomach świata obiektywnego. Wyraża aspekt materialistycznej dialektyki ujmującej założone obiekty jako całości utworzone przez wzajemne związki elementów niejako na tle określonych struktur hierarchicznych. Fryderyk Engels w "Dialektyce przyrody" tak pisze: "cała dostępna nam przyroda stanowi pewien system, pewien układ powiązanych ze sobą ciał, 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".

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

a/ traktowanie badanego /tworzonego/ obiektu jako systemu;

b/ traktowanie danego systemu jako obiektu złożonego z wzajemnie powiązanych podsystemów;

c/ traktowanie danego systemu jako obiektu należącego do większego systemu /nadsystemu/;

d/ świadome posługiwanie się modelem systemu o określonym poziomie rozdzielności, wyrażającym określony aspekt działania.

Najogólniej oczekuje się, że ujęcie systemowe dostarczy podstaw do lepszej, w porównaniu z innymi ujęciami, redukcji złożoności rozpatrywanej sytuacji do postaci rozwiązywalnego problemu. Do podstawowych cech konstytutywnych stylu zwanego ujęciem systemowym zaliczono^{1/}:

a/ holizm, czyli rozpatrywanie zjawisk /obiektów, procesów, zdarzeń itp./ jako całości;

b/ kompleksowość, czyli ujawnianie różnorodności sprzężeń i felacji wewnętrznych rozpatrywanych zjawisk;

c/ esencjalizm, czyli w systemowym opisie zjawisk uwaga koncentrowana jest na cechach istotnych, tzw. esencjalnych;

d/ strukturalizm, czyli określanie własności rozpatrywanych zjawisk na podstawie własności jego struktury traktowanej jako integrująca i niezmiennicza;

e/ kontekstowość, czyli rozważanie systemów ze względu na ich miejsce w "reszcie świata", na tle bliższego i dalszego otoczenia /nadsystemu/;

f/ teleclonizm, czyli zjawiska rozpatrywane są jako zorientowane celowo, co znajduje wyraz w sposobie uwzględniania zachowania i dynamiki oraz związanego z tym sterowania.

Używając pewnej przenośni powiemy, że systemowe widzenie świata to spoglądanie nań przez swoisty instrument, nazwany makroskopem. Nazwy

1/ W.Gasparski: Ujęcie systemowe jako styl, Projektowanie i systemy, t. VII, Ossolineum 1985.

W

makroskop i teleskop kojarzą się z wkroczeniem nauki w świat nieskończone mały i nieskończenie wielki /.../. Dzisiaj stajemy przed inną nieskończonością; przed nieskończeniem złożonym. Tym razem jednak brak nam instrumentu badawczego. Pozostaje jedynie umysł ludzki, inteligencja i logika, bezbronne wobec ogromniej złożoności życia i społeczeństwa.

/.../ A więc potrzebujemy nowego narzędzia. Narzędzia, które - niezależnie od przydatności mikroskopu i teleskopu do naukowego poznania wszechświata - byłoby przeznaczone dla tych wszystkich, którzy próbują zrozumieć i umiejscowić swoje działanie. A więc zarówno dla kierujących wielką polityką, nauką, przemysłem, jak i dla każdego z nas. Narzędzie to nazywam makroskopem /macro: wielki, skopein: obserwować/.^{2/} Oczywiście makroskop jako fizyczny instrument nie istnieje, jego istnienie jest symboliczne. Oznacza określoną postawę wobec rzeczywistości i określony styl myślenia o niej. Patrząc na świat przez makroskop postrzegamy go jako "świat systemów", dostrzegając związki między systemami, bądź związki między tworzącymi je elementami.

Obecnie wyjaśnimy kilka kwestii pojęciowych. Pojęciami podstawowymi, ale również pokrewnymi są: całość, kompleks, struktura, system, organizacja itp.^{3/}

1. Przez całość rozumiemy jakikolwiek przedmiot złożony z elementów /części, składników, komponentów/, które związane są z tym przedmiotem stosunkami inkluzji /relacją zawierania się części w całości/, czyli kolektywny zbiór elementów konstytuujących przedmiot.

2. Przez kompleks rozumiemy jakikolwiek przedmiot złożony z elementów, tj. zbiór elementów, między którymi zachodzi stosunek komplementarności, czyli stosunek wyrażający jakies ich wzajemne uzupełnianie się.

3. Przez system rozumiemy zbiór elementów, wyróżnionych w jakimkolwiek przedmiocie ze względu na zachodzące między nimi stosunki, wyrażające jakies uporządkowanie.^{4/}

4. Przez organizację rozumiemy zorientowany na realizację jakichś celów realny przedmiot stanowiący kolektywny, uporządkowany zbiór elementów, między którymi zachodzą więzi współdziałania.

5. Przez strukturę przedmiotu /np. systemu, organizacji/ rozumiemy zbiór branych pod uwagę w badaniu relacji, określonych na zbiorze elementów tego przedmiotu.

6. Przez stan jakiegokolwiek przedmiotu /np. systemu, organizacji/

2/ J.de Rosnay: Makroskop, PIW, Warszawa 1982.

3/ Zob. np. L.Krzyżanowski, Podstawy nauki zarządzania. PWN, Warszawa 1985.

4/ Określenie to zostanie w dalszych rozważaniach nieco zmodyfikowane.

w jakiejś chwili rozumiemy jego charakterystykę, obejmującą wszystko to, co ze względu na cel poznania wyróżniamy w tym przedmiocie w tejże chwili.

Systemem nazywać więc będziemy każdy złożony obiekt, wyróżniony z badanej rzeczywistości, stanowiący całość tworzoną przez zbiór obiektów elementarnych /elementów/ i powiązań /relacji/ pomiędzy nimi. System jest zatem całością, czyli czymś odmiennym niż przypadkowe zbiorowiska części. Ma określony skład, czyli zbiór tworzących go elementów oraz określoną strukturę, czyli zbiór relacji między tymi elementami. Ponadto został wyróżniony w określony sposób, czyli jest rozpatrywany z określonego punktu widzenia. Jest pojęciem pokrewnym takim, jak układ względnie odosobniony /H.Greniewski/, "maszyna cybernetyczna" /R.W.Ashby/, organizm /L.von Bertalanffy/ itp.

Ścisłość - charakterystyczna dla metody systemowej - w używaniu pojęcia systemu przejawia się w przestrzeganiu następujących zasad:

- a/ ścisłe określenie granic i wnętrza systemu;
- b/ niezmiennność dokonanego rozróżnienia, między systemem a jego otoczeniem, w trakcie badań;
- c/ zupełność podziału wewnętrznego /na podsystemy/;
- d/ rozłączność systemów /i ich podsystemów/.

Szczególnym przypadkiem systemów są organizacje /realne systemy społeczne, polityczne, ekonomiczne, militarne itp./, w których elementy - jak pisał Tadeusz Kotarbiński - współprzyczyniają się do powodzenia całości. Z organizacjami wiążą się następujące pojęcia:

1. Przez efekt synergiczny rozumiemy różnicę między efektem osiąganym przez system, złożony z elementów, między którymi zachodzą współdziałania, a sumą efektów, osiąganym przez elementy, nie związane współdziałaniami.

2. Synergia zachodzi wtedy i tylko wtedy, gdy efekt synergiczny jest dodatni.

A zatem osiągnięcie efektu synergicznego stanowi sens tworzenia, istnienia i rozwoju wszelkich organizacji. Badanie mechanizmów powstawania synergii należy zaliczyć do najważniejszych problemów poznawczych badań systemowych.

Innym istotnym dla badań systemowych pojęciem jest równowaga systemu. W powszechnym przekonaniu równowaga wyraża pewne właściwości pożądaną z określonych powodów, gdy tymczasem "nierównowaga czyli po prostu brak równowagi, ma sens pejoratywny. W złożonym świecie systemów, w którym "wszystko zależy od wszystkiego" szczególnie łatwo równowagę utracić i równie trudno ją odzyskać. Natomiast brak równowagi przynosi różnorodne, niekiedy dramatyczne i katastrofalne skutki.

Przez stan równowagi rozumiemy taki stan systemu, w którym nie zachodzą żadne systematyczne zmiany parametrów, jak też nie mają miejsca systematyczne przepływy. Równowaga rozpatrywana jest zarówno jako własność wewnątrz systemu, jak i własność zewnętrzna, tj. stan równowagi między systemem a otoczeniem. W rozważaniach tych przyjmuje się założenie o istnieniu odchyień od stanów zgodności oddziałujących na siebie części systemu wywołanych przez czynniki zakłócające /wewnętrzne i zewnętrzne/. W stanach dalekich od równowagi, dzięki stałemu dopływowi energii i entropii, pojawiają się niestabilne całościowe struktury, których nie można opisać ani zrozumieć odwołując się do ich części, są one uporządkowaniem istniejącym dzięki całości i zrozumiałym jedynie na jej poziomie. W strukturach dysypatywnych /nieutrwałych, rozpraszających/, pojawiają się swoiste prawa organizacji materii, w dużym stopniu niezależne od natury składników tych struktur. Tymi problemami, tj. powstawaniem i dynamiką uporządkowania, zajmuje się synergetyka, którą należy zlokalizować w obszarze nowoczesnych badań systemowych.

Reasumując, systemowe podejście do badania dowolnych obiektów można scharakteryzować w następujący sposób:^{5/}

1. Badamy pewne zorganizowane całości, dobrze wyodrębnione ze środowiska /otoczenia/. Całości te nazywamy systemami.

2. System może być podzielony na części i ich relacje na wiele różnych sposobów; nie ma podziału uniwersalnego.

3. Każdy podział systemu na części daje pewien jego obraz. Podział zależy więc od tego, które cechy systemu lub jego elementów chcemy badać.

4. Własności składników systemu nie mogą być badane niezależnie od systemu, w którym występują. Nie ma własności niezależnych od środowiska /otoczenia/.

Aby lepiej zrozumieć istotne i swoiste cechy metody systemowej, warto skonfrontować je z cechami metody tradycyjnej /analitycznej, redukcjonistycznej/.

Metoda analityczna wyodrębnia /koncentruje się na elementach/, natomiast metoda systemowa łączy /koncentruje się na oddziaływaniach między elementami/. Pierwsza bada charakter oddziaływań, opiera się na precyzji szczegółów, modyfikuje pojedyncze zmienne, a sprawdzania faktów dokonuje się w drodze próby eksperymentalnej w ramach teorii itp., natomiast druga: bada efekty oddziaływań, opiera się na percepcji ogólnej,

5/ M.Tempczyk: Strukturalna jedność światła. PWN, Warszawa 1981.

modyfikuje równocześnie grupy zmiennych, a sprawdzania faktów dokonuje się przez porównanie funkcjonowania modelu z rzeczywistością. W ujęciu analitycznym stosowane są modele precyzyjne i szczegółowe, ale trudne do zastosowania w działaniu. Natomiast w ujęciu systemowym stosuje się modele niewystarczająco dokładne, by służyć mogły jako podstawa wiedzy szczegółowej, ale dające się wykorzystać przy podejmowaniu decyzji i projektowaniu systemów wielkich. Niewątpliwie metoda analityczna jest skuteczna w przypadku oddziaływań słabych, liniowych i stochastycznych. Opiera się ona na znajomości szczegółów przy słabo sprecyzowanych celach gdy tymczasem metoda systemowa opiera się na dobrej znajomości celów, przy "płynnych szczegółach".

Analizując różne ujęcia tego, co można określić metodą systemową, trudno nie zgodzić się z poglądami R. Haberfellnera, że "podejście systemowe nie jest żadnym sensacyjnym wynalazkiem, lecz kombinacją rozsądnie zestawionych reguł myślowych". Z pewnością ma również rację W. Bojarski twierdząc: "metodyczna postawa systemowa okazała się tak niezwykle pożyteczna i płodna w licznych dziedzinach zastosowań, że najwięksi jej entuzjaści uważają, iż jest ona obecnie jedyną naprawdę naukową metodą poznawania rzeczywistości. Jest to oczywiście przesada, warto się jednak zastanowić, co można dzięki niej zyskać, a czego oczekiwać nie należy" [1].

3. Modelowanie systemowe

Modelowaniem systemowym nazywać będziemy sztukę konstruowania obrazu systemu rzeczywistego, wyrażonego w przyjętym języku /kodzie symbolicznym/, zgodnie z wiedzą podmiotu /badacza/. Rezultatem modelowania systemu realnego jest oczywiście jego model.

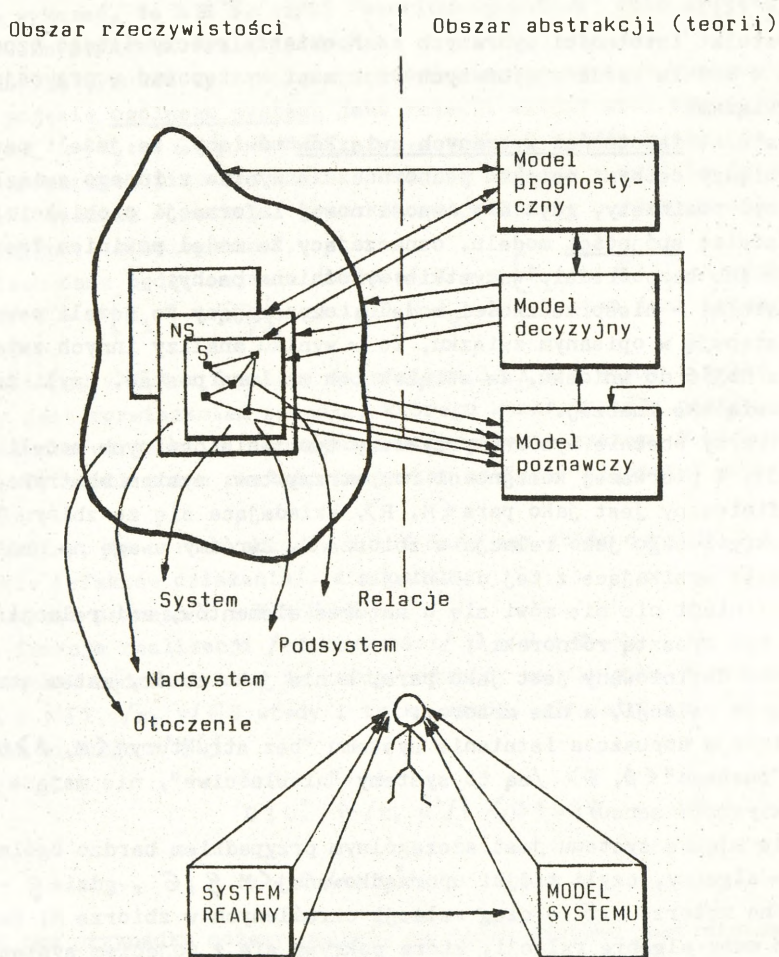
Na adekwatność modelu mają wpływ ograniczenia wewnętrzne podmiotu takie, jak:

- wiedza empiryczna - określająca stopień znajomości rzeczywistości /modelowego obiektu/;

- wiedza naukowa /metodologiczna/ - określająca stopień znajomości metod badawczych /metod i technik modelowania/.

Stosowane obecnie modele systemów można klasyfikować według różnych kryteriów takich jak: cel /przeznaczenie/, stosowany język modelowania, aspekt badań itp. Ze względu na przeznaczenie mówi się często o modelach: objaśniających /służą np. wyjaśnianiu zasad funkcjonowania systemów/, ocenowych /służących np. ocenie systemów/, decyzyjnych /służących podejmowaniu decyzji/ i prognostycznych /służących przewidywaniu zachowania

systemu w przyszłości/. Ze względu na język opisu systemów można wyróżnić modele: naturalne /werbalne/, formalne /logiczne/ i matematyczne. W szczególności przedmiotem modelowania systemowego może być struktura /właściwości strukturalne/ systemu, funkcjonowanie /działanie, zachowanie/ systemu, oraz jego rozwój.



Rys. 4. Ogólna koncepcja modelowania systemowego

Ze względu na technikę posługiwania się modelem /eksperymentowania/ można wyróżnić modele analityczne /normatywne/ i symulacyjne. W przypadku pierwszym do pożądanych wyników dochodzi się rozwiązując np. rów-

nania różniczkowe opisujące dynamikę systemu, zaś w drugim - drogą przeprowadzenia wielu eksperymentów za pomocą komputera.

Spśród innych modeli systemów wyróżnia się modele cybernetyczne i modele prakseologiczne [7].

Do najważniejszych postulatów spełnianych przez modele systemów zalicza się [2]:

a/ postulat istotności wybranych cech obiektu rzeczywistego oznaczający, że w modelu każda z wybranych cech musi występować w przynajmniej jednym związku;

b/ postulat istotności wybranych związków mówiący, że jeżeli pewien związek między cechami obiektu jednoznacznie wynika z innego związku, to może być pominięty, gdyż nie wnosi nowej informacji o obiekcie;

c/ postulat spójności modelu, oznaczający że model powinien łączyć pośrednio lub bezpośrednio wszystkie wyróżnione cechy;

d/ postulat - niesprzeczności modelu, oznaczający że jeżeli pewne cechy występują w opisanym związku, to w wyniku analizy innych związków nie można dojść do wniosku, że związek ten ma inną postać, czyli że cechy są powiązane inaczej.

Rozpatrzmy obecnie wybrane przykłady tworzenia ogólnych modeli systemów [13]. 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/;

- system definiowany jest jako para, a nie jako zbiór, zatem struktura jest ciągiem relacji, a nie zbiorem;

- definicja dopuszcza istnienie systemu "bez struktury" $\langle M, \emptyset \rangle$ oraz systemu "pustego" $\langle \emptyset, \emptyset \rangle$ /są to systemy "niewłaściwe", nie mające żadnego praktycznie sensu/;

- takie ujęcie systemu jest szczególnym przypadkiem bardzo ogólnego pojęcia - algebry, czyli trójki uporządkowanej $\langle M, \mathcal{S}, \mathcal{G} \rangle$, gdzie \mathcal{S} - ciąg operacji na zbiorze M , \mathcal{G} - ciąg relacji określonych w zbiorze M ; jeśli $\mathcal{S} = \emptyset$, to mamy algebrę relacji, która pokrywa się z pojęciem systemu.

Przejdźmy teraz do pojęcia systemu skończonego jako pary uporządkowanej $S = \langle M, R \rangle$, w której $M = \{M_1, M_2, \dots, M_I, \dots, M_N\}$ oznacza skończony zbiór elementów M_i , $i = \overline{1, N}$ $N = 2, 3, \dots$, natomiast $R = \{R_1, R_2, \dots, R_J, \dots, R_J\}$ oznacza skończoną / J - elementową/

klasę relacji R_J określonych na zbiorze M , przy czym $J = 1, 2^{2^N}$. Powyższe określenie można uogólnić na systemy przeliczalne.

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

$$\overline{S} \subset X_1 \times X_2 \times \dots \times X_1 \times \dots \times X_N$$

Można wykazać, że $S \equiv \overline{S}$, czyli "teoriomnogościowy" opis systemu jest równoważny opisowi "relacyjnemu".

Punktem wyjścia opisu systemu proponowanego przez M. Mesarovica [10] jest pojęcie ogólnego systemu jako relacji między abstrakcyjnymi zbiorami $S \subset x \{K_i : i \in J\}$ lub $S \subset K_1 \times \dots \times K_N$, $N = |J|$. Ujęcie to 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/ $X = x \{K_i : i \in J_x\}$ i wyjścia /reakcje/ $Y = x \{K_i : i \in J_y\}$, gdzie $J_x \cup J_y = J$. System jest zatem relacją $S \subset X \times Y$.

Para $\langle x, y \rangle \in X \times Y$ należy do systemu $S \subset X \times Y$ wtedy i tylko wtedy, gdy y jest rozwiązaniem zadania, którego konkretyzacja następuje po określeniu wartości 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 U i zbiór wyników /efektów działania/, a ponadto:

funkcja procesu $P : X \times U \rightarrow Y$

i funkcja realizacji /efektywności/ $G : U \times Y \rightarrow V$.

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 $u^* \in U$ takie, że dla każdego $u^* \in U$

$$G[u^*, P/x, u^*] \leq G[u, P/x, u]$$

oraz

$$y = P/x, u^*.$$

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

Użyteczność modeli systemów rzeczywistych wynika z następujących przesłanek:

a/ modele umożliwiają badaczowi sprawdzenie swoich teoretycznych przekonań /sądów/ o systemie, dokonanie na nim empirycznych obserwacji oraz wyciągnięcie z tych poczynań logicznych wniosków;

- b/ model ułatwia zrozumienie systemu realnego;
- c/ model skłania do prowadzenia również badań szczegółowych;
- d/ model przyspiesza wykonanie analizy;
- e/ określa metody testowania pożądanych modyfikacji systemu;
- f/ model pozwala, w porównaniu z rzeczywistym systemem, na łatwiejsze manipulowanie sobą;
- g/ model umożliwia prowadzenie kontroli o wiele większej liczby źródeł zmienności, niż byłoby to możliwe przy bezpośrednim badaniu systemu;
- h/ model jest, ogólnie rzecz biorąc, mniej kosztowny.

Ranga modelowania systemowego wzrosła wyraźnie w ostatnich latach, a stało się to za sprawą tzw. modeli globalnych, które wzbudziły powszechne zainteresowanie. Szczególnym zainteresowaniem cieszyły się modele, stanowiące podstawę Raportów dla Klubu Rzymskiego. Najbardziej interesujące z nich są modelami stricte systemowymi, a mianowicie model D.Meadowsa wykorzystujący znaną technikę modelowania systemowego tzw. dynamikę systemów J.Forreстера oraz model M.Mesarovića i E.Pestela /oparty o teorię hierarchicznych wieloszczeblowych systemów Mesarovića/.

4. Analiza systemowa

Pojęciu "analiza systemowa" /AS/ będziemy nadawać dwojakie znaczenie. W znaczeniu pierwszym AS traktować będziemy jako dział badań systemowych, zaś w drugim jako pewną specyficzną metodę /grupę metod/.

AS nazywać będziemy dziedzinę współczesnych badań systemowych, która obejmuje szczegółowe metody analizy systemów rzeczywistych /społecznych, ekonomicznych, obronnych, technicznych/. Celem ich jest formułowanie i rozwiązywanie systemowych problemów decyzyjnych oraz określanie racjonalnych warunków realizacji decyzji.

Systemowym problemem decyzyjnym nazywać będziemy taki problem, który został sformułowany w sytuacji decyzyjnej dotyczącej konkretnego systemu rzeczywistego traktowanego jako całość. Realizatorem systemowego problemu decyzyjnego może być określony system rzeczywisty /np. zespół analizy systemowej/.

O systemie, dla którego określono sytuację decyzyjną powiemy, że generuje potrzeby decyzyjne, a w związku z tym rozwiązanie systemowego problemu decyzyjnego równoznaczne będzie z faktem zaspokojenia tych potrzeb.

Celem AS jest dostarczenie analitykom, badaczom i decydom różnym szczebli kierowania środków skutecznych do:

- identyfikacji sytuacji decyzyjnej dla dowolnego systemu rzeczywistego;
- poprawnego sformułowania systemowego problemu decyzyjnego;
- budowy matematycznego modelu decyzyjnego;
- rozwiązania systemowego problemu decyzyjnego i oceny poprawności uzyskanych rozwiązań;
- określenia racjonalnych warunków niezbędnych dla efektywnej realizacji decyzji.

W drugim znaczeniu będziemy mówić o metodzie AS, która według J. Konicznego [7] "jest programem systemu analizy i w praktyce sprowadza się do uporządkowanego zbioru procedur analitycznych. Procedury te oparte są o bank pytań, możliwych odpowiedzi i testów możliwych odpowiedzi". Stwierdza się także, że metoda AS pozwala rozłożyć obiekt na elementy proste w postaci elementów funkcjonalnych, problemów decyzyjnych oraz kompleksowych informacji dotyczących danego systemu.

Gdzie indziej zauważa się, że do rozwiązywania tzw. problemów o słabo określonej strukturze, czyli takich które zawierają zarówno elementy jakościowe, jak i ilościowe, przy czym dominują w nich te pierwsze - służyć ma AS. A oto inne określenia AS, trafnie oddające jej sens.

a/ AS jest systematycznym sposobem analizowania złożonych problemów zmierzających do zapewnienia osiągnięcia szerszych celów i bardziej efektywnie niż w przypadku, gdyby poszczególne części systemu analizowano w izolacji;

b/ AS może być najlepiej określona jako stały dialog między decydem a analitykiem systemów, w którym decydent pyta o różne warianty rozwiązania swoich problemów, analityk zaś stara się wyjaśnić konceptualny układ odniesienia, w którym decyzja musi być podjęta, zdefiniować możliwe alternatywne cele i kryteria i określić w możliwie najjaśniejszej formie /skwantyfikowanej/ koszty i efektywność tych kierunków działania;

c/ AS nie służy poznaniu, lecz zmianie. Jej celem, podobnie jak celem projektowania, jest rekomendacja określonych sposobów działania: jak robić coś dobrze i tanio! Istota jej polega na zbudowaniu uproszczonego modelu sytuacji rzeczywistej.

AS jest w każdym przypadku odmiennym, konkretnym zastosowaniem ogólnej metody systemowej do rozwiązywania systemowych problemów decyzyjnych. Wynika stąd konieczność stosowania w AS zarówno metod i technik analitycznych /matematycznych/, jak i heurystycznych. Praktyka AS nie jest

ani dogmatycznym zastosowanie zbioru reguł do sytuacji, która może nie poddawać się działaniom regulującym, ani rezygnacją z przywileju podejmowania decyzji na rzecz mistycznego zbioru równań matematycznych lub komputera. W obecnym stadium praktyka AS jest w znacznym stopniu sztuką.

Czym AS nie jest? Nie jest zapewne: klasyfikacją systemów, typologią ich cech itp., modelowaniem systemów, badaniem prowadzonym dla samej wiedzy, działem matematyki stosowanej /optymalizacją/, ani działem logiki /czystą logiką wyboru/, teorią decyzji, analizą systemów /w technicznym tego słowa znaczeniu/ itd. Nie można jej utożsamiać z inżynierią systemów ani z badaniami operacyjnymi, aczkolwiek związki z tymi działaniami są wyraźne.

Warto przypomnieć ogólne reguły postępowania podczas AS podane przez E. Quade'a [5]:

1. Sformułuj prawidłowo problem, który masz rozwiązać.
2. Wyraźnie ukierunkuj badania.
3. Nie wykluczaj żadnego z wariantów rozwiązania a priori.
4. Wysuń z góry hipotezy.
5. Model ma stanowić odwzorowanie całego problemu, a nie pojedynczego zjawiska.
6. W poszukiwaniu rozwiązania skupiaj uwagę na problemie, a nie na modelu.
7. Nie przeceniaj znaczenia ujęć matematycznych i otrzymanych wyników obliczeń.
8. Analizuj starannie strategię i taktykę wroga.
9. Uwzględniaj w sposób bezpośredni, że działasz w warunkach niepewności.
10. Uwzględniaj elementy istotne, pomijając szczegóły.
11. Szukaj ostrożnie rozwiązań suboptymalnych.
12. Zrób to, co rzeczywiście możesz zrobić.

Trudno odmówić racjonalności powyższym regułom, które mają charakter ogólnych dyrektyw praktycznych. Nie można przy tym zapominać o tym, że AS podobnie jak wiele innych racjonalnych sposobów postępowania może być wykorzystana do stworzenia fasady "ekspertyzy", dla popierania z góry powziętych działań lub stanowić "alibi" dla braku działania lub jego opóźnienia.

Oprócz cech, które były niejednokrotnie przedmiotem krytyki AS charakteryzuje się niewątpliwymi zaletami; do nich można zaliczyć: wprowadzenie pewnej dozy obiektywizmu do procesu, który jest w zasadzie subiektywny; uwzględnienie czynnika niepewności i ryzyka; wprowadzenie

szerszego kontekstu analizy; koncentrowanie uwagi na efektach działania; stworzenie lepszych warunków dla ujawniania nieprzewidzianych następstw działań, jednolity i systemowy sposób oceny i porównywanie wariantów działania itp.

Mówi się niekiedy, że AS jest specyficzną sztuką stawiania pytań. Wydaje się, że najogólniejszymi i najważniejszymi zarazem pytaniami w AS są:

1/ jak jest i dlaczego jest tak, jak jest? /identyfikacja, diagnoza, ocena/;

2/ jak powinno być i co należy uczynić, aby było tak, jak być powinno? /prognoza, ocena, decyzja/.

Ogólna "kompleksowa" metodyka AS dla dowolnej organizacji obejmuje następujące etapy [14]:

I. Faza analiz "zewnętrznych":

1. Analiza potrzeb i celów działania systemu.

2. Analiza bliższego otoczenia systemu /określenie warunków, wymagań i ograniczeń/.

II. Faza analiz "wewnętrznych":

3. Analiza morfologiczno-strukturalna systemu.

4. Analiza funkcjonalna systemu.

5. Analiza rozwojowa systemu.

6. Analiza i ocena efektywności systemu.

III. Faza wyników analizy:

7. Analiza decyzyjna.

8. Projekty decyzji /warianty/.

Każda z analiz cząstkowych powinna pozwolić na zidentyfikowanie "barier efektywności", czyli ustalić te zjawiska, które obniżają efektywność /skuteczność i ekonomiczność/ systemu oraz potencjalnych /lub realnych/ źródeł powstawania krytycznych sytuacji systemowych /zagrożeń, konfliktów, kryzysów/. Ponadto w wyniku AS powinny zostać określone racjonalne sposoby pokonywania wymienionych barier.

W związku z powyższym szczególnego znaczenia w AS nabiera ocena efektywności systemu.

Efektywność systemu jest relacją między potrzebami /bieżącymi i przyszłymi/, których zaspokojenie jest celem działania systemu, a potencjałem systemu /użytym lub przewidywanym do użycia/, wyrażającym całokształt możliwości /zdolności/ działania systemu.

Systemowa koncepcja efektywności stosowana w AS obejmuje następujące postulaty:

1/ efektywność systemu jest mierzalną cechą systemową;

2/ efektywność powinna wyrażać podstawowe aspekty działania systemu w różnych horyzontach czasowych;

3/ efektywność systemu powinna wyrażać zarówno relację między celami zamierzonymi a celami osiągniętymi /skuteczność działania/, jak i relację między korzyściami a nakładami /ekonomiczność działania/;

4/ efektywność systemu powinna umożliwiać ocenę prospektywną /ex ante/ i ocenę retrospektywną /ex post/ działania;

5/ efektywność systemu jest cechą wiążącą potrzeby społeczne i potencjał systemu, bądź w aspekcie działań przyszłych /planowanych, przewidywanych/, bądź w aspekcie działań przyszłych /zrealizowanych/.

Dość często można spotkać się z poglądem, iż AS jest w gruncie rzeczy niczym innym jak kontynuacją badań operacyjnych, bądź sprowadza się do analizy efektywności /typu "koszt-efekt"/ dopuszczalnych wariantów systemów /projektowanych lub doskonalonych/.

Swoistym podsumowaniem powyższych rozważań mogą być następujące zasady AS /o charakterze metodologicznym/:

1. Zasada ścisłej identyfikacji systemu jako obiektu AS, wyrażająca konieczność precyzyjnego określenia "co jest, a co nie jest analizowanym systemem; co należy do jego otoczenia itp.", przestrzegając reguły ścisłości w używaniu pojęcia systemu.

2. Zasada ścisłej identyfikacji bliższego otoczenia systemu, zalecająca ściśle określenie "czyje potrzeby zaspokaja /lub ma zaspokajać/ analizowany system, a kto zaspokaja /ma zaspokajać/ jego potrzeby" co sprowadza się do sformułowania celów i funkcji systemu oraz wymagań i ograniczeń działania.

3. Zasada kompleksowości modelowania systemu, zalecająca uwzględnienie podczas konceptualizacji systemowych cech strukturalnych, funkcjonalnych i rozwojowych.

4. Zasada ścisłego kryterium efektywności systemu, wyrażająca konieczność ścisłego określenia kryteriów efektywności /skuteczności i ekonomiczności/, użytecznych w analizie wariantów systemu.

5. Zasada kalkulacji ryzyka i niepewności, zalecająca konstruowanie systemowych sytuacji decyzyjnych uwzględniających ocenę stopnia ryzyka i niepewności danych o systemie i otoczeniu.

Obecnie można wyróżnić dwa nurty działań związanych ze sposobem "uprawiania" AS: poznawczy /np. D.Gwiszjani uważa, że "AS znajduje się na pierwszym froncie badań naukowych"/ i pragmatycznych. Dla drugiego z wymienionych charakterystyczne wydaje się być traktowanie AS jako rodzaju rzemiosła, wykorzystującego metody systemowe w działalności usługowej prowadzonej dla konkretnych klientów. "Klientem" analityka systemów może być decydent polityczny, ekonomiczny i wojskowy.

5. Zastosowania wojskowe

Wojskowe zastosowania AS obejmują klasę poznawczych i praktycznych problemów analizy i oceny systemów walki, dowodzenia, rozwoju techniki bojowej itp. Wyniki zastosowań AS służą za podstawę decyzji rozwojowych i szkoleniowych, a także są elementem prognoz rozwojowych we wszystkich obszarach działalności sił zbrojnych. Ponadto stanowią istotny element analitycznych i symulacyjnych modeli wojny, walki i operacji.

Najogólniej można powiedzieć, że wojskowe zastosowania AS umożliwiają uzyskanie odpowiedzi na następujące pytania:

- w jakim stopniu aktualnie funkcjonujące w ramach systemu obronnego państwa /SOP/ systemy organizacyjne i techniczne zaspokajają potrzeby i spełniają wymagania wynikające z celów obronnych państwa /koalicji/ oraz współczesnego pola walki?

- w jakim stopniu przyszłe /przewidywane, projektowane/ systemy organizacyjne i techniczne będą zaspokajać przyszłe potrzeby i spełniać przyszłe wymagania SOP?

- jakie są rezultaty porównania efektywności systemów własnych i potencjalnego przeciwnika, których użycie przewidywane jest na przyszłym polu walki?

- za pomocą jakich kryteriów i metod należy oceniać /porównywać/ systemy wojskowe własne i potencjalnego przeciwnika oraz jakie procedury ocenowe należy stosować w modelach walki i rozwoju techniki bojowej?

- jakie cechy /własności/ systemów wojskowych, oraz w jaki sposób należy kształtować, aby spełnić podstawowe warunki wysokiej efektywności bojowej, organizacyjnej, technicznej i ekonomicznej?

Odpowiedź na powyższe oraz podobne pytania może mieć doniosłe konsekwencje, albowiem może mieć wpływ na potencjał SOP.

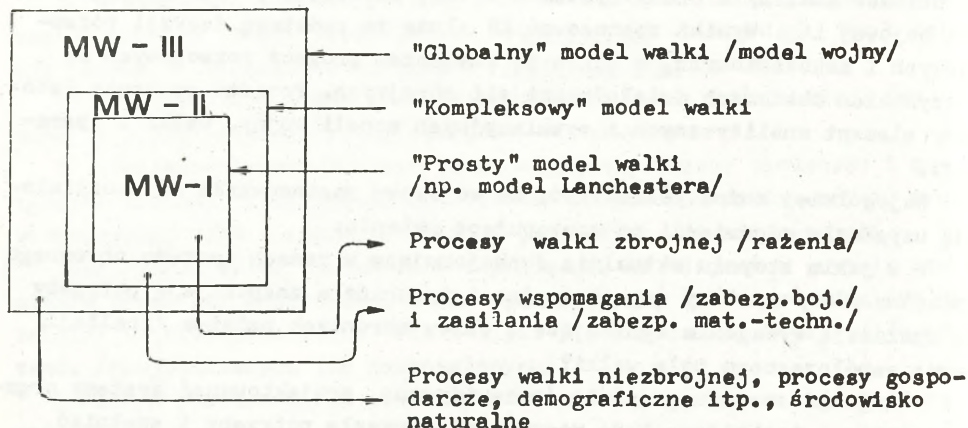
Wyróżnijmy następujące grupy modelu walki, zwane umownie "generacjami":

1/ modele I generacji - "proste" modele walki /np. liniowe modele Lanchestera/, odwzorowujące przede wszystkim procesy walki zbrojnej /procesy rażenia/;

2/ modele II generacji - "kompleksowe" modele walki, odwzorowujące procesy rażenia, a ponadto procesy wspomagania /zabezpieczenia bojowego/ i/lub procesy zasilania /zabezpieczenia materiałowo-technicznego i medycznego ;

3/ modele III generacji - "globalne" modele walki /np. modele wojny,

odwzorowujące także procesy walki niezbrojonej oraz procesy gospodarcze /np. funkcjonowanie gospodarki wojennej/, demograficzne itp., środowisko naturalne itp.



Przeznaczenie: A - modele przyczynowo-skutkowe

B - modele prognostyczne

C - modele decyzyjne

Formy użytkowania: a - pasywne

b - symulacja

c - interaktywne

Rys. 5. Generacje modeli walki

Ze względu na przeznaczenie każdej z powyższych modeli może być modelem: przyczynowo-skutkowym lub prognostycznym, lub decyzyjnym, a ze względu na formę użytkowania może być modelem: pasywnym /analitycznym/ lub symulacyjnym albo interaktywnym /np. komputerowa gra wojenna, optymalizacja dialogowa/.

Przykład

Rozpatrzmy prosty wariant modelu Richardsona - Hollista służący do sporządzania m.in. prognoz strategicznych. Jest układ liniowych równań różniczkowych:

$$\frac{dx_A}{dt} = k X_B - a X_A + e W_A - m C_A + g$$

$$\frac{dX_B}{dt} = l X_A - b X_B + f W_B - n C_B + h$$

- gdzie: X_A, X_B - wydatki na zbrojenia stron A i B;
 k, l - współczynniki reakcji na zbrojenia strony przeciwnej;
 a, b - współczynniki "zmęczenia" gospodarki;
 g, h - współczynniki "pretensji" /tendencji prowojennych/;
 m, n - współczynniki wpływu czynników ekonomicznych;
 C_A, C_B - wskaźniki wzrostu zbrojeń w zależności od możliwości ekonomicznych strony;
 W_A, W_B - wskaźniki stopnia rozwoju technologicznego;
 e, f - współczynniki wzajemnego wpływu rozwoju technologicznego i wielkości zbrojeń.

Zakończenie

Rozwój metodologii badań systemowych wywiera coraz większy wpływ na rozwój metodologicznych podstaw teorii i praktyki systemów społecznych, ekonomicznych, wojskowych. Metody systemowe a w szczególności metody analizy, oceny i syntezy systemów, są dziś niezbędne podczas racjonalizacji organizacji i kierowania, komputerowego wspomagania procesów decyzyjnych, tworzenia systemów "eksperymentalnych" oraz prowadzenia doradztwa dla różnych organów kierowania.

J. Konieczny w swej ostatniej książce pisał: "Zrozumieć współczesny świat może tylko ten, kto rozumie systemy w nim występujące. Otaczający nas świat jest bowiem pełen systemów, wśród których wypadło nam żyć i działać. Rządzą się one swoistymi obiektywnymi prawami, które człowiek współczesny musi poznać, aby być świadomym podmiotem działania w świecie systemów. Widzenie i myślenie systemowe stało się więc dzisiaj nie tylko modną rozrywką, lecz także życiową koniecznością" [7].

Pytania kontrolne

1. Przedstawić genezę współczesnych badań systemowych.
2. Scharakteryzować podstawowe kierunki badań systemowych.
3. Wymienić podstawowe wyróżniki podejścia systemowego.
4. Omówić podstawowe cechy konstytutywne ujęcia systemowego jako stylu.
5. Podać definicje kompleksu, systemu i organizacji.
6. Na czym polega wymóg ścisłości w metodzie systemowej?
7. Na czym polega efekt synergetyczny w systemie?
8. Omówić różnice między metodą redukcjonistyczną a systemową.

9. Omówić postulaty spełniane przez modele systemów.
10. Omówić definicję formalną systemu podaną przez M.Mesarovica.
11. Scharakteryzować analizę systemową.
12. Omówić reguły stosowania analizy systemowej.
13. Omówić systemową koncepcję efektywności działania.
14. Scharakteryzować podstawowe "generacje" systemowych modeli walki.
15. Omówić zakres wojskowych zastosowań analizy systemowej.

Wykaz literatury

1. W.Bojarski, Podstawy analizy i inżynierii systemów. WNT, Warszawa 1984.
2. A.Chojnacki, Modelowania matematyczne. WAT, Warszawa 1986.
3. W.Drużynin, D.Kontorow, Problemy sistiemologii. Moskwa 1976.
4. W.Drużynin, D.Kontorow, Sistiemotiechnika. Moskwa 1985.
5. W.Findeisen /red./, Analiza systemowa. Podstawy i zastosowania. PWN, Warszawa 1985.
6. B.Fleiszman, Osnovy sistiemologii. Moskwa 1982.
7. J.Konieczny, Inżynieria systemów działania. WNT, Warszawa 1984.
8. R.Kulikowski, Analiza systemowa i jej zastosowania. WNT, Warszawa 1977.
9. R.Łukaszewicz, Dynamika systemów zarządzania. PWN, Warszawa 1975.
10. M.Mesarović, Y.Takahara, General Systems Theory: Mathematical Foundations. New York, 1975.
11. S.Piasecki, Podstawowe pojęcia i definicje analizy systemowej. Prace IBS PAN nr 36, Warszawa 1979.
12. A.Rogucki, Analiza systemów w planowaniu obrony. MON, Warszawa 1975.
13. P.Sienkiewicz, Inżynieria systemów. MON, Warszawa 1983.
14. P.Sienkiewicz, Systemy kierowania. WP, Warszawa 1988.
15. P.Sienkiewicz, Teoria efektywności systemów. Ossolineum. Wrocław 1987.
16. M.Tempczyk, Strukturalna jedność świata. PWN, Warszawa 1981.
17. S.Ziemia, W.Jarominek, R.Stanisławski, Problemy teorii systemów. Ossolineum, Wrocław 1980.

IV. METODY STRUKTURALNE

1. Geneza

Aczkolwiek badanie struktur określonych obiektów /np. zakładów fizycznych, chemicznych, biologicznych/ ma już długą historię, że wystarczy wspomnieć o pracach w dziedzinie fizyki lub chemii, to o metodach strukturalnych zaczęto mówić dopiero w latach dwudziestych naszego wieku. Stało się to za sprawą pewnego, niegdyś głośnego, nurtu myślowego o znacznych ambicjach filozoficznych, określonego mianem strukturalizmu.

Strukturalizm rozwinął się przede wszystkim w dziedzinie językoznawstwa /F.de Saussure, N.Chomsky/, antropologii /C.Levi-Strauss/ i psychologii /J.Piaget/. Nazwiska niektórych przedstawicieli tego kierunku zapisały się na trwałe w nauce XX wieku. Strukturalizm nie sposób traktować jako nurtu jednorodnego, bowiem wiele w nim rozbieżnych koncepcji. Za przykład tych rozbieżności służyć może antyhistoryzm. M.Foucault, a koncepcje C.Levi-Straussa postulujące dualizm metod diachronicznych i synchronicznych lub koncepcje J.Piageta racjonalistyczne i całościowe; psychoanalityczna teoria "śmierci człowieka" Lacana a poglądy Levi-Straussa pełne troski o pozycję człowieka w nowych warunkach rozwojowych.

Omawiany kierunek zapoczątkowały prace F.de Saussure /1919 r./, w których język - w przeciwieństwie do dotychczasowych analiz historycznych i porównawczych - ujmowano jako spójny system znaków, jako pramodeł systemów komunikowania się ludzi w ogóle, a struktury języka znajdują swoje odbicie także w innych systemach społecznych.

Z kolei cechą koncepcji, najsłynniejszego ze strukturalistów, C.Levi-Straussa jest ekstrapolowanie metod lingwistyki strukturalnej na całość antropologii kulturalnej, przypisując im właściwości integracyjne dla metodologii nauk humanistycznych. Należy zwrócić uwagę na zasadniczą dyrektywę metodologiczną, którą jest poszukiwanie elementów niezmiennych, inwariantów.

Wariant strukturalizmu J. Piageta charakteryzuje dążenie do matematyzacji wiedzy, przechodzenie od zjawiska do istoty, myślenie całościowe, zwalczanie myślenia antydialektycznego. Piaget dostrzega wartości metod strukturalnych nie tylko w dziedzinie humanistyki, ale również w matematyce, fizyce, biologii, psychologii, socjologii i filozofii. W rozważaniach na temat sposobu istnienia struktur Piaget najbliższy jest materializmowi, demaskując różne formy idealizmu przejawiające się w wielu koncepcjach strukturalistów.

Jedną z najbardziej znanych koncepcji strukturalistycznych jest koncepcja gramatyki generatywno-transformacyjnej N. Chomsky'ego - reprezentanta strukturalizmu amerykańskiego. Podjął on zadanie matematyzacji gramatyki.

Znaczenie strukturalizmu jest wielce istotne dla rozwoju współczesnej metodologii. Wniósł on bowiem wartościowe elementy poznawcze do badań nad strukturami kulturowymi, społecznymi, językowymi itp. Znajomość metod strukturalnych pozwala na całościowe traktowanie różnorodnych struktur.

2. Istota, pojęcia, metody

Według J. Piageta "... właściwy strukturalizm charakteryzuje dążenie do matematyzacji wiedzy, przechodzenie od zjawiska do istoty, myślenie całościowe, zwalczanie myślenia antydialektycznego. Piaget dostrzega wartości metod strukturalnych nie tylko w dziedzinie humanistyki, ale również w matematyce, fizyce, biologii, psychologii, socjologii i filozofii. W rozważaniach na temat sposobu istnienia struktur Piaget najbliższy jest materializmowi, demaskując różne formy idealizmu przejawiające się w wielu koncepcjach strukturalistów.

Według J. Piageta "... właściwy strukturalizm charakteryzuje dążenie do matematyzacji wiedzy, przechodzenie od zjawiska do istoty, myślenie całościowe, zwalczanie myślenia antydialektycznego. Piaget dostrzega wartości metod strukturalnych nie tylko w dziedzinie humanistyki, ale również w matematyce, fizyce, biologii, psychologii, socjologii i filozofii. W rozważaniach na temat sposobu istnienia struktur Piaget najbliższy jest materializmowi, demaskując różne formy idealizmu przejawiające się w wielu koncepcjach strukturalistów.

Według J. Piageta "... właściwy strukturalizm charakteryzuje dążenie do matematyzacji wiedzy, przechodzenie od zjawiska do istoty, myślenie całościowe, zwalczanie myślenia antydialektycznego. Piaget dostrzega wartości metod strukturalnych nie tylko w dziedzinie humanistyki, ale również w matematyce, fizyce, biologii, psychologii, socjologii i filozofii. W rozważaniach na temat sposobu istnienia struktur Piaget najbliższy jest materializmowi, demaskując różne formy idealizmu przejawiające się w wielu koncepcjach strukturalistów.

Według J. Piageta "... właściwy strukturalizm charakteryzuje dążenie do matematyzacji wiedzy, przechodzenie od zjawiska do istoty, myślenie całościowe, zwalczanie myślenia antydialektycznego. Piaget dostrzega wartości metod strukturalnych nie tylko w dziedzinie humanistyki, ale również w matematyce, fizyce, biologii, psychologii, socjologii i filozofii. W rozważaniach na temat sposobu istnienia struktur Piaget najbliższy jest materializmowi, demaskując różne formy idealizmu przejawiające się w wielu koncepcjach strukturalistów.

Pojęcie struktury spotykane jest w wielu różnych dyscyplinach naukowych. W naukach społecznych, przede wszystkim we współczesnej socjologii, posługiwano się pojęciem struktury, a struktury społecznej w szczególności, od czasów H. Spencera, E. Durkheima i K. Marksa. Marksowi badania społeczne zawdzięczają ideę "sprzeczności strukturalnych" tłumaczących dynamikę całości społecznych. Struktura stanowi także kategorię formalną, występującą w różnych dziedzinach współczesnej matematyki. Struktura jest także podstawową kategorią badań systemowych /teorii systemów/. Definicji struktury jest w literaturze niemal równie dużo jak definicji systemu. Oto niektóre z nich:

- "Struktura to zasada, sposób, prawo składania elementów pewnej całości" /W. J. Świdorski/;

- "Struktura jest określona przez rodzaj i sposób sprzężenia elementów ze sobą" /Marxistische Philosophie, Berlin 1967/;

- "Struktura to względnie trwała jedność elementów i ich relacji, całość przedmiotu" /Filosofskaja Encykłopedija, Moskwa 1970/;

- "Struktura /łac. structura - budowa, układ/ - zespół elementów i stosunków między tymi elementami, tworzącymi względnie niezależną całość" /Słownik filozofii marksistowskiej, Warszawa 1982/.

Ostatnia z przytoczonych definicji pokrywa się z najczęściej spotykaną definicją systemu.

Ze względu na pewne już tradycje terminologiczne w badaniach systemowych zasadne jest traktowanie struktury jako zbioru relacji /stosunków, sprzężeń/ między wzajemnie ze sobą sprzężonymi elementami systemu. Przyjmując zatem jako wyjściową definicję systemu jako pary, którą tworzy zbiór elementów oraz zbiór relacji między nimi, pierwszy ze zbiorów traktować będziemy jako skład systemu, natomiast drugi jako jego strukturę. Jest to ujęcie na tyle ogólne oraz jednoznaczne, że powinno sprzyjać eliminowaniu zasadniczych nieporozumień.

Przyjmijmy, że system określony jest przez:

zbiór X elementów oraz

zbiór R powiązań między tymi elementami, przy czym zbiór ten ma następującą własność W :

dla dowolnych niepustych zbiorów Y i Z takich, że

$$Y \cup Z = X \text{ oraz } Y \cap Z = \emptyset$$

istnieją takie elementy $y \in Y$ i $z \in Z$, że prawdziwe jest co najmniej jedno stwierdzenie

$$\langle y, z \rangle \in R \text{ albo } \langle z, y \rangle \in R$$

Definicja: Zbiór powiązań R mający własności W nazywamy strukturą systemu $S = \langle X, R \rangle$.

Jeżeli elementy zbioru R reprezentują pewne zależności przestrzenne lub czasowe między elementami systemu S , to R jest strukturą przestrzenną tego systemu.

Podstawowe pojęcie relacji jest rozumiane jako synonim współzależności lub związku określonych elementów. Precyzyjny, matematyczny sens jest następujący: jeśli dany jest iloczyn kartezjański dowolnych zbiorów:

$$X = A \times B \times \dots \times M$$

to relacją opisaną na uporządkowanej rodzinie zbiorów $\{A, B, \dots, M\}$ nazywamy każdy podzbiór $R \subset X$. Najczęściej, jak w przytoczonej definicji, rozpatrywane są relacje dwuczłonowe, a wśród nich najprostszą postacią mają relacje opisane na iloczynie kartezjańskim typu $A \times A$, przy czym A jest dowolnym zbiorem niepustym. Relację dwuczłonową nazywamy w tym przypadku:

- zwrotną, jeśli spełniają ją każda para postaci $\langle a, a \rangle$, $a \in A$;
- symetryczną, jeśli z faktu, że spełniają ją para $\langle a, b \rangle$, wynika, że spełniają ją również para $\langle b, a \rangle$;
- asymetryczną, jeśli dla $a \neq b$ z faktu, że spełniają ją para $\langle a, b \rangle$, wynika, iż nie spełniają jej para $\langle b, a \rangle$;
- tranzytywną, jeśli z faktu, że spełniają ją pary $\langle a, b \rangle$ i $\langle b, c \rangle$ wynika, że spełniają ją również para $\langle a, c \rangle$.

Przytoczyliśmy podstawowe, formalne własności relacji, albowiem nader często wykorzystywane są w analizach strukturalnych.

Do podstawowych metod strukturalnych można zaliczyć:

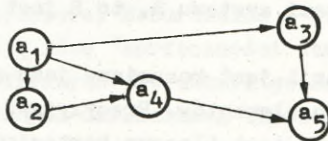
a/ metody teorii grafów i sieci, które należy zaliczyć do najbardziej uniwersalnych, użytecznych np. w analizach systemów informacyjnych, komunikacyjnych, złożonych czynności /procesów/, organizacji itp.;

b/ metodę liczb strukturalnych, opartą na tzw. algebrze liczb strukturalnych;

c/ metody jakościowe, pozwalające na badanie cech jakościowych struktur organizacyjnych /społecznych/.

3. Graf jako model struktury

Rozważmy dowolny niepusty skończony zbiór A i opisaną na nim niepustą relację dwuczłonową R . Dla zobrazowania tej relacji tworzy się model graficzny: elementy zbioru A przedstawia się w postaci kółek lub punktów na płaszczyźnie, a uporządkowane pary elementów $\langle a, b \rangle$ spełniające relację R - w postaci strzałek łączących odpowiednie pary punktów.



$$A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$$

$$R = \{\langle a_1, a_2 \rangle, \langle a_1, a_3 \rangle, \langle a_1, a_4 \rangle, \langle a_2, a_4 \rangle, \langle a_3, a_5 \rangle, \langle a_4, a_5 \rangle\}$$

W ten sposób otrzymaliśmy graf.

Grafy zorientowane /lub orgrafy/ są obiektami abstrakcyjnymi opisanymi przez trójki uporządkowane:

$$G = \langle A, C, \varphi \rangle$$

przy czym A - jest przeliczalnym zbiorem elementów a_i zwanych węzłami /lub wierzchołkami/ grafu, C - jest przeliczalnym zbiorem elementów l_{ij} zwanych łukami grafu, φ - jest odwzorowaniem postaci:

$$\varphi; A \times A \rightarrow C$$

zwanych relacją przyległości /incydencji/ w grafie.

Graf zorientowany nazywamy multigrafem zorientowanym, jeśli każdej uporządkowanej parze węzłów $\langle a_i, a_j \rangle$ może odpowiadać więcej niż jeden łuk l_{ij} . Grafy zorientowane, w których każdej parze uporządkowanej węzłów przyporządkowano co najwyżej jeden łączący je łuk, nazywamy grafem Berge'a.

Stopniem grafu nazywamy liczbę kardynalną $|A|$ zbioru wierzchołków grafu /to jest liczbę wierzchołków, jeśli zbiór A jest skończony/. W grafie niezorientowanym krawędź l_{ij} oznacza łuk łączący węzeł a_i z węzłem a_j lub łuk łączący a_j z a_i , albo też oba takie łuki łącznie.

Graf niezorientowany nazywamy grafem spójnym, jeśli dowolną parę jego węzłów można połączyć za pomocą drogi.

Analiza grafów jest podstawową metodą badania struktur oraz podstawą teorii sieci, która stanowi teoretyczną podstawę szczegółowych technik analizy sieci /np. PERT, CPM itp./.

4. Struktury organizacyjne

Z punktu widzenia modelowania systemów kierowania proponuje się, aby strukturą R systemu S nazywać zbiór relacji zachodzących między jego elementami. Wiadomo jest, że wszystkie interesujące nas struktury są strukturami hierarchicznymi. Modelem ich będzie następująca trójka:

$$S_H = \langle M, m_0, R \rangle,$$

gdzie: M - zbiór elementów systemu S_H ;

$m_0 \in M$ - wyróżniony element nadrzędny;

$R \subset M \times M$ - zbiór relacji binarnych między elementami zbioru M , zwanych relacją zwierzchnictwa /relacje odwrotne \bar{R} są relacjami podporządkowania/.

Struktura hierarchiczna systemu S_H jest zbiorem relacji binarnych między elementami zbioru M , spełniających warunki:

- 1/ w zbiorze M istnieje jeden i tylko jeden element nadrzędny m_0 ;
- 2/ m_0 jest w relacji R_H z każdym innym elementem zbioru M , tj. dla każdego $m \in M, m \neq m_0$ zachodzi $m_0 R_H m$;
- 3/ dla każdego $m \in M, m \neq m_0$ istnieje dokładnie jeden element $n \in M$, taki, że $n R_H m$, tj. każdy element ma dokładnie jeden bezpośredni element nadrzędny;
- 4/ relacja R_H jest antysymetryczna, czyli

$$m R_H n \implies \sim / n R_H m /$$

tzn. żaden element m nie może być w stosunku do innego elementu n równocześnie zwierzchni i podporządkowany.

Każdą strukturę hierarchiczną charakteryzują następujące cechy:

- a/ poziom hierarchii h , czyli zbiór tych elementów, które w danej strukturze są jednakowo oddalone w sensie liczby kolejnych zwierzchników od m_0 ;
- b/ wysokość struktury H ; czyli maksymalna wartość h w danej strukturze, tj. ilość poziomów $H = \max h / h = 1, 2, \dots$;
- c/ liczba podporządkowana K_h , czyli ilość elementów znajdujących się na poziomie h , będących w relacji R_H z elementem ze zbioru M_{h-1} ;
- d/ szerokość struktury p , czyli maksymalna wartość K_h w danej strukturze, tj. $p = \max_h K_h$;
- e/ liczebność systemu N , czyli całkowita liczba elementów należących do zbioru M .

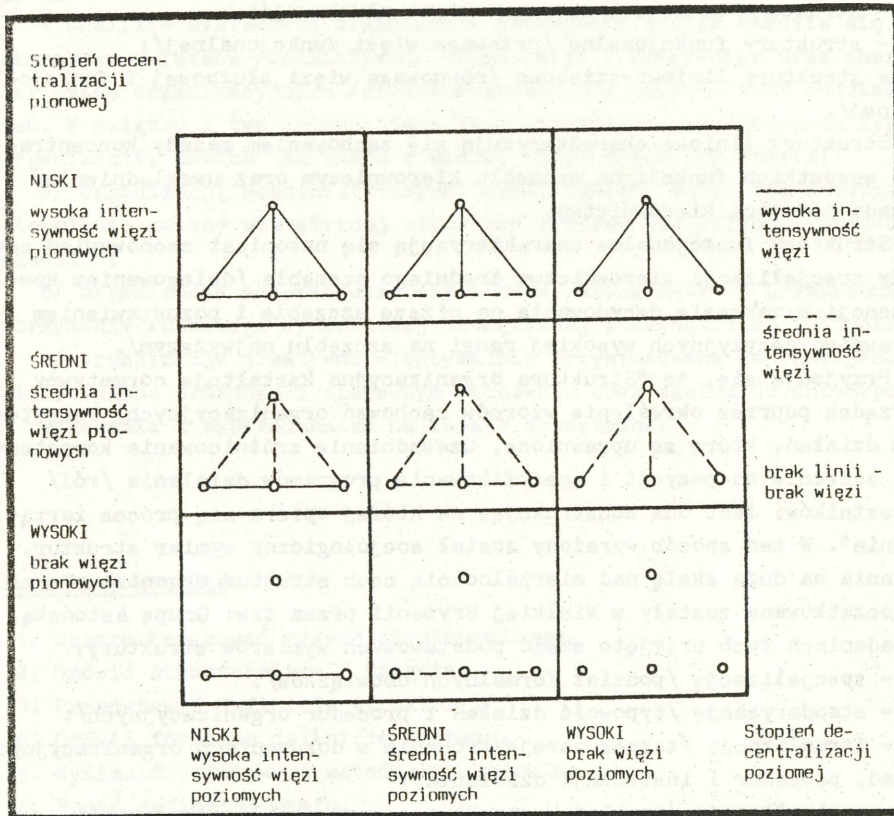
Analiza strukturalna obejmuje analizę zarówno relacji wewnętrznych /pionowych, poziomych/, jak i relacji zewnętrznych, tj. relacji pomiędzy elementami systemu a elementami należącymi do jego otoczenia /np. z elementami współdziałającymi/. Relacje poziome zależą przede wszystkim od charakteru podziału zadań w systemie, który określa stopień centralizacji /decentralizacji/ poziomej.

Ogólnym modelem systemu kierowania będzie pewien graf obciążony, np. $G = \langle X, R, f_M, f_R \rangle$, gdzie:

- X - zbiór węzłów grafu /elementów systemu/;
- $R \subset X \times X$ - zbiór łuków grafu /relacji/;
- $f_M: X \rightarrow R$ - funkcja przyporządkowująca każdemu węzłowi pewną charakterystykę ilościową /np. wydajność elementu/;
- $f_R: R \rightarrow R$ - funkcja przyporządkowująca każdemu łukowi pewną charakterystykę ilościową /np. intensywność więzi/;
- R - zbiór liczb rzeczywistych.

Ze względu na stopień decentralizacji /np. wysoki, średni, niski/ oraz stopień natężenia intensywności więzi między elementami /wysoki,

średni, brak/ można wyróżnić 9 podstawowych konfiguracji struktur /rys. 6/.



Rys. 6. Formy konfiguracyjne sieci organizacyjnych

Analiza poszczególnych form konfiguracji struktur systemu powinna doprowadzić do ujawnienia ich podstawowych zalet i wad, w kontekście ogólnych celów, funkcji i warunków działania organizacji. Jeżeli ponadto wyróżnimy podstawowe typy więzi, jak np.:

- więzi organizacyjne, określające stosunki między elementami, które wpływają bezpośrednio na realizację celów systemu;
- więzi służbowe, czyli relacje zwierzchnictwa;
- więzi funkcjonalne, polegające np. na doradzaniu, konsultowaniu, przygotowaniu dokumentów do podejmowania decyzji;

- więzi informacyjne, związane z wzajemnym komunikowaniem się elementów itp., to powstają zasadnicze, najczęściej omawiane w literaturze typy struktur, a mianowicie:

- struktury liniowe /przewaga więzi służbowej/;
- struktury funkcjonalne /przewaga więzi funkcjonalnej/;
- struktury liniowo-sztabowe /równowaga więzi służbowej i funkcjonalnej/.

Struktury liniowe charakteryzują się zachowaniem zasady koncentracji wszystkich funkcji na szczeblu kierowniczym oraz uwzględnieniem zasady jedności kierownictwa.

Struktury funkcjonalne charakteryzują się natomiast zachowaniem zasady specjalizacji kierownictwa średniego szczebla /delegowaniem kompetencji w zakresie decydowania na niższe szczeble i pozostawieniem uprawnień decyzyjnych wysokiej rangi na szczeblu najwyższym/.

Przyjmuje się, że "Struktura organizacyjna kształtuje normatywny porządek poprzez określenie wzorców zachowań organizacyjnych, repertuaru działań, które są uprawnione, uzasadnianie różnicowania kompetencji zależnie od pozycji i specyfikowanie programów działania /ról/ uczestników. Jest ona konstrukcją, na której opiera się proces zarządzania". W ten sposób wyrażony został socjologiczny wymiar struktur. Badania na dużą skalę nad mierzalnością cech struktur organizacyjnych zapoczątkowane zostały w Wielkiej Brytanii przez tzw. Grupę Astońską. W badaniach tych przyjęto sześć podstawowych wymiarów struktury:

- specjalizację /podział formalnych obowiązków/;
- standaryzację /typowość działań i procedur organizacyjnych/;
- formalizację /zakres zarejestrowania w dokumentach organizacyjnych zasad, procedur i instrukcji działania/;
- centralizację /rozkład w strukturze uprawnień decyzyjnych/;
- konfigurację /opis struktury ról organizacyjnych, rozpiętość i spiętrzenie struktury/;
- tradycjonalizm /wpływ zwyczajów na procesy standardowych działań organizacyjnych/.

Doświadczenia Grupy Astońskiej były podstawą badań nad strukturami organizacyjnymi w wielu krajach, w tym także w Polsce. Z licznych wniosków stanowiących plon tych badań na uwagę zasługują:

- ze wzrostem wielkości organizacji rośnie: liczba szczebli, ogólne sformalizowanie działań, sformalizowanie obiegu i agregacji informacji, zakres programowania działań, zakres sprawozdawczości itp., natomiast maleje stopień specjalizacji działań;

- ze wzrostem liczby zadań organizacji maleje: zasięg specjalizacji, względny zakres działań, zakres programowania działań itp.;

- ze wzrostem liczby procesów technologicznych rośnie standaryzacja działań.

W analizie systemowej organizacji szczególny nacisk kładzie się na charakter związków /oddziaływań/ organizacji z otoczeniem oraz charakter zmian organizacyjnych /strukturalnych/ pod wpływem tych oddziaływań. W związku z tym interesujące jest wyróżnienie podstawowych typów organizacji, takich jak znane z wielu, klasycznych już analiz:

a/ organizacji mechanistycznych, czyli takich, które charakteryzuje niemożność zmiany wewnętrznej struktury systemu pod wpływem zmian otoczenia^{1/};

b/ organizacja adaptatywna, czyli taka, która dąży do przetrwania i utrzymania równowagi dynamicznej wewnętrznej i zewnętrznej z otoczeniem;

c/ organizacja kreatywna - optymalnie przystosowana do funkcjonowania w wysoce złożonym i niepewnym otoczeniu oraz zdolna do antycypacji i reagowania z wyprzedzeniem na zmiany zewnętrzne.

Pytania kontrolne

1. Scharakteryzować rozwój strukturalizmu.
2. Omówić strukturalizm J.Piageta.
3. Przedstawić definicję struktury.
4. Omówić formalną definicję systemu.
5. Wymienić podstawowe metody strukturalne.
6. Podać definicję grafu.
7. Omówić formalny model struktury hierarchicznej.
8. Podać podstawowe cechy struktury hierarchicznej.
9. Co obejmuje analiza strukturalna obiektów?
10. Wymienić podstawowe typy więzi w modelu organizacji.
11. Omówić podstawowe wymiary struktury organizacyjnej.
12. Omówić podstawowe typy organizacji.

1/ Jest to typowa, według M.Croziera, struktura biurokratyczna.

Wykaz literatury

1. H.Beniok, J.Rokita, Struktura organizacyjna przedsiębiorstw. PWN, Warszawa 1984.
2. A.Cvirkun, Struktura złożonych systemów. Moskwa 1975.
3. A.Heinz, Dzieje językoznawstwa w zarysie. PWN, Warszawa 1983.
4. B.Korzan, Elementy teorii grafów i sieci. WNT, Warszawa 1978.
5. J.L.Kulikowski, Zarys teorii grafów. WNT, Warszawa 1986.
6. C.Levi-Strauss, Antropologia strukturalna. PIW, Warszawa 1970.
7. J.Piaget, Strukturalizm. WP, Warszawa 1972.
8. A.Schaff, Szkice o strukturalizmie. KiW, Warszawa 1983.
9. P.Sienkiewicz, Inżynieria systemów. MON, Warszawa 1983.
10. P.Sienkiewicz, Inżynieria systemów kierowania. PWE, Warszawa 1988.

V. METODY CYBERNETYCZNE

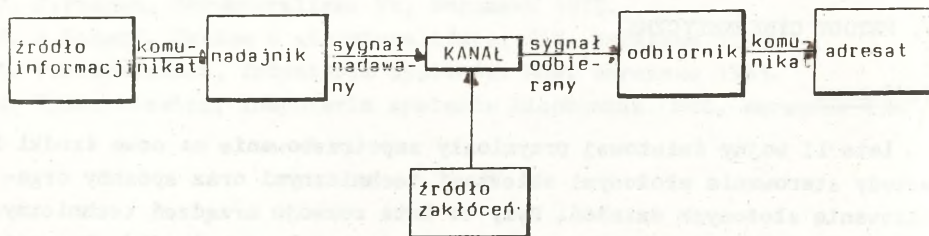
1. Geneza

Lata II wojny światowej przyniosły zapotrzebowanie na nowe środki i metody sterowania złożonymi obiektami technicznymi oraz sposoby organizowania złożonych działań. Były to lata rozwoju urządzeń technicznych o znacznym stopniu automatyzacji, coraz doskonalszych środków łączności oraz systemów "człowiek-maszyna". Wśród problemów naukowych pojawiły się zagadnienia optymalizacji sterowania, adaptacji, optymalnych kodów i kanałów łączności zastosowań matematyki w rozwiązywaniu problemów organizacji i planowania działań. Problemy te podejmowano na wyraźne zlecenie dowództw i sztabów. Coraz częściej dostrzegano analogie w zachowaniu ludzi i zwierząt, funkcjonowaniu nowych urządzeń technicznych, działaniu różnorodnych organizacji. Analogie te, oraz synteza doświadczeń naukowo-technicznych lat wojny, miały się niebawem stać podstawą nowej, wielce obiecującej dyscypliny naukowej - cybernetyki.

W 1948 roku ukazała się książka wybitnego amerykańskiego matematyka /polskiego pochodzenia/ Norberta Wienera pt. "Cybernetics or control and communication in the Animal and the Machine" /Cybernetyka czyli sterowanie i komunikacja w zwierzęciu i maszynie/. Określono w niej przedmiot i istotę nowej nauki, która wypełniała lukę między problemami abstrakcyjnymi, podejmowanymi przez matematykę i logikę, a problemami konkretnymi, podejmowanymi przez różne monodyscypliny. Lukę tę wypełniła cybernetyka problemami interdyscyplinarnymi, tj. tak ogólnymi, że otrzymane wyniki mogłyby być wykorzystywane w wielu różnych monodyscyplinach. Problemy interdyscyplinarne odpowiadały potrzebom społecznym okresu rewolucji naukowo-technicznej.

Historyczna praca N. Wienera nie należy do lektur łatwych, gdyż pisa-
na była chyba z myślą o matematykach i inżynierach. Poszczególne jej
rozdziały zawierają uwagi na temat czasu /w ujęciu newtonowskim i bergso-

nowskim/, mechaniki statystycznej, szeregów czasowych, drgań itp., chociaż także sprzężenia zwrotnego, informacji, języka i społeczeństwa oraz relacji: maszyna cyfrowa a układ nerwowy. Bardziej frapująca wydaje się być treść dwóch rozdziałów, które znalazły się w drugim, uzupełnionym o nie wydaniu /1961 r./. Dotyczą bowiem maszyn uczących się i samoreprodukujących się oraz układów samoorganizujących się, a więc tych koncepcji, które również dziś wzbudzają żywe zainteresowanie.



Rys. 7. System informacyjny Claude'a Shannona

W roku 1949 ukazała się praca amerykańskiego inżyniera Claude E. Shannona pt. "The Mathematical Theory of Communication", która stworzyła podstawy ilościowej /matematycznej/ teorii informacji - uważanej powszechnie za największe osiągnięcie wczesnego okresu rozwoju cybernetyki. Do innych osiągnięć cybernetyki tego okresu należy zaliczyć prace - jednego z największych uczonych XX wieku - Johna von Neumanna, dające podstawy teorii maszyn cyfrowych, teorii automatów, teorii gier, funkcjonowania mózgu ludzkiego itp. Lata pięćdziesiąte przyniosły m.in. prace Rossa W. Ashby'ego /"Wstęp do cybernetyki", "Design for a Brain"/, w których sformułowano podstawy metodologiczne cybernetyki, a ponadto przedstawiono koncepcję homeostatu i jego technicznej realizacji. Na uwagę zasługują prace Stafforda Beera /"Cybernetyka a zarządzanie", "Brain of Firm"/ poświęcone zastosowaniom cybernetyki w zarządzaniu przedsiębiorstwami, oraz liczne wartościowe prace radzieckich uczonych takich jak: A.I. Berg, A. Kołmogorow, A.A. Markow, W.S. Niemczynow, W. Głuszkow, A.J. Lerner, L. Pontriagin, N. Buslenko.

Rozwój cybernetyki w Polsce rozpoczął się na przełomie lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych, przynosząc oryginalne i wartościowe prace Oskara Langego, Henryka Greniewskiego i Mariana Mazura. W latach sześćdziesiątych podjęto próby wojskowych zastosowań cybernetyki w WAT /M. Sto-

larski, S.Paszkowski, S.Plasecki, J.Koneczny, M.Pasternak/, WSMW /N.Klatka, K.Mosinglewicz/ i ASG WP /F.Wiśniewski, J.Skibiński, J.Nowakowski/. Uwaga koncentrowała się przede wszystkim na badaniach operacyjnych i problemach automatyzacji procesów dowodzenia i sterowania środkami walki. W 1968 roku powstaje w WAT pierwszy w Polsce Wydział Cybernetyki, a w ASG WP Katedra Cybernetyki Wojskowej. W 1967 roku ukazała się książka Leszka Kuleszyńskiego pt. "Dowodzenie wojskami a cybernetyka", a w 1970 roku powstała oryginalna praca Józefa Konecznego pt. "Cybernetyka walki".

Do największych osiągnięć cybernetyki w Polsce należą: teoria systemów autonomicznych Mariana Mazura i oparta na niej cybernetyczna teoria charakteru oraz jakościowa teoria informacji, podstawy cybernetyki ekonomicznej O.Langego, cybernetyka niematematyczna /lecz oparta na silnych podstawach filozoficzno-logicznych/ H.Greniewskiego.

Cybernetyka, oprócz wieku, aktualnych nadal, koncepcji i teorii szczegółowych, stworzyła podstawowy dla dynamicznego dziś rozwoju informatyki i robotyki oraz zastosowań modeli matematycznych i metod optymalizacji w każdej niemal dyscyplinie nauk społecznych i humanistycznych, przyrodniczych i technicznych oraz wojskowych.

2. Istota, pojęcia, metody

Aby określić istotę cybernetyki, należy ustalić:

- obiekty, którymi się zajmuje;
- procesy, które bada;
- metody, które stosuje;
- język, którym się posługuje.

Cybernetyka bada procesy komunikacji i sterowania, zajmując się systemami cybernetycznymi oraz posługując się językiem sformalizowanym, stosowanym do opisu obiektów, systemów. W ramach cybernetyki, oprócz trzech podstawowych metod badawczych: dedukcji, analizy i syntezy, stosowana jest powszechnie metoda modelowania. Model /w szczególności matematyczny/ wiąże się z konstruowaniem modelu w dziedzinie abstrakcyjnej dla realnej sytuacji technicznej, ekonomicznej, przyrodniczej lub wojskowej, tworząc jej idealizację - schemat abstrakcyjny /w szczególności może nim być zależność funkcyjna, równanie algebraiczne lub najbardziej typowe: równanie różniczkowe/.

Cybernetyka jest to nauka o sterowaniu, a zatem wszystko, co jest sterowaniem wchodzi w zakres tej dyscypliny. Sterowanie jest to wywieranie pożądanego wpływu na określone zjawiska.

Sterowaniem systemu nazywa się określenie jego funkcji wejścia w sposób zapewniający realizację celu postawionego przed systemem. System A jest sterowany przez system B, jeżeli wejścia systemu A są uzależnione od wyjść systemu B w sposób zapewniający realizację celu postawionego przed systemem A. System A jest sterowany w torze otwartym /bez sprzężenia zwrotnego/ przez system B, jeżeli system A jest sterowany przez system B, którego wejścia są niezależne od stanu systemu A. System A jest sterowany przez system B, którego wejścia są uzależnione od stanu systemu A. System A nazywa się systemem sterowanym /obiektem sterowania/, system B - systemem sterującym.

Niech Ω_s będzie zbiorem funkcji wejść sterujących $u_s/t/\in\Omega_s$, a Ω_z niech będzie zbiorem funkcji wejść zakłócających $u_z/t/\in\Omega_z$. Wtedy dla określonego stanu początkowego można opisać system funkcją wejściowo-wyjściową.

$$K: \Omega_s \times \Omega_z \rightarrow \Gamma$$

Dla oceny stopnia realizacji celu sterowania definiuje się wskaźnik jakości /efektywności/ sterowania w postaci funkcji

$$J: \Omega_s \times \Omega_z \times \Gamma \rightarrow V$$

gdzie zbiór miar jakości sterowania V jest zbiorem uporządkowanym za pomocą relacji \ll , np. podzbiorem zbioru liczb rzeczywistych.

Sterowaniem zadawalającym nazywa się sterowanie $\tilde{u}_s/t/\in\Omega_s$, które dla wszystkich stanów początkowych systemu i dla wszystkich wejść zakłócających $u_z/t/\in\Omega_z$ zapewni spełnienie warunku

$$J / \tilde{u}_s/t/, u_z/t/, y/t// \ll Q / u_z/t//$$

gdzie $y/t/$ - funkcja wyjścia, Q - dopuszczalna miara jakości sterowania. Sterowanie zadawalające jest sterowaniem zapewniającym niewykraczanie wskaźnika jakości poza określony podzbiór zbioru miar jakości sterowania.

Sterowaniem optymalnym nazywa się takie sterowanie $u_s^*/t/\in\Omega_s$, które dla wszystkich stanów początkowych systemu, wszystkich wejść sterujących $u_s/t/\in\Omega_s$ i wszystkich wejść zakłócających $u_z/t/\in\Omega_z$ zapewnia spełnienie warunku

$$J / u_s^*/t/, u_z/t/, y/t// \ll J / u_s/t/, u_z/t/, y/t//,$$

czyli sterowanie optymalne zapewnia więc uzyskanie minimalnego wskaźnika jakości sterowania.

Powyższe wyróżnienie rodzajów sterowania wynika z przyjętego modelu systemu sterowania w przestrzeni stanu, który obejmuje następujące elementy:

- 1/ zbiór uporządkowany momentów czasu $t \in T$;
- 2/ zbiór dopuszczalnych wartości wejść U ; dla dowolnego momentu czasu $t \in T$ wartości wejść $u/t/$ spełniają warunek $u/t/ \in U$;
- 3/ zbiór dopuszczalnych funkcji wejścia

$$\Omega = \{ u/t/ : T \rightarrow U \}$$

- 4/ zbiór dopuszczalnych wartości wyjść Y ; dla dowolnego momentu czasu $t \in T$ wartości wyjścia $y/t/$ spełniają warunki $y/t/ \in Y$;
- 5/ zbiór dopuszczalnych funkcji wyjścia

$$\Gamma : \{ y/t/ : T \rightarrow Y \}$$

- 6/ zbiór stanów X systemu; dla dowolnego momentu czasu $t \in T$ stan $x/t/$ spełnia warunek $x/t/ \in X$;
- 7/ funkcja stanu stanu jest odwzorowaniem

$$\Psi : T \times T \times X \times \Omega \rightarrow X$$

czyli $x/t/ = \Psi /t/; t_0, x/t_0/, u/t//, gdzie $t_0 \leq t \leq \tau$;$

- 8/ funkcja wyjścia η będąca odwzorowaniem

$$\eta : T \times X \times U \rightarrow Y$$

czyli $y/t/ = \eta /t, x/t/, u/t//, która określa wartość wyjścia w momencie czasu t na podstawie znajomości tego momentu czasu oraz na podstawie znajomości wartości stanu i wejścia w tym momencie czasu.$

Model ten pozwala na poprawny i racjonalny w sensie metodologicznym opis dowolnego obiektu, interesującego badacza ze względu na własności funkcjonalne, procesy informacyjno-decyzyjne. Może on także stanowić podstawę ogólnej klasyfikacji /podziału rozłącznego i wyczerpującego/ systemów rozpatrywanych w cybernetyce, a mianowicie:

a/ system jest systemem statycznym, jeżeli zbiór stanów X jest zbiorem pustym $X = \emptyset$, czyli wartość wejścia $u/t/$ w każdej chwili t jednoznacznie określa wartość wyjścia $y/t/$ w tej chwili, co można przedstawić w postaci: $y/t/ = \eta /t, u/t//$; system jest systemem dynamicznym, jeżeli zbiór stanów X nie jest zbiorem pustym $X \neq \emptyset$;

b/ system jest systemem stacjonarnym, jeżeli jego właściwości są stałe w czasie /np. funkcja stanu nie ulega zmianie przy przesunięciu wzdłuż osi czasu, wartość wyjścia $y/t/$ w momencie czasu t zależy tylko

od wartości wejścia $u/t/$ i stanu $x/t/$ w tym momencie czasu, natomiast nie zależy *explicite* od czasu, tj. $y/t/ = \eta /x/t/, u/t//$; system nie będący systemem stacjonarnym nazywa się systemem niestacjonarnym;

c/ system jest systemem ciągłym /ciągłym w czasie/, gdy zbiór T jest przedziałem otwartym, tj.: $T = \{t_1, t_2/\}$, którym może być cała oś liczb rzeczywistych; system jest systemem dyskretnym /dyskretnym w czasie/, jeżeli $T = \{t_0, t_1, t_2, \dots, t_1, \dots\}$;

d/ system jest systemem skończonym, gdy zbiory wejść U , stanów X i wyjść Y zawierają skończoną ilość elementów; system jest różniczkowy, gdy funkcja stanu stanowi rozwiązanie równania różniczkowego $\frac{dx/t/}{dt} = f/t, x/t/, u/t//$ z warunkiem początkowym $x/t_0/$; system jest liniowy, gdy funkcja stanu jest liniowa względem stanu początkowego $x/t_0/$ oraz funkcji wejścia $u/t/$, oraz funkcja wyjścia jest liniowa względem stanu $x/t/$ i funkcji wejścia $u/t/$.

Pojęciem podstawowym dla metod cybernetycznych jest pojęcie sprzężenia układów /systemów/. Rozpatrzmy dwa układy o przepustowościach G_1 i G_2 które opisują właściwości układów. Mogą występować następujące sprzężenia układów:

a/ sprzężenie szeregowe, tj. takie, że wejście u_1 pierwszego układu jest wejściem u całego sprzężonego układu, a wyjście y_2 drugiego układu jest wyjściem y całego układu, przy czym $y_1 = G_1 u_1$, $y_2 = G_2 u_2$ oraz $u_2 = y_1$, to wtedy $y = G_2 G_1 u$;

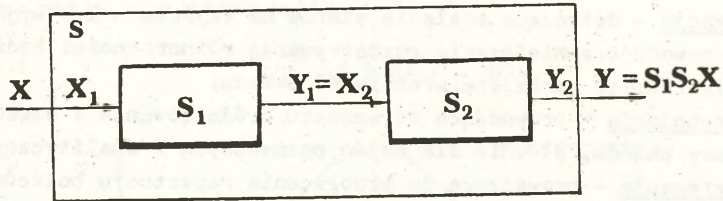
b/ sprzężenie równoległe, tj. takie, że wartości wejściowe u_1 i u_2 są pewną wspólną wartością wejściową u , a wartości wyjściowe y_1 i y_2 sumują się w jedną wielkość wyjściową y całego układu, czyli $u_1 = u_2 = u$ a zatem $y_1 + y_2 = /G_1 + G_2/ u$ albo $y = /G_1 + G_2/ u$;

c/ sprzężenie zwrotne, tzn. takie dla którego $u_2 = y_1 = y$ oraz $u_1 = y_2 + u$, a wtedy $y_1 = G_1 /G_2 y_1 + u/$;
po uwzględnieniu $y_1 = y$, otrzymujemy

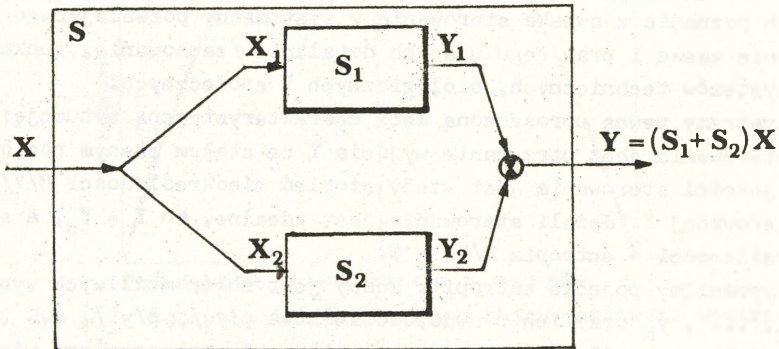
$$y = \frac{G_1}{1 - G_1 G_2} u$$

Znając charakterystyki elementarnych przypadków sprzężeń układów, można analizować przypadki bardziej złożonych sprzężeń w celu uzyskania uogólnionych charakterystyk funkcjonalnych systemów o złożonych strukturach. Taka analiza funkcjonalna należy do klasycznych już metod cybernetycznych. Spośród metod szczegółowych uwagę zwracają te, które prowadzą do ujednoczenia, a niekiedy i uproszczenia struktury układu. Należą do nich:

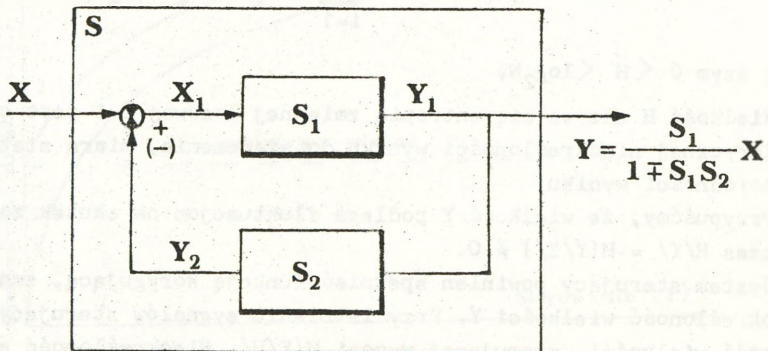
a/ integracja - rozumiana jako redukcja liczby składników układu,



Rys. 8. Sprzężenie szeregowe systemów



Rys. 9. Sprzężenie równoległe systemów



Rys.10. Sprzężenie zwrotne systemu

przy czym kryterium wyodrębniania składników redukowanych jest ich waga dla funkcjonowania układu lub podobieństwo realizowanych zadań /funkcji/;

b/ agregacja - dotycząca scalania stanów na wejściach lub wyjściach układu, co powoduje zmniejszenie rozpatrywanej różnorodności bodźców i reakcji, ale również zmniejsza wrażliwość układu;

c/ dyferencjacja - prowadząca do wzrostu zróżnicowania i szczegółowości struktury układu, głównie dla celów poznawczych i analitycznych;

d/ dezagregacja - prowadząca do wzbogacenia repertuaru bodźców lub reakcji /wejsć - wyjść/ układu dla dokładniejszego określenia jego wrażliwości.

Wymienione szczegółowe metody, a przede wszystkim modelowanie, służą - jako narzędzie cybernetyki - do lepszego niż za pomocą metod tradycyjnych poznania zjawiska sterowania w systemach, pozwalającego na sformułowanie zasad i praw regulujących działanie /zachowanie, funkcjonowanie/ systemów technicznych, biologicznych i społecznych.

Rozpatrzmy pewną uproszczoną lecz charakterystyczną sytuację: zadaniem sterowania jest utrzymanie wyjścia Y na stałym znanym poziomie Y_0 . Miarą jakości sterowania jest wtedy stopień nieokreśloności $H/Y/$ wielkości sterowanej Y . Jeżeli sterowanie jest idealne, to $Y = Y_0$, a stopień nieokreśloności - entropia $H/Y/ = 0$.

Przypomnijmy pojęcie entropii: znany jest zbiór możliwych wyników y_1, y_2, \dots, y_N oraz ich prawdopodobieństwa $p/y_1/, p/y_2/, \dots, p/y_N/$. Według C.Shannona ilość informacji /w bitwach/, jaką zawiera wiadomość o wyniku wynosi:

$$H/Y/ = - \sum_{i=1}^N p/y_i/ \log_2 p/y_i/$$

przy czym $0 < H < \log_2 N$.

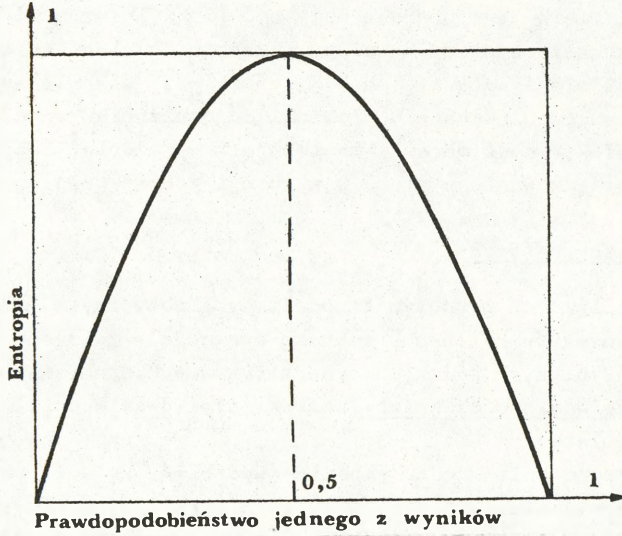
Wielkość H nazywa się entropią zmiennej losowej Y i jest ona miarą apriorycznej nieokreśloności wyniku doświadczenia, miarą statystycznej różnorodności wyniku.

Przypuśćmy, że wielkość Y podlega fluktuacjom na skutek zakłóceń Z , wówczas $H/Y/ = H[Y/Z/] \neq 0$.

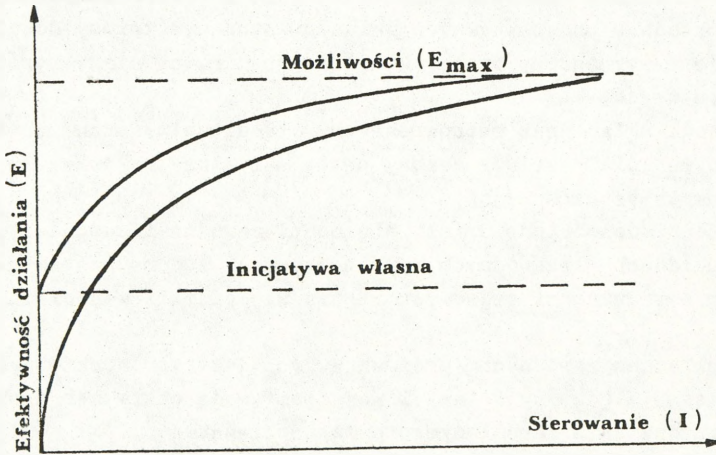
System sterujący powinien spełniać funkcję korygującą, zmniejszającą nieokreśloność wielkości Y . Przy istnieniu sygnałów sterujących nieokreśloność wielkości sterującej wynosi $H/Y/U/$. Nieokreśloność stanu systemu zmniejsza się więc pod wpływem sygnału sterującego o $H/Y/-H/Y/U/=I/U,Y/$, tzn. o informację dotyczącą wielkości U , lecz zawartą w Y . Aby zmniejszyć nieokreśloność, system sterowania musi mieć do dyspozycji dostatecznie

bogaty zbiór wartości wielkości sterujących, tj. $H/U \gg I/U, Y/$, a więc nieokreśloność wielkości Y przy sterowaniu spełnia warunek wyrażający graniczne możliwości sterowania:

$$H/Y, U/ \gg H/Y/ - H/U/$$



Rys. 11. Entropia doświadczenia o dwóch możliwych wynikach



Rys. 12. Zależność efektywności działania od sterowania /ilości informacji sterującej/

Zależność explicite między efektywnością sterowania a ilością informacji sterującej zaproponował W. Trapeznikow. Wiadomo, że entropia systemu pozostawionego samemu sobie wzrasta, tj. w naturalnych warunkach wzrasta jego nieuporządkowanie. Zapobiec wzrostowi entropii może tylko sterowanie, którego istotą jest walka z entropią. Jest to proces antyentropijny. Miarą tego procesu może być ilość informacji sterującej. Nieuporządkowanie systemu H po wprowadzeniu do niego informacji sterującej J zmieni się i wyniesie: $H = H_0 \exp\{-\frac{J}{a}\}$, a - wielkość stała.

Nieuporządkowanie systemu prowadzi do obniżenia jego efektywności, przy czym efektywność określa następujące wyrażenie: $E = E_{\max} [1 - H_0 \exp\{-\frac{J}{a}\}]$, H_0 - nieuporządkowanie systemu w sytuacji początkowej.

3. Modele cybernetyczne

Spośród licznych propozycji modeli cybernetycznych, użytecznych w badaniach obiektów realnych, wybrano dwa modele związane z działalnością dwóch wybitnych polskich cybernetyków - H. Greniewskiego i M. Mazura.

Układ względnie odosobniony Henryka Greniewskiego [1] spełnia następujące postulaty:

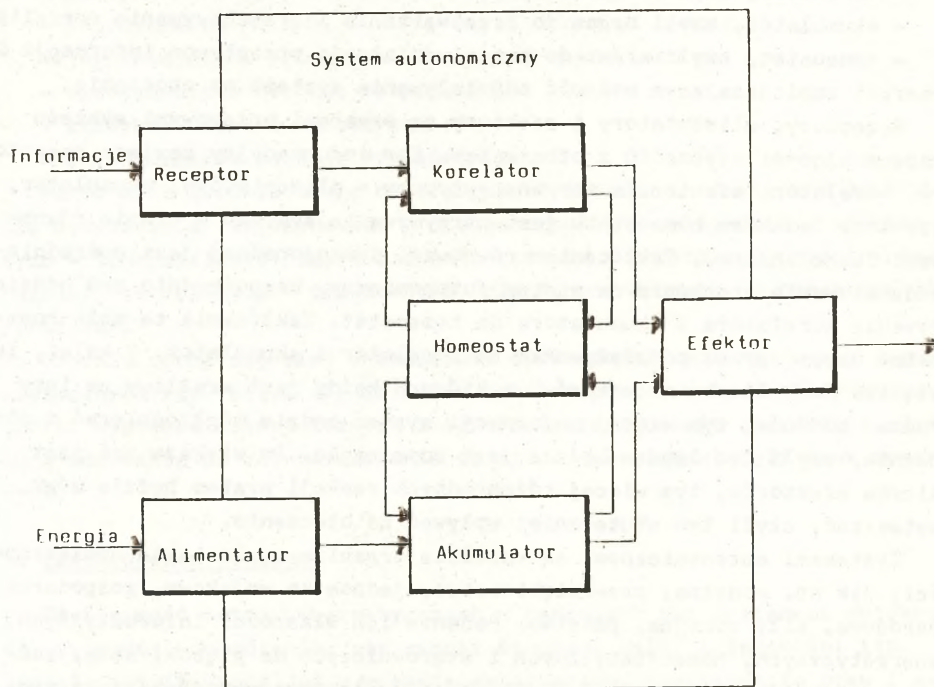
- 1/ ma przynajmniej jedno wejście /wyjście/;
- 2/ każde wejście /wyjście/ przybiera określone stany wyróżnione, których zbiór nazywa się repertuarem danego wejścia /wyjścia/;
- 3/ wyróżnia się układy prospektywne i /lub/ retrospektywne;
- 4/ w układach prospektywnych aktualny stan wyróżniony dowolnego wyjścia jest wyznaczony przez aktualne lub minione stany wyróżnione wszystkich wejść;
- 5/ jeżeli układ jest retrospektywny, to aktualny stan wyróżniony dowolnego wejścia jest wyznaczony przez aktualne lub przyszłe stany wyróżnione wszystkich wyjść;
- 6/ układy odosobnione dzieli się na niezawodne i zawodne;
- 7/ w układach niezawodnych /prospektywnych lub retrospektywnych/ wyznaczanie zależności czasowych między wyjściami i wejściami jest jednoznaczne;
- 8/ w układach zawodnych /prospektywnych lub retrospektywnych/ zależności czasowe między wyjściami i wejściami mają charakter probabilistyczny /wyznaczone są z określonym prawdopodobieństwem/.

Pojęcie układu względnie odosobnionego legło u podstaw formalnej aksjomatycznej teorii cybernetycznych systemów izolowanych /CIS/ Jerzego Jaronia [2]. Opis systemu należącego do klasy CIS dokonywany jest za pomocą następujących pojęć zbiorów:

- a/ repertuarów /zbiorów stanów organów brzegowych/;
- b/ kalendarzy /czasu własnego systemu/;
- c/ trajektorii /opisu zależności stanu od chwili/;
- d/ organów brzegowych /wejść i wyjść/;
- e/ asygnatów /relacje, w szczególności odwzorowania, np. określające związki między stanami wejść i stanami wewnętrznymi a stanami wyjść/.

Zupełny opis obiektu, w sensie teorii CIS, obejmuje określenie wszystkich wymienionych pięciu zbiorów. Uzyskany w ten sposób opis formalny /formalnie poprawny, wewnętrznie spójny itp./ można zaliczyć do klasy modeli cybernetycznych.

Modelem cybernetycznym stworzonym na podstawie znajomości własności funkcjonalnych realnych obiektów biologicznych i społecznych jest system autonomiczny Mariana Mazura [9].



Rys. 13. System autonomiczny Mariana Mazura

System autonomiczny jest to system mający: zdolność sterowania oraz zdolność przeciwdziałania utracie zdolności sterowania. Sterowanie się systemu autonomicznego w otoczeniu opiera się na sprzężeniu zwrotnym,

czego wynikiem jest występowanie zmian nie tylko w otoczeniu, lecz także w samym systemie. Zmiany te nie mogą jednak powodować utraty zdolności sterowania. Stan taki, t.j. stan równoważący niejako oddziaływania różnych czynników /procesów/ wewnętrznych i zewnętrznych, określany jest jako równowaga funkcjonalna /homeostaza/. Poznanie sprzężeń sprzyjających oraz czynników zakłócających homeostazę biologiczną i społeczną jest nadal aktualnym, jednym z najważniejszych zadań cybernetyki.

System autonomiczny zawiera następujące podsystemy /rys. 13/:

- efektory jako organy wyjściowe do oddziaływania na otoczenie;
- receptory, czyli organy wejściowe do pobierania informacji z otoczenia;
- alimentatory, czyli organy wejściowe do pobierania energii z otoczenia;
- korelator, czyli organ do przetwarzania i przechowywania informacji;
- akumulator, czyli organ do przetwarzania i przechowywania energii;
- homeostat, czyli organ do przeciwdziałania przepływowi informacji i energii zmniejszającym możliwość oddziaływania systemu na otoczenie.

Receptory, alimentatory i efekторы są organami brzegowymi systemu zapewniającymi styczność z otoczeniem. Tor informacyjny zawiera receptory, korelator, efektor, a tor energetyczny - alimentatory, akumulator, efektor. Zadaniem homeostatu jest utrzymywanie systemu w stanie równowagi funkcjonalnej. Zakłóceniem równowagi funkcjonalnej jest pośrednio oddziaływanie otoczenia na system autonomiczny, bezpośrednio zaś oddziaływanie korelatora i akumulatora na homeostat. Zakłócenia te może homeostat usuwać przez oddziaływanie na korelator i akumulator. Z kolei, im większa jest liczba receptorów, z których każdy jest wrażliwy na inny rodzaj bodźców, tym więcej informacji system będzie mógł odbierać z otoczenia, czyli tym lepsze będzie jego rozeznanie. Im większa zaś jest liczba efektorów, tym więcej różnorodnych reakcji system będzie mógł wytwarzać, czyli tym skuteczniej wpływać na otoczenie.

Systemami autonomicznymi są wszelkie organizmy, ale także społeczności, jak np. rodzina, przedsiębiorstwo, jednostka wojskowa, gospodarka narodowa, siły zbrojne, państwo. Badanie ich własności informacyjnych, energetycznych, homeostatycznych i sterowniczych ma głęboki sens, zaś cybernetyka dostarcza metod skutecznych /zwłaszcza w porównaniu z tradycyjnymi metodami monodyscyplinarnych/ aczkolwiek często nie docenianych.

Teoria systemów autonomicznych M.Mazura dała już interesujące rezultaty na gruncie badań społecznych /socjocybernetyki/ [5], a ponadto przyniosła oryginalną cybernetyczną teorię charakterów [8]. Ta ostatnia

dała wartościową typologię charakterów, u podstaw której znajduje się wyróżnienie właściwości sterowniczych sztywnych i niesztywnych. Charakter jest zespołem sztywnych właściwości sterowniczych, określanych jako parametry charakteru. Właściwościami intelektualnymi są: inteligencja, pojętność i talent. Wiążą się one z procesami przetwarzania informacji. Właściwością sterowniczą dotyczącą przetwarzania energii jest dynamizm charakteru, będący zmiennym /ze względu na starzenie się tworzywa/ parametrem charakteru.

Dynamizm charakteru określany jest następująco: $D = \log \frac{C}{A}$, gdzie C - współczynnik rozbudowy, A - współczynnik starzenia. Wyróżniono następujące zakresy dynamizmu:

- egzodynamizm / $D > 0$, $C > A$ /, czyli dynamizm dodatni, a następnie wprowadzono dwie klasy pośrednie; endodynamizm i endostatyzm;

- statyzm / $D = 0$, $C = A$ /, czyli dynamizm zerowy;

- endodynamizm / $D < 0$, $C < A$ /, czyli dynamizm ujemny.

Najogólniejszymi przejawami dynamizmu charakteru są:

- egzodynamików cechuje rozpraszanie;

- statyków cechuje utrzymywanie;

- endodynamików cechuje gromadzenie.

Warto może zwrócić uwagę na przejawy dynamizmu charakteru w dziedzinie decydowania: egzodynamizm - nieopatrność /impulsywność/, egzostatyzm - lekkomyślność /improwizacja/, statyzm - prostoliniowość /harmogram/, endostatyzm - przezorność /plan/, endodynamizm - przebiegłość /program/.

Obecnie coraz częściej w analizach społecznych politycznych, psychospołecznych itp. sięga się do metod cybernetyki, a w szczególności do teorii systemów autonomicznych i cybernetycznej teorii charakteru. Zasługują one także na zainteresowanie ze strony przedstawicieli nauk wojskowych.

4. Zastosowania wojskowe

Użyteczność metod cybernetycznych w badaniach nad systemami wojskowymi, procesami dowodzenia, sterowania środkami walki i łączności itp. została potwierdzona już u zarania cybernetyki. Zastosowanie praw i zasad, metod i modeli cybernetyki do badania wymienionych wyżej obiektów przyniosło "cybernetykę wojskową" [6]. Aczkolwiek obecnie więcej mówi się np. o "informatyce wojskowej", "automatyzacji systemów dowodzenia" itp., to nie należy zapominać, że pojęcia te są pochodnymi pojęć, jakie przyniosła cybernetyka i rozwinięciem metod, które wniosła ona do nauki i praktyki społecznej. Cybernetyka zapoczątkowała dzisiejsze modelowanie

procesów walki, symulację komputerową walki /operacji/, komputerowe gry wojenne. Z niej także, a dokładniej z badań operacyjnych, wyłoniła się analiza systemowa. Cybernetyka wojskowa zapowiadała już w latach pięćdziesiątych obecne programy kompleksowej automatyzacji systemów dowodzenia i sterowania środkami walki /oparte o komputery IV generacji - jakże odmienne od tych, których koncepcję tworzył J.von Neumann/, chociażby takie, jak amerykański program C³I/EW /command, control, communication, intelligence, electronic war/ [13]. Dzisiejsze pociski samosterujące są realizacją koncepcji sterowania /optymalnego, adaptacyjnego, rozgrywającego/ rozwijanych od trzydziestu lat przez cybernetyków, automatyków, matematyków.

Cybernetyka wywarła także wpływ na rozwój współczesnej teorii dowodzenia, wnosząc do niej m.in. metody oceny efektywności działań bojowych /walki/ i systemów dowodzenia, modele sytuacji decyzyjnych, metody analizy procesów informacyjnych, metody projektowania zautomatyzowanych systemów dowodzenia i sterowania środkami walki.

Zakończenie

Przełom lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych przyniesie zapewne nowe modele systemów i metody ich analizy, oceny i syntezy. Należy sądzić, że uwaga będzie koncentrować się na rozwoju systemów komputerowego wspomagania procesów decyzyjnych, zagadnieniach "sztucznej inteligencji" i zastosowania jej w systemach typu "ekspert" /np. systemach typu "elektroniczny konsultant dowódcy"/.

Z pewnością miał rację Ross W.Ashby mówiąc, że "Metody cybernetyki mogą okazać się decydujące w badaniu pewnych trudnych problemów nie poprzez bezpośrednie podanie rozwiązania, lecz przez wykazanie nieprawidłowości postawienia samych problemów lub błędności założeń" oraz "Wydaje się, że nowe, proponowane przez cybernetykę, podejście może nam pomóc w głębszym wnikięciu w istotę zjawisk, jeśli tak się stanie rzeczywiście, unikniemy pewnych pytań, jasno wykazawszy, że nie należało ich zadawać"^{1/}.

Przykład 1 [6]

Prowadząc kolumnę wojska z A do C, dochodzimy do rozwidlenia trzech dróg /d₁, d₂, d₃/ w punkcie B. Wiemy, że tylko jedna z tych dróg prowadzi do C, lecz nie wiemy która.

1/ W.R.Ashby: Wstęp do cybernetyki. PWN, Warszawa 1963.



W punkcie B na rozwidleniu napotykamy patrol jadący drogą d_1 w kierunku A, który informuje nas, że d_1 nie prowadzi do C. Użyteczność tej informacji wyniesie^{2/}

$$U/I/ = \log \frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{3}} = \log \frac{3}{2} = 0,58 \text{ bita.}$$

Gdyby patrol poinformował, że do C prowadzi np. droga d_2 , to wówczas użyteczność takiej informacji wyniosłaby

$$U/I/ = \log \frac{1}{\frac{1}{3}} = \log 3 = 1,58 \text{ bita.}$$

W drugim przypadku użyteczność informacji byłaby więc większa niż w pierwszym o 1 bit.

Przykład 2

Bateria dysponuje pięcioma pociskami raketowymi przeznaczonymi do niszczenia pięciu celów. Prawdopodobieństwo p_{ij} zniszczenia i - tym pociskiem j - tego celu przedstawiono w tabeli:

Cele j	1	2	3	4	5
Pociski i					
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

2/ Zastosowano wzór A.Charkiewicza określający użyteczność informacji:

$$U/I/ = \log \frac{P_1}{P_0}, \text{ gdzie}$$

P_0 - prawdopodobieństwo osiągnięcia celu przed otrzymaniem informacji,

P_1 - prawdopodobieństwo osiągnięcia celu po otrzymaniu informacji.

Należy dokonać optymalnego przydziału pocisków do niszczenia celów, tzn. takiego przydziału, który maksymalizuje wartość oczekiwaną liczby zniszczonych celów.

Zadanie optymalizacji ma postać

$$F/x/ = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 p_{ij} x_{ij} \rightarrow \max$$

gdzie $x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jeśli } i\text{-ty pocisk niszczy } j\text{-ty cel,} \\ 0, & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$

przy ograniczeniach

$$\sum_{j=1}^5 x_{ij} = 1, \quad i = \overline{1, 5};$$

$$\sum_{i=1}^5 x_{ij} = 1, \quad j = \overline{1, 5};$$

$$x_{ij} \geq 0.$$

Wartość oczekiwana liczby zniszczonych celów przyjmuje wartość maksymalną, gdy pocisk nr 1 niszczy cel nr 4, pocisk nr 2 niszczy cel nr 3, pocisk nr 3 niszczy cel nr 2, pocisk nr 4 niszczy cel nr 5, pocisk nr 5 niszczy cel nr 1.

Pytania kontrolne

1. Omówić rozwój cybernetyki wojskowej w Polsce.
2. Co nazywamy sterowaniem systemu, sterowaniem zadowalającym i sterowaniem optymalnym?
3. Jaki system nazywamy statycznym, a jaki dynamicznym?
4. Omówić podstawowe typy sprzężeń systemów.
5. Scharakteryzować ujęcie C.Shannona ilości informacji.
6. Scharakteryzować układ względnie odosobniony H.Greniewskiego.
7. Scharakteryzować system autonomiczny M.Mazura.
8. Wymienić podstawowe zakresy dynamizmu charakteru człowieka wg M.Mazura.
9. Na czym polega aktualność koncepcji cybernetycznych?

Wkasz literatury

1. H.Greniewski, Cybernetyka niematematyczna. PWN, Warszawa 1969.
2. J.Jaroń, Podstawy cybernetyki. Wrocław 1976.
3. M.Kempisty, Mały słownik cybernetyczny. WP, Warszawa 1973.
4. J.Konieczny, Cybernetyka walki.PWN, Warszawa 1970.
5. J.Kossecki, Cybernetyka społeczna. KiW, Warszawa 1975.
6. L.Kuleszyński, Dowodzenie wojskami a cybernetyka. MON, Warszawa 1967.
7. M.Mazur, Jakościowa teoria informacji, WNT, Warszawa 1970.
8. M.Mazur, Cybernetyka i charakter. PIW. Warszawa, 1975.
9. M.Mazur, Cybernetyczna teoria układów samodzielnych. WNT, Warszawa 1966.
10. A.Niederliński, Systemy i sterowanie. Politechnika Śląska, Gliwice 1978.
11. J.Nowakowski, Wybrane zagadnienia cybernetyki ogólnej i wojskowej. MON, Sztab Generalny WP, Warszawa 1971.
12. P.Sienkiewicz, Poszukiwanie Golema, czyli o cybernetyce i cybernetykach. KAW, Warszawa 1987.
13. P.Sienkiewicz, Inżynieria systemów. Wybrane zastosowania wojskowe. MON, Warszawa 1983.
14. P.Sienkiewicz, M.Szczepaniak, W.Więckowski, Dowodzenie z komputerem. Realia i perspektywy. MON, Warszawa 1985.
15. N.Wiener, Cybernetyka. PWN, Warszawa 1971.
16. N.Wiener, Cybernetyka i społeczeństwo. KiW, Warszawa 1961.

VI. METODY PROBABILISTYCZNE

1. Wprowadzenie

Współcześnie trudno jest wskazać dziedzinę nauki lub techniki nie posługującą się metodami probabilistycznymi^{1/}. Wiąże się to z faktem, że zjawiska występujące w otaczającej nas rzeczywistości podlegają losowemu wpływom.

Oczywiście można w przybliżeniu opisać wiele zjawisk nie uwzględniając wpływu czynników losowych, a czasami w warunkach laboratoryjnych można w ogóle wyeliminować wpływ tych czynników. Natomiast w warunkach nielaboratoryjnych lepsze przybliżenie rzeczywistości uzyskać można stwarzając modele matematyczne dla badanych zjawisk, uwzględniające istnienie czynników losowych. W wielu przypadkach daje się zaobserwować określone prawidłowości w występowaniu i oddziaływaniu tych czynników. Działem matematyki służącym do wykrywania i badania prawidłowości w zakresie zdarzeń losowych jest właśnie probabilistyka.

Metody probabilistyczne nie są przeciwstawne klasycznym metodom badania zjawisk, lecz je dopełniają i pozwalają głębiej analizować z uwzględnieniem właściwych danemu zjawisku elementów losowości.

Szerokie zastosowanie znajdują metody probabilistyczne w takich dziedzinach techniki wojskowej, jak: teoria strzelania, teoria amunicji, teoria kierowania ogniem, aeronawigacja.

Metody rachunku prawdopodobieństwa i ich aparat matematyczny są również wykorzystywane w szeregu innych specjalności nauk wojskowych.

Czytelnik niniejszego rozdziału nie znajdzie w nim dokładnego opisu wszystkich metod probabilistycznych stosowanych w wojskowych badaniach naukowych. Metod tych jest zbyt dużo i ich szczegółowa prezentacja zajęłaby znacznie więcej miejsca.

1/ Probabilistyczny - związany z prawdopodobieństwem /od ang. probability - prawdopodobieństwo/.

W rozdziale zawarte zostały podstawowe wiadomości z rachunku prawdopodobieństwa, statystyki matematycznej i procesów stochastycznych - trzech podstawowych działów wchodzących w skład probablistyki. Zapoznanie się z przedstawionym materiałem zapewnia ogólną orientację w metodach i zastosowaniach probablistyki. Pozwala zrozumieć, jakie problemy mogą być rozwiązywane za pomocą metod probablistycznych i kiedy wskazane jest zwrócić się do fachowca z prośbą o konsultację.

Czytelnik pragnący pogłębić wiadomości zasygnalizowane w rozdziale VI znajdzie je w publikacjach ujętych w wykazie literatury.

2. Elementy rachunku prawdopodobieństwa

2.1. Pojęcie prawdopodobieństwa

Pojęcie prawdopodobieństwa zrealizowania się pewnego zdarzenia wprowadzone zostanie w sposób uproszczony, popularny, niemniej wystarczający do pewnych praktycznych zastosowań.

Wyobraźmy sobie, że w pewnej jednostce wojskowej znajduje się n osób wojskowych i m pracowników cywilnych. Łączna liczba osób wynosi więc $n + m$. Wybieramy jedną osobę i interesuje nas prawdopodobieństwo, że będzie nią pracownik cywilny. Wybór przeprowadzamy w taki sposób, że każda osoba ma jednakowe szanse wylosowania. Osób cywilnych jest m , a więc możliwości wylosowania osoby cywilnej jest również m . Wszystkich możliwości jest natomiast tyle, ile jest łącznie osób, a więc $n + m$.

Prawdopodobieństwem wybrania pracownika cywilnego nazywamy ułamek $\frac{m}{m + n}$, czyli stosunek liczby możliwości sprzyjających do liczby wszystkich możliwości. Jak z tego wynika prawdopodobieństwo jakiegokolwiek zdarzenia nie może być nigdy większe od jedności.

Zdarzenie, które w określonych warunkach:

- zrealizuje się zawsze - nazywamy pewnym;
- nie może zrealizować się - nazywamy niemożliwym;
- może zrealizować się lub nie - nazywamy losowym.

Prawdopodobieństwo jest charakterystyką stopnia możliwości realizacji zdarzenia w określonych warunkach, które można powtarzać dowolnie wiele razy. O prawdopodobieństwie pojawienia się jakiegoś zdarzenia można mówić tylko w ramach określonej próby. Próbę tworzą warunki doświadczenia wraz ze zbiorem wszystkich możliwych wyników. Wynikiem - nazywamy zdarzenia, które mogą zrealizować się w doświadczeniu. Doświadczeniem nazywamy proces fizyczny, w którego przebiegu realizują się /lub nie/ zdarzenia. Zdarzenie - to zjawisko, które może zrealizować się /lub nie zrealizować się/ w trakcie doświadczenia.

Prawdopodobieństwo realizacji zdarzenia A lub krócej - prawdopodobieństwo zdarzenia A oznaczamy $P\{A\}$.

Prawdopodobieństwo zdarzenia pewnego równa się jedności, zdarzenia niemożliwego - zeru. Dla każdego zdarzenia losowego A zachodzi nierówność $0 \leq P\{A\} \leq 1$.

Jeżeli wiadomo, że zdarzenie A jest pewne, to prawdopodobieństwo wynosi 1. Lecz równość $P\{B\} = 1$ nie oznacza, że zdarzenie B jest pewne. Analogicznie - dla zdarzenia niemożliwego $P\{A\} = 0$; ale jeśli $P\{A\} = 0$, to nie znaczy, że zdarzenie jest niemożliwe.

Aby zilustrować ostatnie zdanie posłużymy się następującym przykładem:

Przypuśćmy, że strzelamy do tarczy. Interesuje nas prawdopodobieństwo trafienia pociskiem w wybrany punkt tarczy. Prawdopodobieństwo takiego zdarzenia jest równe zeru, ale przecież zdarzenie takie jest możliwe.

Omówmy jeszcze jeden przykład:

Załóżmy, że w badanej wyższej szkole oficerskiej postawiono pewnego dnia 40 ocen bardzo dobrych. Przyjmijmy, że szkoła ta liczy 200 słuchaczy. Jakie jest prawdopodobieństwo, że pewien wybrany słuchacz otrzymał tego dnia ocenę bardzo dobrą?

Rozwiązując to zadanie metodą przedstawioną uprzednio /w przykładzie dotyczącym wybrania pracownika cywilnego/ otrzymujemy, że prawdopodobieństwo to wynosi $\frac{40}{200} = \frac{1}{5}$. Rozwiązanie takie opiera się jednak na dwóch założeniach, które wcale nie muszą być spełnione.

Pierwsze - to założenie, że każdy słuchacz ma takie same szanse otrzymania oceny bardzo dobrej. Tymczasem szanse te zależą od tego, czy mamy do czynienia z dobrym, czy złym studentem, od tego, jakie zajęcia na dany dzień i od innych czynników. Na przykład: grupa do której należy wybrany przez nas słuchacz, mogła danego dnia nie mieć żadnych zajęć lekcyjnych i wtedy prawdopodobieństwo otrzymania jakiegokolwiek oceny przez każdego ucznia z tej grupy jest równe zeru.

Drugie natomiast założenie polega na przyjęciu, że żaden słuchacz nie może otrzymać więcej niż jedną ocenę bardzo dobrą dziennie. Jest to oczywiście założenie fałszywe. Przyjmijmy w tym samym przykładzie inne dane liczbowe. Niech łączna liczba wystawionych ocen bardzo dobrych wynosi 250. Ponieważ słuchaczy jest 200, więc zakładając, że nikt nie może otrzymać dwóch ocen bardzo dobrych w ciągu jednego dnia, otrzymamy szukane prawdopodobieństwo, które wynosi $\frac{250}{200} = 1,25$. Jest to jednak niemożliwe, gdyż prawdopodobieństwo żadnego zdarzenia nie może być większe od jedności.

Przykład ten miał na celu nie tylko zilustrowanie sposobu obliczania prawdopodobieństwa zdarzeń, lecz również zwrócenie uwagi na to, że przy

rozwiązywaniu problemów matematycznych trzeba zawsze zwracać baczną uwagę na przyjmowane założenia, a szczególnie na te, których przez rozstrągnięcie lub lekceważenie nie formułuje się werbalnie.

Czytelnik interesujący się bardziej szczegółowo zagadnieniem prawdopodobieństwa znajdzie informacje na ten temat w pracach: [1], rozdział 2, [2], s. 20-32, [3], s. 85-118, [7], s. 43-52 i [10], s. 219-243.

2.2. Zmienna losowa

Intuicyjnie wiemy czym jest "zwykła" zmienna. Jest to pewna wielkość, która może przybierać różne wartości. Taką "zwykłą" zmienną stanowi np. czas. Jeśli dokonujemy pomiaru czasu od początku doświadczenia do pewnej chwili T z dokładnością do 1 sekundy, to zmienna "czas" przyjmuje kolejno wszystkie możliwe wartości liczbowe z przedziału $0-T$. W przykładzie tym nie można jednak mówić o prawdopodobieństwie, że zmienna przyjmie określoną wartość. Zmienna "czas" nie mogła bowiem przyjąć wartości 3 minuty po upływie np. 2 minut od początku doświadczenia. Aż do tej chwili, gdy od początku doświadczenia minęły 3 minuty, było zupełnie pewne, że zmienna "czas" nie przyjęła wartości 3 minut, następnie przez 1 sekundę było pewne, że zmienna tę właśnie wartość przyjęła, potem zaś znowu przyjęcie przez zmienną wartości 3 minut było niemożliwe. Zmienna losowa natomiast przyjmuje każdą ze swych możliwych wartości z określonym prawdopodobieństwem.

Przykładowo zmienną losową jest dochód miesięczny dowolnie wybranego oficera. Zależnie od tego, którego oficera wybierzemy zmienna losowa przyjmuje wartość większą lub mniejszą. Możliwych wartości zmiennej losowej jest tyle, ile wyróżniamy możliwych zarobków oficera. Prawdopodobieństwo zrealizowania się każdej wartości zmiennej losowej wyraża się proporcją ludzi o zarobkach mieszczących się w danej klasie wśród wszystkich badanych.

W powyższym przypadku zmienna losowa przyjmuje wartość w złotych. Istnieją jednak także zmienna losowe, dla których wartości liczbowe określać trzeba umownie. Przykładami zjawisk o charakterze losowym, dla których nie ma ujednoczonego sposobu przedstawienia liczbowego są: samopoczucie człowieka, stan zdrowia żołnierza, stan techniczny samolotu, barwa rośliny, korozja karoserii samochodu.

Zmienną losową nazywamy funkcję, której wartość zmienia się w sposób losowy od doświadczenia do doświadczenia.

W odróżnieniu od zmiennych zdeterminowanych, dla zmiennych losowych nie możemy przewidzieć dokładnie, jakie wartości przyjmą w określonych warunkach. Możemy natomiast podać rozkłady tych zmiennych.

Rozkład zmiennej losowej jest określony, jeżeli:

- znamy zbiór wszystkich możliwych wartości danej zmiennej;
- znamy metodę obliczania prawdopodobieństwa przyjmowania przez tę zmienną wartości z dowolnego podzbioru zbioru możliwych wartości.

Najogólniejszym i najpowszechniejszym sposobem określania prawdopodobieństwa przyjmowania przez zmienną losową różnych wartości jest podanie dystrybuanty tej zmiennej.

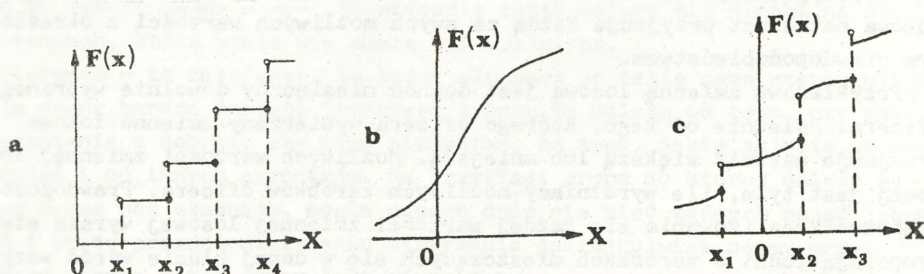
Dystrybuantą zmiennej losowej X nazywamy funkcję $F(x)$, określającą prawdopodobieństwo zdarzeń $X < x$, tzn. prawdopodobieństwo tego, że wartość zmiennej losowej X będzie mniejsza od pewnej liczby x :

$$F(x) = P \{X < x\}$$

Zmienne losowe dzieli się na dyskretne, ciągłe i mieszane. Dyskretna zmienna losowa X może przyjmować wartości tylko ze skończonego lub przeliczalnego zbioru x_1, x_2, \dots .

Zmienna losowa ciągła X może przyjmować wartości z pewnego przedziału.

Dystrybuanty zmiennych losowych dyskretnej, ciągłej i mieszanej przedstawione są na rys. 14 a, b, c.



Rys. 14. Dystrybuanty zmiennych losowych

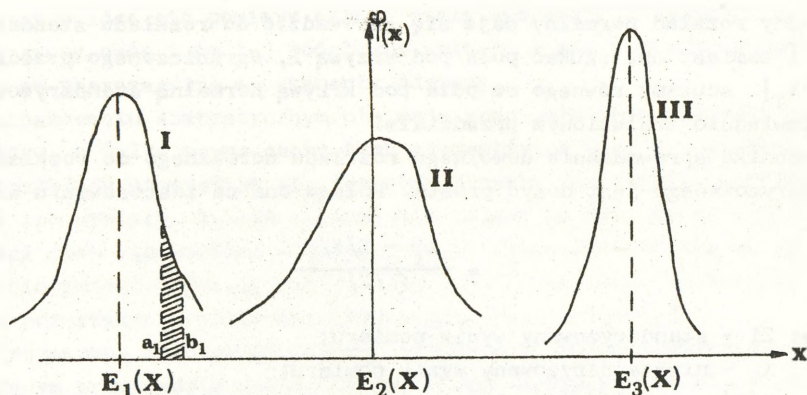
2.3. Rozkład normalny

Spośród mnogości rozkładów ciągłych spotykanych w praktyce wyodrębnić można kilka najczęściej używanych, podstawowych. Wiele pozornie różnych zagadnień, zarówno praktycznych, jak i teoretycznych, prowadzi do rozkładów: jednostajnego, wykładniczego, normalnego czy też gamma. Oczywiście nie można liczyć na to, iż rozwiązanie konkretnego problemu przez badacza wojskowego doprowadzi akurat do jednego z wymienionych rozkładów, jednak zastosowanie odpowiednich uproszczeń i aproksymacji doprowadza do modelu o typowym, dobrze znanym rozkładzie.

Rozkład normalny jest jednym z najczęściej używanych w praktyce. Jest on jednocześnie bardzo ważny z teoretycznego punktu widzenia. Zmienna losowa o rozkładzie normalnym jest modelem wielu zjawisk; poza tym rozkład normalny przybliża szeroką klasę innych rozkładów, a także jest dogodny ze względów rachunkowych.

Rozkład normalny jest rozkładem ciągłym, tzn. możliwe jest każde zdarzenie, któremu odpowiada pewien dowolny punkt na osi odciętych.

Trzy różne krzywe przedstawiające rozkład normalny przedstawiono na rys. 15.



Rys. 15. Trzy krzywe normalne

Na rys. 15 widzimy, że każda krzywa jest najwyższa w punkcie odpowiadającym wartości przeciętej rozkładu $f(x)$. Krzywa normalna jest zawsze symetryczna względem swej wartości przeciętej, a oba jej skrzydła coraz bardziej zbliżają się do osi odciętych, chociaż nigdy jej nie osiągają. Na osi rzędnych odczytujemy tzw. gęstość prawdopodobieństwa. Całe pole pod krzywą normalną jest równe jedności.

Przypuśćmy, że pewna cecha ma rozkład normalny przedstawiony w postaci krzywej I na rys. 15. Chcemy wiedzieć, jakie jest prawdopodobieństwo, że wartość tej cechy dla elementu losowego zawierać się będzie w przedziale $[a_1, b_1]$. Otóż prawdopodobieństwo to jest równe polu pod krzywą ograniczoną przez proste pionowe wystawione w punktach a_1 i b_1 .

Z rysunku 15 widać, że równym odcinkom na osi odciętych niekoniecznie odpowiadają równe pola pod krzywą. Jeśli odcinek a_1, b_1 przesuniemy w lewo tak, aby jego środek znalazł się w punkcie E_1 , wówczas pole zakreślowane będzie największe. Zwiększy się również prawdopodobieństwo wylosowania elementu, dla którego badana cecha mieścić się będzie w przedziale $[a_1, b_1]$.

Przedstawione trzy rozkłady normalne różnią się między sobą wartościami przeciętnymi i wariacjami.

Krzywa III ma największą wartość przeciętną i najmniejsze odchylenie standardowe /a więc i najmniejszą wariancję/. Największe odchylenie standardowe ma krzywa II, a jej wartość przeciętna równa się zeru. Natomiast krzywa I ma najmniejszą /ujemną/ wartość przeciętną i odchylenie standardowe pośrednie między krzywymi II i III.

Rozkład normalny standaryzowany jest to rozkład, którego wartość przeciętna równa jest zeru, a odchylenie standardowe równe jest jedności.

Każdy rozkład normalny daje się sprowadzić do rozkładu standaryzowanego i zamiast np. szukać pola pod krzywą I, ograniczonego przedziałem $[a_1, b_1]$ szukamy równego mu pola pod krzywą normalną standaryzowaną w odpowiednio znalezionym przedziale.

Technika sprowadzania dowolnego rozkładu normalnego do rozkładu standaryzowanego jest dosyć prosta. Polega ona na zastosowaniu wzoru:

$$Z_1 = \frac{X_1 - E/X/}{\sigma/X/}$$

gdzie: Z_1 - standaryzowany wynik pomiaru;

X_1 - niestandaryzowany wynik pomiaru;

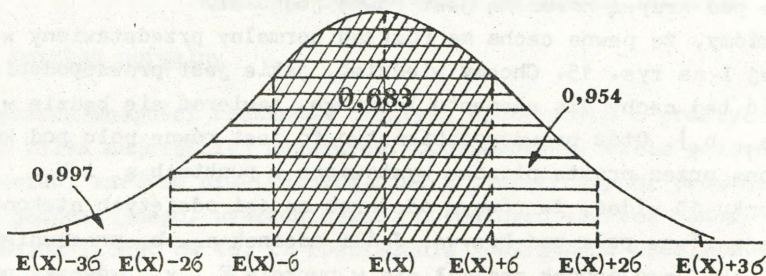
$E/X/$ - wartość przeciętna rozkładu niestandaryzowanego;

$\sigma/X/$ - odchylenie standardowe rozkładu niestandaryzowanego.

Nietrudno wykazać, że pod krzywą normalną o wartości przeciętnej $E/X/$ i odchyleniu standardowym $\sigma/X/$ w przedziale $[E/X/ - \sigma, E/X/ + \sigma]$ mieści się 0,683 pola;

w przedziale $[E/X/ - 2\sigma, E/X/ + 2\sigma]$ - 0,954 pola, zaś

w przedziale $[E/X/ - 3\sigma, E/X/ + 3\sigma]$ - 0,997 pola.



Rys. 16. Pola pod krzywą normalną w granicach kolejnych wielokrotności odchylenia standardowego

Przystępne i ciekawe omówienie rozkładu normalnego znajdzie czytelnik w [10], s. 244-262.

3. Metody statystyczne

Zagadnienia statystyki matematycznej pojawiają się tam, gdzie na podstawie informacji uzyskanej dla zbadanego zespołu elementów pochodzących z pewnego zbioru chcemy uzyskać umotywowane informacje o wszystkich elementach należących do tego zbioru.

Przykładowo: dla przeprowadzenia badań potrzebnych w przemyśle odzieżowym przeprowadza się pomiary części ciała wybranej, stosunkowo niewielkiej grupy osób i na tej podstawie wnioskuje się o zapotrzebowaniu na rynku na poszczególne asortymenty odzieży.

We wnioskowaniu statystycznym nie mają znaczenia same elementy badanego zbioru, a tylko pewne cechy tych elementów; a więc w przypadku podanego przykładu statystyka nie interesują osoby jako takie, a tylko niektóre ich wymiary. Istota zagadnienia polega na tym, że na podstawie znajomości cech odpowiednio wybranej części elementów należących do pewnej zbiorowości będziemy wysnuwali wnioski dotyczące rozważanych cech dla pozostałych, nieznanych elementów tej zbiorowości.

Całą rozważaną zbiorowość nazywać będziemy populacją generalną.

W podanym przykładzie populacją generalną jest zbiór potencjalnych nabywców odzieży.

Każdy zespół elementów wylosowanych z populacji generalnej nazywamy próbką.

Zakładamy przy tym, że losowanie odbywa się zgodnie z rozkładem równomiernym, a więc skład próbki jest przypadkowy. Zakładamy również, że populacja generalna jest dostatecznie liczna, tzn. że w wyniku pobierania próbki nie zmienia się rozkład badanej cechy w populacji. Nie istnieje jednak ogólne kryterium, które by uniemożliwiało stwierdzenie, czy próba o danej liczebności jest duża, czy mała. Jest naturalnym oczekiwaniem, że wraz ze wzrostem liczebności próbki powinno się otrzymywać coraz wierniejszy obraz populacji generalnej. Udowodnić można, że takie parametry empiryczne, jak wartość przeciętna, wariancja są zbieżne z prawdopodobieństwem 1 do wartości przeciętnej, wariancji rozważanej cechy elementów populacji generalnej.

W niniejszym opracowaniu zajmiemy się tylko jednym typem zagadnień statystycznych, a mianowicie wiarygodnością wnioskowania statystycznego. Interesujący jest problem, w jakim stopniu wyniki badań próby upoważniają do formułowania pewnych twierdzeń dotyczących całej populacji.

Omówimy krótko trzy różne podejścia do zagadnienia weryfikacji wniosków statystycznych: znajdowanie błędu standardowego, znajdowanie przedziału ufności i weryfikację hipotezy statystycznej. Obliczanie błędu standardowego daje nam pewien przedział, w którym z określonym prawdopodobieństwem leży wartość parametru w populacji.

Wyznaczanie przedziału ufności prowadzi również do ustalenia pewnego przedziału, jednak prawdopodobieństwo, że pokrywa on nieznaną wartość parametru w populacji możemy sobie dowolnie obrać.

Natomiast metoda weryfikacji hipotez statystycznych pozwala na stwierdzenie, czy pewna hipoteza dotycząca wartości parametru statystycznego w populacji powinna być odrzucona, czy też nie ma podstaw do jej odrzucenia /licząc się przy tym z pewnym prawdopodobieństwem, że decyzja o odrzuceniu hipotezy będzie błędna/.

Przypuśćmy, że badamy inteligencję dwóch grup słuchaczy z dwóch różnych wyższych szkół oficerskich. Jeżeli zależy nam tylko na porównaniu przeciętnego ilorazu inteligencji w tych właśnie grupach, to obliczamy wartości przeciętne wyników testu inteligencji dla obu grup i porównujemy je. W tej sytuacji nie istnieje problem weryfikacji wniosków statystycznych. Problem tej powstaje wówczas, gdy te dwie badane grupy chcemy traktować jako reprezentację pewnych dwóch populacji /np. jedna grupa to słuchacze, którzy poprzednio byli w jednostkach wojskowych, druga - to ci, którzy nie byli/ i chcemy, by ostateczne wnioski z badań dotyczyły populacji, a nie badanych grup.

Obliczając błąd standardowy otrzymamy dla każdego przeciętnego ilorazu inteligencji przedział, w którym z określonym prawdopodobieństwem mieści się przeciętny iloraz inteligencji w odpowiedniej populacji. Jeżeli przedziały nie pokrywają się ze sobą, wówczas /z pewnym prawdopodobieństwem błędności tej decyzji/ uznać możemy, że w jednej populacji przeciętny iloraz inteligencji jest wyższy niż w drugiej. Jeżeli obliczymy przedziały ufności dla obu średnich i przedziały te nie pokrywają się ze sobą wniosek będzie taki sam, z tą różnicą, że prawdopodobieństwo błędności decyzji możemy dowolnie kształtować.

Trzecie podejście polega na tym, że stawiamy pewną hipotezę /tzw. hipotezę zerową/ głoszącą, że wartości przeciętne w obu populacjach są sobie równe. Jeżeli w wyniku określonej procedury uda się nam tę hipotezę odrzucić, będzie to oznaczało, że średnia w jednej populacji jest wyższa niż w drugiej.

3.1. Błąd standardowy

Przypuśćmy, że pobieramy z populacji próbę o liczebności z góry ustalonej, a następnie obliczamy wartość przeciętną pewnej cechy /średnią z próby/. Bardzo mało prawdopodobne jest, że średnia z próby będzie równa dokładnie średniej w populacji, a nawet gdyby tak było, nigdy się o tym nie dowiemy, gdyż nie będziemy przeprowadzali badania całej populacji. Nie wiemy też o ile średnia z próby odchyła się od średniej z populacji. Gdybyśmy pobrali próbę zupełnie inną, otrzymalibyśmy inną średnią z tej próby. Możemy w ten sposób pobierać próbę bardzo wiele razy i za każdym razem średnia z próby będzie nieco inna, jednak w całości różnice nie będą wielkie. Uzyskamy w ten sposób wiele średnich i będziemy mogli sporządzić wykres obrazujący częstotliwość pojawiania się średniej o danej wartości. Będzie to rozkład średniej z próby. Średnia z próby jest też zmienną losową posiadającą swój rozkład prawdopodobieństwa, swoje odchylenie standardowe i swoją wartość przeciętną. Średnią z próby można traktować jako zmienną losową, gdyż wartość jej zależy od tego, które elementy populacji wejdą do próby, próba zaś dobierana jest losowo.

Można udowodnić, że jeśli rozkład cechy w populacji jest normalny, to rozkład średniej z próby również jest normalny. Przy tym wartość przeciętna średniej z próby równa jest wartości przeciętnej w całej populacji, natomiast odchylenie standardowe rozkładu średniej z próby jest tym mniejsze od odchylenia standardowego cechy w populacji, im liczniejsza jest próba. Możemy ten fakt wyrazić w postaci następującego twierdzenia: Jeśli rozkład cechy w populacji jest normalny, ma średnią M i odchylenie standardowe σ , to rozkład średniej z próby jest również normalny, ma średnią M i odchylenie standardowe $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, gdzie n oznacza liczebność próby.

Błąd standardowy jest miernikiem odchylenia wartości parametru otrzymanego z próby od wartości tego parametru w populacji. Błąd standardowy średniej z próby wynosi $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$. Oznacza to, że:

1. Wartość przeciętna w populacji z prawdopodobieństwem 0,683 nie odbiega od średniej z próby więcej niż o wielkość błęd standardowego, σ .
2. Wartość przeciętna w populacji z prawdopodobieństwem 0,954 nie odbiega od średniej z próby więcej niż o dwukrotną wartość błęd standardowego, 2σ .
3. Wartość przeciętna w populacji z prawdopodobieństwem 0,997 nie odbiega od średniej z próby więcej niż o trzykrotną wielkość błęd standardowego, 3σ .

Na zakończenie zauważmy, że we wzorze na błąd standardowy średniej z próby wielkości n /liczebność próby/ występuje w mianowniku. Im większa jest próba, tym mniejszy jest więc błąd standardowy. Jeśli próba jest bardzo duża, błąd standardowy zbliża się do zera. Jest to zrozumiałe, gdyż bardzo liczna próba niezbyt różni się od obliczania średniej z całej populacji, a więc błąd obliczenia powinien być bliski zeru.

Można też obliczyć błędy standardowe innych parametrów statystycznych. Ogólne omówienie tej problematyki znajdzie Czytelnik w: [11], s.561-577 i [12], s. 393-460.

3.2. Przedziały ufności

Obliczając błąd standardowy mogliśmy podać przedziały odpowiadające trzem ustalonym prawdopodobieństwom /0,683; 0,954; 0,997/. Obliczając przedział ufności ustalamy to prawdopodobieństwo dowolnie, a następnie wyznaczamy odpowiadający mu przedział. A więc obliczanie przedziału ufności jest pewnym uogólnieniem podejścia stosowanego poprzednio.

Prawdopodobieństwo pokrywania przez wyznaczony przedział nieznannej wartości parametru w populacji nazywa się poziomem ufności. Poziom ufności oznaczamy $1 - \alpha$. Znaczenie wielkości α zostanie wyjaśnione w punkcie poświęconym weryfikacji hipotez statystycznych.

We wzorach podających granice przedziału ufności występuje wielkość Z_α . Jej wartość odczytujemy w tablicach; jest to taki wynik standaryzowany, że pole pod krzywą w przedziale $[-Z_\alpha, +Z_\alpha]$ wynosi $1 - \alpha$. Dla $1 - \alpha = 0,683$ $Z_\alpha = 1$.

Omówiony zostanie sposób znajdowania przedziału ufności dla wartości przeciętnej. Przedział ufności dla wartości przeciętnej w populacji obliczamy ze wzoru:

$$\left(\bar{X} - Z_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{X} + Z_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right),$$

gdzie: \bar{X} - średnia z próby;

σ - odchylenie standardowe cechy w populacji; które dla dużych prób możemy uznać za odchylenie standardowe cechy w próbie;

n - liczebność próby;

Z_α - wielkość zależna od przyjętego poziomu ufności.

Zwykle oblicza się przedziały ufności na poziomie 90%, 95%, 99% i 99,9%. Wartości Z_α dla tych czterech poziomów ufności równe są odpowiednio 1,65; 1,96; 2,58 i 3,27. Można je jednak stosować tylko wtedy, gdy rozkład parametru z próby jest rozkładem normalnym /nie wystarcza tu, aby rozkład cechy w populacji był rozkładem normalnym/.

Jeżeli szukamy przedziału ufności dla średniej z próby małej $n < 30$, musimy już korzystać z innych wartości Z_{α} i innego sposobu obliczania przedziału ufności niż przedstawiony powyżej.

Dokładniejsze omówienie tych problemów można znaleźć w literaturze [3], rozdz. 9, [4], ss. 19-25, 31-34, 36-40.

3.3. Weryfikacja hipotez statystycznych

Procedurę weryfikacji hipotez można przedstawić następująco:

Formułujemy pewną hipotezę badawczą dotyczącą wartości średniej w populacji. Jeżeli stwierdzimy, że przy założeniu słuszności tej hipotezy prawdopodobieństwo otrzymania takiej średniej z próby, jaką otrzymaliśmy, jest b.małe - to odrzucamy tę hipotezę i przyjmujemy inną, głoszącą, że średnia w populacji ma wartość bliższą średniej otrzymanej z próby, niż zakładaliśmy poprzednio. Tę pierwszą hipotezę nazywamy hipotezą zerową. Hipotezę zerową można albo odrzucić, albo nie odrzucić /co jeszcze nie oznacza jej przyjęcia/. Tę drugą nazywamy hipotezę alternatywną. Hipotezę alternatywną przyjmuje się po odrzuceniu hipotezy zerowej. Procedura weryfikacji hipotez umożliwia przede wszystkim odrzucenie hipotezy zerowej. Przyjęcie bądź nie przyjęcie hipotezy alternatywnej jest zawsze wtórne w stosunku do odrzucenia lub nie odrzucenia hipotezy zerowej. Przyjmowana hipoteza alternatywna może być różnie formułowana. Hipotezę zerową odrzucamy, gdy prawdopodobieństwo otrzymania takiej wartości parametru z próby, jaką otrzymaliśmy, jest przy założeniu słuszności hipotezy zerowej bardzo małe. Bardzo małe - to znaczy mniejsze od pewnej z góry ustalonej liczby zwanej poziomem istotności. Poziom istotności oznaczamy symbolem α . Jest to ta sama wielkość, która występowała w oznaczeniu poziomu ufności, $1 - \alpha$. Jest to prawdopodobieństwo, że zmienna losowa o rozkładzie normalnym przyjmuje wartość większą od pewnej określonej liczby.

W celu zrozumienia praktycznego zastosowania omówionej procedury posłużmy się następującym przykładem.

Badamy liczbę przepustek wydanych w określonym czasie 30 żołnierzom losowo wybranym w pewnym pułku. Stwierdzono, że wartość przeciętna liczby wydanych przepustek wynosi 7,5, a odchylenie standardowe 3,3. W badanym okresie żołnierze powinni otrzymać 5 przepustek. Czy można uznać, że w populacji, z której wylosowano 30 żołnierzy liczba otrzymanych przepustek przekracza stan zalecony? Stawiamy hipotezę zerową $M = 5$. Hipotezę tę weryfikujemy na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Rozważając błąd standardowy doszliśmy do wniosku, że jeśli wartość przeciętna w populacji $M = 5$, to rozkład średniej z próby ma również

wartość przeciętną równą 5, zaś jego odchylenie standardowe wynosi $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ /pamiętając, że jest to słuszne tylko wtedy, gdy rozkład cechy w populacji jest normalny/. W naszym przykładzie odchylenie standardowe rozkładu średniej próby wynosi więc

$$\frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{3,3}{\sqrt{30}} = 0,6$$

Jeśli więc hipoteza zerowa jest słuszna, to prawdopodobieństwo otrzymania średniej z próby znajdującej się poza przedziałem: $/5 \pm 1,96 \cdot 0,6, 5 + 1,96 \cdot 0,6/ = /3,8; 6,2/$ wynosi 5%. Ponieważ rozkład normalny jest symetryczny, więc prawdopodobieństwa, że średnia z próby będzie większa od 6,2 i że będzie ona mniejsza od 3,8 są równe i wynoszą 2,5%. W badaniach otrzymaliśmy średnią z próby większą niż 6,8, gdyż wynosiła ona $\bar{X} = 7,5$. Tym samym przyjmując, że wartość przeciętna w populacji wynosi $M = 5$, musielibyśmy przyjąć, że w badaniach zrealizowało się zdarzenie bardzo mało prawdopodobne. Odrzucamy więc hipotezę zerową $M = 5$ i przyjmujemy hipotezę alternatywną, że wartość przeciętna w populacji jest większa od 5.

Zastanówmy się nad konsekwencjami wyboru danego poziomu istotności. Najczęściej przyjmuje się poziomy istotności 0,10; 0,05; 0,01; 0,001.

Stwierdziliśmy poprzednio, że hipotezę odrzucamy wówczas, gdy prawdopodobieństwo otrzymania takiej wartości parametru, jaką otrzymaliśmy, jest mniejsze od poziomu istotności. Jeśli więc będziemy stale weryfikowali hipotezę zerową na poziomie istotności $\alpha = 0,05$, to w 5 przypadkach na 100 będziemy mieli do czynienia z taką sytuacją, że hipoteza zerowa jest słuszna, a prawdopodobieństwo otrzymania takiej średniej z próby, jaką otrzymaliśmy jest mniejsza od poziomu istotności. Innymi słowy w 5 przypadkach na 100 będziemy odrzucali hipotezę zerową, pomimo że jest ona prawdziwa.

Im niższy jest poziom istotności, tym szerszy jest przedział wartości standaryzowanej średniej z próby, przy którym hipotezy zerowej nie odrzucamy. Im mniejszą liczbą wyraża się więc poziom istotności, tym większe jest prawdopodobieństwo, że hipotezy zerowej nie odrzucimy, pomimo, że jest ona fałszywa.

Szczegółowe omówienie weryfikacji hipotez statystycznych znajdzie Czytelnik w: [3], rozdz. 9-11, [12], ss. 374-460; 480-503. Weryfikować można hipotezy dotyczące również i innych parametrów statystycznych. Omówienie sposobu weryfikacji hipotezy dotyczącej wartości proporcji w populacji znajduje się w [3], s. 278-281. Metody tam podane dają się zastosować wówczas, gdy próba jest duża. Weryfikacja hipotezy o wartości proporcji dla małych prób wymaga znajomości rozkładu dwumianowego. Można również

weryfikować hipotezy dotyczące różnicy między proporcjami. Analogicznie jak przy weryfikacji różnicy pomiędzy średnimi odrzucenie takiej hipotezy oznacza, że proporcja elementów posiadających pewną szczególną cechę jest w jednej populacji wyższa niż w drugiej. Informacje na ten temat znajdzie Czytelnik w: [3], s. 281-287, [4], s. 77-79. Istnieje też test pozwalający zweryfikować hipotezę równości wielu średnich. Opiera się on na analizie wariancji i omówiony jest w [3], s. 296-299, [4], s. 97-103.

Można również weryfikować hipotezy dotyczące wariancji. Weryfikowanie hipotezy o wartości wariancji omówione jest w [3], s. 259-268, [4], s. 82-84.

Weryfikowanie hipotezy o równości wielu wariancji, tj. o jednorodności wielu populacji, z których pobrano próby, znajduje się w [4], s. 90-96; jest to tzw. test Bartletta. Jeśli zaś chcemy porównać wariancje dwóch populacji, najwygodniej jest zastosować test omówiony w: [4], s. 86-88.

4. Procesy stochastyczne

W poprzednich podrozdziałach omawiane były zmienne losowe, przyporządkowujące zdarzeniu elementarnemu układ n liczb. W praktyce niejednokrotnie spotykamy się z bardziej skomplikowanymi tworem losowymi, których realizacjami są funkcje. I tak np. liczba rozmów telefonicznych w Warszawie w ciągu czasu t jest dla pewnej ustalonej wartości t zmienną losową, ale liczba tych rozmów rozpatrywana jako funkcja czasu, tj. jako funkcja argumentu t przy t przebiegającym pewien przedział, jest funkcją losową.

Zużycie wody w Warszawie w określonej godzinie jest zmienną losową, ale zużycie wody w przeciągu dłuższego czasu, rozpatrywane jako funkcja czasu, jest funkcją losową. Tak rozszerzony rachunek prawdopodobieństwa nosi nazwę teorii procesów stochastycznych.

Procesem stochastycznym nazywamy zbiór zmiennych losowych X zależnych od parametru t , gdzie t należy do pewnego zbioru I liczb rzeczywistych. Proces stochastyczny zaznaczamy symbolem $\{X_t, t \in I\}$. Parametr t będziemy traktowali jako czas.

Nadmienić należy, że w wielu zagadnieniach teorii procesów stochastycznych parametr t jest naprawdę czasem, w którym przebiega dane zjawisko. Możliwe są jednak i inne sytuacje: bądź takie, w których parametr t oznacza nie czas, lecz inną wielkość fizyczną /np. przestrzeń, w której proces przebiega/, bądź takie, w których parametr t nie ma realnego sensu fizycznego.

Z punktu widzenia praktyki pojęcie procesu stochastycznego jest bardzo ważne. Przykładem procesów stochastycznych w otaczającej nas rzeczy-

wistości jest b.wiele zjawisk, których przebiegu w czasie nie potrafimy z góry dokładnie zdeterminować, czyli podać ich dokładnej liczbowej charakterystyki w dowolnym przyszłym momencie czasu.

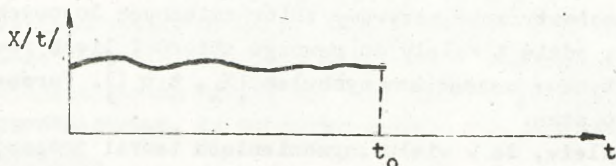
Nietrudno jest wymienić wiele przykładów procesów stochastycznych, na przykład ciśnienie atmosferyczne mierzone w określonym punkcie kuli ziemskiej, liczba żołnierzy przebywających na przepustce, liczba żołnierzy chorych, liczba wypadków drogowych na terenie pewnego województwa itd. rozpatrywane jako funkcja czasu /i zdarzenia elementarnego ω / są również procesami stochastycznymi. Wszystkie wymienione wielkości ulegają pewnym zmianom z upływem czasu, zmiany te mają charakter losowy /przypadkowy/. Można powiedzieć, że są to procesy losowe /przyjęto nazwę procesy stochastyczne/ zależne od nielosowego paramteru t .

W celu lepszej ilustracji omawianych zagadnień posłużmy się dwoma przykładami.

Przykład 1

Na stacji analizy skażeń aparatura rejestruje w sposób ciągły stopień napromieniowania X . Napromieniowanie X jest funkcją dwu zmiennych: czasu t i zdarzenia elementarnego ω . Oznaczmy przez t_0 chwilę bieżącą. Na podstawie informacji uzyskanych z aparatury możemy powiedzieć, że znamy przeszłość, znamy więc X_t dla $t < t_0$, natomiast nie znamy przyszłości.

Podawać można prognozy dotyczące X_t dla $t > t_0$, ale są to tylko prognozy i ich dokładność maleje wraz ze wzrostem różnicy $t-t_0$. Dla każdego ustalonego $t > t_0$ napromieniowanie X_t jest zmienną losową. Nie mamy możliwości dokładnie określić ile będzie ono wynosiło w przyszłości, zależy to bowiem od wielu czynników losowych, których łączne zrealizowanie oznaczyć można jako pewne ω . Napromieniowanie X rozważane jako funkcja dwu zmiennych: czasu t i zdarzenia elementarnego ω jest procesem stochastycznym.



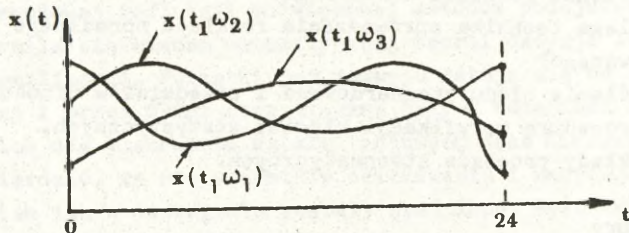
W przypadku tym mamy możliwość obserwowania tylko jednej realizacji trwającej, teoretycznie rzecz biorąc, nieskończenie długo.

Podany przykład możemy w pewien sposób zmodyfikować zmieniając interpretację przedziału czasu.

Przykład 2

Każdego dnia na stacji analizy skażeń aparatura rejestruje w sposób ciągły stopień napromieniowania. Niech jak poprzednio X oznacza napromieniowanie, ale teraz parametr czasu jest ograniczony przedziałem dobowym, tzn. $t \in [0, 24]$. Gdybyśmy wybrali pewną ustaloną porę dnia np. 12.00 i interesowało nas napromieniowanie w przyszłych dniach o godz. 12.00 wówczas X_{12} charakteryzujące napromieniowanie o godz. 12.00 byłoby zmienną losową, natomiast napromieniowanie X byłoby procesem stochastycznym.

Realizacją procesu stochastycznego jest stopień napromieniowania rejestrowany każdego dnia w przedziale czasu $[0, 24]$. Zaistniałe dane-go dnia warunki odpowiadają zdeterminowaniu ω . Poniżej przedstawione są przykłady trzech realizacji odpowiadających trzem ω , czyli trzem wybranym dobom.



Prowadząc obserwacje przez wiele dni mamy możliwość zaobserwowania wielu realizacji rozważanego procesu, z których każda jest określona na odcinku czasu równym 24 godziny.

W literaturze opisane są różne procesy stochastyczne; wydaje się jednak, że najbardziej powszechne są procesy Markowa, odgrywające dużą rolę w teorii i zastosowaniach praktycznych. Proces Markowa posiada własność, którą scharakteryzować można następująco: stan procesu w chwili t_{n+1} zależy tylko od stanu procesu w chwili t_n i nie zależy od stanów procesu we wszystkich chwilach t_1, t_2, \dots, t_{n-1} poprzedzających chwilę t_n . Nazywając stan procesu stochastycznego w chwili t_{n+1} przyszłością, w chwili t_n - teraźniejszością, w chwilach t_1, t_2, \dots, t_{n-1} przeszłością można stwierdzić, że proces Markowa jest to taki proces stochastyczny, dla którego przyszłość zależy tylko od teraźniejszości i nie zależy od przeszłości.

W odniesieniu do wielu zagadnień praktycznych przyjmuje się, że rozważane procesy stochastyczne są procesami Markowa. Pamiętać należy jednak i o tym, że traktowanie danego procesu stochastycznego jako procesu Markowa może wiązać się z popełnianiem dość istotnych błędów. Niemniej jednak wiele zjawisk da się w przybliżeniu opisać za pomocą teorii proce-

sów Markowa. Teoria procesów Markowa znalazła szerokie zastosowanie w rozpatrywaniu zagadnień masowej obsługi.

Znane są również inne procesy stochastyczne, jak np. jednorodny proces Poissona, proces Furry'ego-Yule'a, procesy urodzeń i śmierci, proces Pólya, proces ruchu Browna /nazywamy także procesem Wienera/.

Szczegółowe opisy powyższych procesów stochastycznych znajdzie Czytelnik w: [2], s. 285-342, [7], s. 100-101.

Pytania kontrolne

1. Wyjaśnić pojęcia: prawdopodobieństwo, probabilistyka.
2. Co to są zdarzenia pewne, a co zdarzenia niemożliwe?
3. W jaki sposób można określać rozkład zmiennej losowej?
4. Podać określenie rozkładu normalnego.
5. Na czym polega technika sprowadzania rozkładu normalnego do rozkładu standaryzowanego?
6. Podać określenia błędu standardowego i przedziałów ufności.
7. Wyjaśnić procedurę weryfikacji hipotez statystycznych.
8. Podać przykłady procesów stochastycznych.

Wykaz literatury

1. J.R.Benjamin, C.A.Cornell, Rachunek prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna i teoria decyzji dla inżynierów. WNT, Warszawa 1977.
2. M.Fisz, Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna. PWN, Warszawa 1969.
3. J.E.Freund, Podstawy nowoczesnej statystyki. PWE, Warszawa 1968.
4. J.Greń, Modele i zadania statystyki matematycznej. PWN, Warszawa 1968.
5. O.Lange, A.Banasiński, Teoria statystyki. PWE, Warszawa 1968.
6. W.Oktaba, E.Niedokos, Matematyka i podstawy statystyki matematycznej. PWN, Warszawa 1974.
7. A.Pacut, Prawdopodobieństwo. Teoria. Modelowanie probabilistyczne w technice. WNT, Warszawa 1985.
8. Rachunek prawdopodobieństwa, podręcznik. MON, Warszawa 1969.
9. Rachunek probabilistyczny, poradnik. MON, Warszawa 1973.
10. W.J.Reichmann, Drogi i bezdroża statystyki. PWN, Warszawa 1968.
11. S.Szulc, Metody statystyczne. PWE. Warszawa 1968.
12. G.V.Yule, M.G.Kendall, Wstęp do teorii statystyki. PWN, Warszawa 1966.
13. W.Zaczyński, Praca badawcza nauczyciela. PWN, Warszawa 1968.

VII. MODELE DECYZYJNE

1. Geneza

Obszar naukowej refleksji poświęconej metodom podejmowania optymalnych decyzji określa się mianem matematycznej teorii decyzji lub, po prostu, teorii optymalizacji. Początki jej rozwoju datują się od okresu II wojny światowej i przez długi czas wiązane były z badaniami operacyjnymi. Znaczenie ich dla planowania działań bojowych jest niekwestionowane, lecz należy stwierdzić, że nie wszystkie oczekiwania i nadzieje związane z zastosowaniem ich w dowodzeniu zostały spełnione. Było to często wynikiem niepełnej znajomości specyfiki, wymagań i ograniczeń samych metod. Wymagały one bowiem nie tylko znajomości techniki postępowania, lecz przede wszystkim umiejętności formułowania taktyczno-operacyjnych zadań decyzyjnych w języku matematyki. Ponadto wiele sytuacji decyzyjnych w dowodzeniu, bądź nie zdaje się wyrazić w kategoriach optymalizacji, bądź sformalizowanie nie jest adekwatne do sytuacji realnej /zawiera niedopuszczalne uproszczenia/.

Najogólniej biorąc można wyróżnić dwa podstawowe ujęcia problematyki decyzyjnej: ujęcie normatywne i ujęcie opisowo-wyjaśniające. Teorie normatywne odpowiadają na pytanie: jak należy podejmować decyzje, na ogół przy założeniu racjonalności decydentów. Teorie te charakteryzuje zwykle dedukcyjne postępowanie badawcze, tj. od ogólnych, abstrakcyjnych założeń /niekiedy o charakterze aksjomatycznym/ przechodzi się do formułowania prawidłowości coraz bardziej szczegółowych, aż do konkretnych wskazań i technik. Ich walory praktyczne polegają na tym, że uczą ogólnych zasad podejmowania decyzji i szczegółowych technik rozwiązywania zadań decyzyjnych.

Teorie opisowo-wyjaśniające dążą do odpowiedzi na pytanie: jak podejmuje się decyzje, oraz dlaczego właśnie tak? Przyjmują one z kolei, indukcyjny tryb postępowania: badają przypadki empiryczne, a następnie

przechodzą na wyższy poziom ogólności. Wydaje się, że właśnie to postępowanie dominuje obecnie w, rzadkich jeszcze, badaniach naukowych nad procesami podejmowania decyzji dowódczych.

Podstawą ogólnego modelu w tzw. teoriach normatywnych jest 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 elementem /podzbiorem/ zbioru alternatyw dopuszczalnych /możliwych/;

- sposób wyznaczania tego podzbioru zależy od ogólnego kryterium rozwiązywania zadania decyzyjnego akceptowanego i stosowanego przez decydenta;

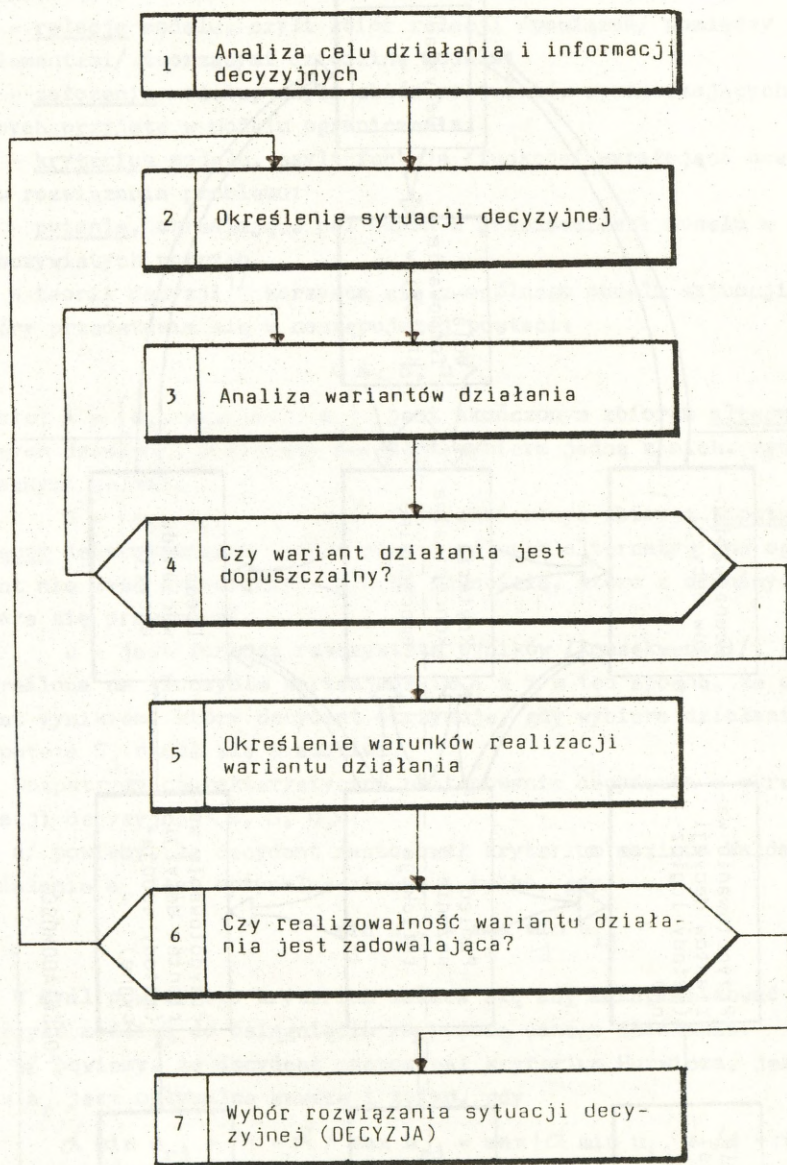
- określone zadanie może być rozwiązywane w różnorodny sposób przez różne podmioty, a wszystkie te decyzje, reprezentowane przez różne podzbiory zbioru alternatyw mogą być racjonalne;

- racjonalna decyzja jest zależna od poziomu informacji dostępnych podmiotowi - decydentowi.

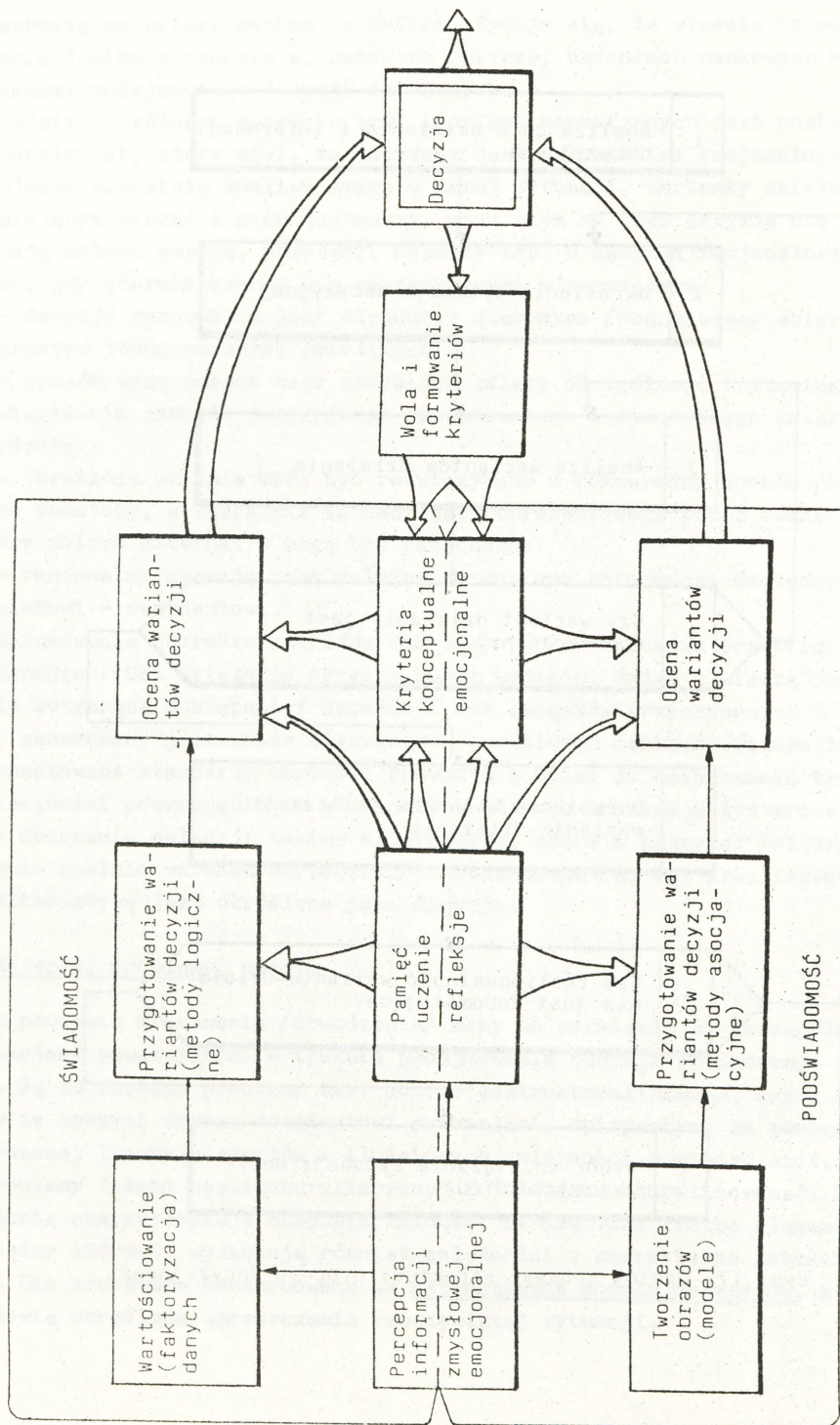
Rozumowanie charakterystyczne dla tego punktu widzenia przebiega następująco: Cel działania określa punkt wyjścia. Razem z wiedzą podmiotu dotyczącą dostępności działań i ich związków przyczynowych z celem, generowany jest zbiór alternatyw - możliwych działań. Wiedza i zaakceptowane standardy wartości prowadzą z kolei do oszacowania tzw. użyteczności poszczególnych alternatyw. Głównym krokiem w tym procesie jest dokonanie selekcji takiej alternatywy, która w najwyższej pożądanym stopniu spełnia warunek użyteczności. Postanowienie, aby zrealizować tę alternatywę jest określane jako decyzja.

2. Pojęcia, problemy, modele

W procesie kierowania /dowodzenia/ mamy do czynienia ze szczególnymi sytuacjami powstającymi w trakcie podejmowania decyzji /świadomego wyboru/. Są to zarówno problemy tzw. dobrze zestrukturalizowane, czyli związane ze znanymi dobrze decydentowi sytuacjami, opisywanymi za pomocą skończonej liczby elementów i ilościowych zależności pomiędzy nimi, jak i problemy "słabo zestrukturalizowane" i "niezestrukturalizowane". Te ostatnie charakteryzuje niepowtarzalność, bardzo duża liczba elementów, pomiędzy którymi występują również zależności o charakterze jakościowym. Dla problemów konstruowane są matematyczne modele decyzyjne, które stanowią określone uproszczenie rzeczywistej sytuacji.



Rys. 17. Ogólny schemat struktury procesu decyzyjnego



Rys. 18. Ogólny model procesu decyzyjnego

Najogólniej matematyczny model decyzyjny tworzą następujące elementy:

- dziedzina modelu, czyli zbiór cech /elementów/ istotnych dla problemu;
- relacje modelu, czyli zbiór relacji /powiązań/ pomiędzy cechami /elementami/ tworzącymi dziedzinę modelu;
- założenia modelu, czyli zbiór postulatów upraszczających, wyrażających przyjęte w modelu ograniczenia;
- kryterium modelu, czyli funkcja /funkcje/ wyrażająca ocenę wariantów rozwiązania problemu;
- pytanie, określające cel badań i przeznaczenie modelu w aspekcie rzeczywistych potrzeb.

W teorii decyzji^{1/} korzysta się z ogólnego modelu sytuacji decyzyjnej, który przedstawia się w następującej postaci:

$$\langle A, S, u \rangle$$

gdzie: $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ jest skończonym zbiorem alternatyw /możliwych działań/, z którego decydent wybiera jedną z nich, zgodnie z własnymi celami.

$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ jest skończonym zbiorem hipotez o stanie rzeczy determinującym wyniki poszczególnych alternatyw /na ogół decydent nie może przewidzieć z całą pewnością, która z odnośnych hipotez okaże się prawdziwa/.

u - jest funkcją rzeczywistą wyników /konsekwencji/, która jest określona na iloczynie kartezjańskim $A \times S$ w ten sposób, że $u/a_i, s_j = u_{ij}$ jest wynikiem, który decydent otrzymuje, gdy wybiera działanie a_i i hipoteza S_j okaże się prawdziwa.

Rozpatrzmy charakterystyczne postępowanie decydenta w określonej sytuacji decyzyjnej $\langle A, S, u \rangle$:

a/ powiemy, że decydent zastosował kryterium maximum Walda, jeżeli działanie a_r jest optymalne zawsze i tylko, gdy

$$\min_j u_{rj} = \max_i \min_j u_{ij}$$

W myśl powyższego kryterium zaleca się aby maksymalizować minimalną korzyść możliwą do osiągnięcia za pomocą danego działania.

b/ powiemy, że decydent zastosował kryterium Hurwicza, jeżeli działanie a_r jest optymalne zawsze i tylko, gdy

$$\alpha \min_j u_{rj} + (1 - \alpha) \max_j u_{rj} = \max_j [\alpha \min_j u_{ij} + (1 - \alpha) \max_j u_{ij}]$$

1/ Np. J.Kozielecki, Psychologiczna teoria decyzji. PWN, Warszawa 1977.

W myśl tego kryterium zaleca się, aby maksymalizować sumę ważoną najmniejszej i największej korzyści osiągalnej przy podjęciu danego działania. Współczynnik określa się jako współczynnik pesymizmu $0 \leq \alpha \leq 1$, czyli im większe α ,^{2/} w tym większym stopniu decydent liczy się z ewentualnością najgorszą.

Powyższy przykład ilustrował taki model decyzyjny, w którym rozpatruje się wpływ postępowania decydeny na wybór działania najkorzystniejszego. Wpływu tego nie uwzględnia się w popularnych /m.in. dzięki badaniom operacyjnym/ modelach optymalizacyjnych.

Ogólnie należy stwierdzić, że problem optymalizacji polega na podaniu zbioru X i pewnej funkcji F określonej na tym zbiorze oraz na poszukiwaniu takiego x^* , że

$$\bigwedge_{x \in X} x^* \in X \quad F/x/ \leq F/x^*/$$

Problem ten możemy przedstawić w następującej ścisłej postaci matematycznej:

Niech dane będą funkcje

$$F: R^n \rightarrow R^1$$

oraz

$$G_i: R^n \rightarrow R^1, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

gdzie R^n oznacza n -wymiarową przestrzeń liczb rzeczywistych / $n = 1, 2, \dots$ /. Jeżeli problem sprowadzimy do poszukiwania ekstremum warunkowego funkcji F , to otrzymujemy tzw. zadanie programowania matematycznego.

Zadanie programowania matematycznego polega na znalezieniu n -wymiarowego wektora x^* należącego do zbioru

$$X_0 = \{x: G_i/x/ \leq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m\}$$

takiego, że dla każdego $x \in X_0$

$$F/x^*/ \leq F/x/$$

co jest równoważne poszukiwaniu^{3/} $\min_{x \in X_0} F/x/$

przy czym: F - nazywamy funkcją celu /funkcją kryterialną, funkcją efektywności, jakości itp./;

G_i - nazywamy funkcją ograniczeń;

X_0 - nazywamy zbiorem rozwiązań dopuszczalnych.

2/ Oprócz kryteriów Walda i Hurwicza istnieje jeszcze kilka innych, jak np. kryterium Laplace'a, Savage'a itp.

3/ Zadanie to można sprowadzić także do zadania maksymalizacji, gdyż $\max F/x/ = - \min [-F/x/]$.

Ze względu na charakter funkcji F i G wyróżnia się pewne charakterystyczne przypadki:

a/ jeżeli funkcje F i G_1 są funkcjami liniowymi, to otrzymujemy zadanie programowania liniowego;

b/ jeżeli którakolwiek chociaż z funkcji F i G_1 jest funkcją nieliniową /wypukłą, wklęsłą/, to otrzymujemy zadanie programowania nieliniowego;

c/ jeżeli którakolwiek chociaż z funkcji F i G_1 jest funkcją losową, to otrzymujemy zadanie programowania stochastycznego.

Ponadto, jeżeli zbiór X_0 ma przeliczalną lub skończoną liczbę elementów, to mówimy o problemie dyskretnym, w przeciwnym zaś wypadku o problemie ciągłym.

Rozwiązanie x^* problemu decyzyjnego nazywamy rozwiązaniem optymalnym, jeżeli dla każdego $x \in X_0$

$$F/x^*/ \leq F/x/$$

dla zadania minimalizacji funkcji F ,

lub

$$F/x^*/ \geq F/x/$$

dla zadania maksymalizacji funkcji F .

Najczęściej spotykane w praktyce problemy optymalizacji dotyczą takich zagadnień, jak np. optymalizacja przydziału celów środkom walki, optymalizacja rozdziału środków materiałowych, optymalizacja wyboru dróg marszu w sieci komunikacyjnej, optymalizacja terminów i zakresu obsługi i remontów urządzeń technicznych itp.^{4/}

Do rozwiązywania tych problemów wykorzystywane są matematyczne modele decyzyjne, w których korzysta się z matematycznych metod teorii optymalizacji, algebry i rachunku wariacyjnego, topologii i analizy funkcjonalnej, teorii grafów i teorii gier, teorii prawdopodobieństwa z teorią obsługi masowej itp.

Przykład

Rozpatrzmy tzw. zadanie transportowe z kryterium czasu należące do zadań programowania liniowego, sformułowane następująco:

niech danych będzie m magazynów, przy czym w każdym z nich znajduje się odpowiednio: $a_1, \dots, a_1, \dots, a_m$ jednostek jednorodnych środków materiałowych oraz n jednostek odbiorców, których potrzeby wynoszą odpowiednio: $b_1, \dots, b_j, \dots, b_n$ jednostek tych środków. Spełniony przy tym jest warunek bilansowania potrzeb i możliwości

4/ Zob., np. J. Czujkow, Badania operacji w wojsku. MON, Warszawa 1975; W. Filar, Badania operacyjne a problemy zaopatrywania. MON, Warszawa 1973.

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

oraz dana jest macierz $T = [t_{ij}]_{m \times n}$, taka, że t_{ij} oznacza czas potrzebny na przewiezienie środków materiałowych ze składu i do jednostki j .

Należy wyznaczyć takie ilości środków materiałowych X_{ij} przewożonych z i do j , które spełniają warunki

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = b_j, \quad \sum_{j=1}^n X_{ij} = a_i$$

oraz, które zapewniają zaspokojenie potrzeb materiałowych w najkrótszym czasie.

Rozpatrzmy następujący przykład liczbowy:

dane są trzy magazyny zawierające odpowiednio następujące ilości środków materiałowych:

$$a_1 = 18, a_2 = 10, a_3 = 12.$$

Z magazynów tych należy dostarczyć środki do czterech jednostek, których potrzeby wynoszą odpowiednio:

$$b_1 = 11, b_2 = 9, b_3 = 13, b_4 = 7.$$

Macierz czasu transportu środków dana jest w postaci tabelicy:

		T			
		j	1	2	3
i	1	1	3	7	12
	2	2	8	10	8
	3	6	1	4	5

Stosując jedną z metod rozwiązywania zadań programowania uzyskano rozwiązanie optymalne, tj. zapewniające dowóz środków materiałowych w minimalnym czasie, przedstawione w tabelicy:

		X			
		j	1	2	3
i	1	1	9	8	0
	2	10	0	0	0
	3	0	0	5	7

Uzyskane rezultaty należy interpretować następująco: środki magazynu 1 należy dostarczyć do odbiorcy 1 w ilości 1, do odbiorcy 2 w ilości 9 oraz do odbiorcy 3 w ilości 8, wszystkie środki znajdujące się w magazynie 2 należy dostarczyć do odbiorcy 1, czyli w ilości 10, z magazynu 3 środki

należy dowieźć do odbiorcy 3 w ilości 5 i do odbiorcy 4 w ilości 7. W ten sposób potrzeby materiałowe jednostek zostaną zaspokojone w naj-krótszym czasie.

Matematyczne modele decyzyjne można podzielić, ze względu na charakter wykorzystywanych w nich informacji, na trzy podstawowe grupy /tabela 2/:

a/ modele deterministyczne /obejmują w tabeli przypadki DD/, w których dysponuje się dokładnie określonymi danymi;

b/ modele probabilistyczne /obejmują w tabeli przypadki: PD, PP i DP/, w których wykorzystywane informacje określone są w kategoriach probabilistyczno-statystycznych /np. w postaci rozkładów prawdopodobieństwa określonych zdarzeń/;

c/ modele growe /obejmują w tabeli przypadki: ND, NP, NN, PN i DN/, w których występują informacje, o których praktycznie biorąc niewiele wiemy, nie potrafimy ich wartości ściśle określić, ani wyrazić w kategoriach probabilistycznych; możemy jedynie przewidywać pewne zdarzenia, aby nie pomijać ich znaczenia w procesie podejmowania decyzji.^{5/}

Tabela 2
Klasyfikacja informacyjna sytuacji decyzyjnych

CHARAKTER INFORMACJI	O SYSTEMIE /np. wojskach własnych/		
	deterministyczne	probabilistyczne	"nieznane"
deterministyczne	DD	DP	DN
probabilistyczne	PD	PP	PN
"nieznane"	ND	NP	NN

SYTUACJE DECYZYJNE: I PEWNE /DD/

II NIEPEWNE /PD, PP, DP/

III RYZYKOWNE /ND, NP, NN, PN, DN/.

5/ Klasycznym przykładem takich modeli są modele rozpatrywane w teorii gier, czyli tzw. modele konfliktów /gry antagonistyczne/ i modele współdziałania /gry kooperacyjne/.

Tabela 3

Klasyfikacja modeli decyzyjnych

Lp.	Kryterium klasyfikacji	Rodzaj zadania
1	Postać funkcji kryterialnej i ograniczeń	- liniowe - nieliniowe
2	Postać zmiennych decyzyjnych	- ciągłe - dyskretne /całkowitoliczbowe, binarne/
3	Charakter parametrów	- deterministyczne - probabilistyczne /stochastyczne/
4	Liczba stopni /etapów procesów decyzyjnych/	- statyczne - dynamiczne /ciągłe, dyskretne/
5	Liczba funkcji kryterialnych	- jednokryterialne - wielokryterialne
6	Charakter związków z otoczeniem	- kooperacyjne - growe /konfliktowe/

Tabela 4

Charakterystyka podstawowych koncepcji podejmowania decyzji

Podejście	Normatywne	Opisowo-wyjaśniające	Systemowe
Tryb postępowania badawczego	dedukcyjny	indukcyjny	dedukcyjnych 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
Związek z innymi dyscyplinami /najbliższy/	z matematyką i cybernetyką	z psychologią, socjologią i ekonomią	z cybernetyką i inżynierią systemów
Stopień zaawansowania /rozwoju/	dość wysoki	średni	mniej niż średni

Pytania kontrolne

1. Scharakteryzować podstawowe kierunki badań nad decyzjami.
2. Jaką decyzję nazywamy racjonalną?
3. Omówić podstawowe elementy matematycznego modelu decyzyjnego.
4. Omówić podstawowy model sytuacji decyzyjnej.
5. Omówić wybraną regułę decyzyjną.
6. Sformułować problem optymalizacji.
7. Podać klasyfikację problemów optymalizacji.
8. Omówić podstawowe grupy modeli decyzyjnych.
9. Scharakteryzować podstawowe koncepcje podejmowania decyzji.
10. Omówić ogólny schemat procesu decyzyjnego.

Wykaz literatury

1. R.Ackoff, Decyzje optymalne w badaniach stosowanych. PWN, Warszawa 1969.
2. W.Bojarski, Podstawy analizy i inżynierii systemów. PWN, Warszawa 1984.
3. W.Drużynin, D.Kontorow, Idea, algorytm, decyzja. MON, Warszawa 1975.
4. W.Drużynin, D.Kontorow, Woprosy wojennoj sistiemotiechniki. Moskwa 1976.
5. Ł.Ewłanow, Teorija i praktika prinjatija rieszenij. Moskwa 1984.
6. N.Klatka, Konflikty i gra. MON, Warszawa 1976.
7. J.Konieczny, Inżynieria systemów działania. WNT, Warszawa 1983.
8. J.Kozielecki, Psychologiczna teoria decyzji. PWN, Warszawa 1977.
9. D.Miller, M.Starr, Praktyka i teoria decyzji. PWN, Warszawa 1971.
10. P.Sienkiewicz, Analiza systemowa. KiW, Warszawa 1989.
11. P.Sienkiewicz, Inżynieria systemów. MON, Warszawa 1983.
12. P.Sienkiewicz, A.Ameljańczyk, A.Chojnacki, T.Nowicki, A.Sowa, Teoretyczne podstawy optymalizacji w systemach dowodzenia. ASG WP, Warszawa 1986.
13. H.A.Simon, Podejmowanie decyzji kierowniczych. Nowe nurty. PWE, Warszawa 1982.
14. T.Tyszka, Analiza decyzyjna i psychologia decyzji. PWN, Warszawa 1986.
15. H.Wagner, Badania operacyjne. Zastosowania w zarządzaniu. PWE, Warszawa, 1980.
16. E.Wentcel, Issledowanije operacij. Moskwa 1972.

VIII. MODELE SYMULACYJNE

1. Istota symulacji komputerowej

Jedną z metod badania złożonych systemów wojskowych /w tym także procesów walki i operacji/ jest konstruowanie, a następnie badanie modeli tych systemów przy zastosowaniu symulacji komputerowej. Z symulacją komputerową wiążą się takie pojęcia jak: model, modelowanie, symulacja, modelowanie symulacyjne, eksperyment symulacyjny.

Modelem nazywamy specyficzny obiekt odzwierciedlający niektóre cechy, właściwości, charakterystyki i powiązania obiektu rzeczywistego istotne dla rozwiązania określonego zadania przez podmiot i uzyskania informacji o funkcjonowaniu obiektu rzeczywistego.

Z przyjętego określenia wynika, że model przedstawia sobą pewną konstrukcję, której częściami składowymi są: podmiot, zadanie rozwiązywane przez podmiot, obiekt rzeczywisty i język opisu^{1/}. W strukturze przedstawionego wyżej uogólnionego pojęcia modelu szczególną rolę odgrywa zadanie rozwiązywane przez podmiot. Zadanie określa dobór istotnych cech i charakterystyk obiektu rzeczywistego i jest głównym czynnikiem systemotwórczym w procesie integracji tych cech i charakterystyk w jednolitą całość, w pewien system. A zatem określa niejako charakter tworzonego modelu. Model jest zawsze tylko przybliżonym podobieństwem obiektu rzeczywistego, zdecydowanie uboższym od niego pod względem informacyjnym. Ale jednocześnie model jest syntezą tego, co w systemie rzeczywistym jest istotne z punktu widzenia celu badań.

Modelowanie jest to szczególna metoda badania obiektu /systemu/ złożonego, polegająca na budowie /lub wyborze/ pomocniczego obiektu /systemu/ zastępczego w postaci modelu obiektu /systemu/ rzeczywistego i

1/ W przypadku, gdy mamy do czynienia z idealnym obrazem obiektu w świadomości podmiotu /tzw. modelem conceptualnym/ - język opisu w postaci strukturalnej nie występuje.

przeprowadzaniu na nim eksperymentów. Modelowanie zakłada obecność trzech elementów: obiektu rzeczywistego, modelu i podmiotu. Ale najbardziej aktywna rola w procesie modelowania przypada podmiotowi, bowiem bada on obiekt rzeczywisty, poznaje go, a uzyskane informacje przenosi na model. Budowany model obiektu rzeczywistego powstaje z inicjatywy podmiotu, bowiem on określa przeznaczenie modelu i na tej podstawie wymagana miarę oraz granice podobieństwa modelu do obiektu rzeczywistego.

Słowo symulacja używane jest w różnym znaczeniu. Symulować znaczy przyjmować wygląd czegoś innego, naśladować jakiś proces rzeczywisty lub odtwarzać jakiś układ /system/ istniejący w rzeczywistości. Sens i przydatność symulacji polega nie tylko na wizualnym czy odczuwalnym podobieństwie, ale także podobieństwie pojęć lub koncepcji. Symulacja ma sens jedynie w odniesieniu do czegoś innego, co istnieje poza samą symulacją. Dla naszych potrzeb przyjmijmy następującą definicję symulacji:

Symulacja nazywamy pewien tok postępowania z modelem obiektu /systemu/ rzeczywistego polegający na odtworzeniu istniejących w rzeczywistości /lub hipotetycznych/ właściwości danego obiektu /systemu/ oraz obserwowaniu zmian zachodzących w nim w czasie, pod wpływem zmieniających się warunków wewnętrznych i zewnętrznych. Jeżeli odwzorowywanie ciągów stanu badanego obiektu /systemu/ odbywa się metodą symulacji, a narzędziem ułatwiającym dokonywanie obliczeń jest komputer - to taką symulację nazywamy symulacją komputerową.

Często używane jest także pojęcie modelowanie symulacyjne. Przez to pojęcie rozumiemy proces budowy modelu obiektu /systemu/ rzeczywistego oraz przeprowadzanie eksperymentów symulacyjnych na tym modelu, w celu poznania zachowania się obiektu /systemu/ pod wpływem czynników wewnętrznych i zewnętrznych. Oznacza to, że modelowanie symulacyjne to proces obejmujący nie tylko budowę modelu, lecz także analityczne zastosowanie modelu do zbadania /poznania lub rozwiązania/ określonego problemu.

Możemy mówić także o metodzie symulacyjnej. W przyjętym ujęciu modelowanie symulacyjne stanowi doświadczalną i stosowaną metodę, która pozwala:

- opisać zachowanie się obiektu /systemu/;
- budować teorie i hipotezy, które mogą objaśnić obserwowane zachowanie się obiektu /systemu/;
- wykorzystać zbudowane teorie i hipotezy do przewidywania przyszłego zachowania się obiektu /systemu/, tj. do przewidywania tych przyszłych stanów obiektu /systemu/, które mogą wynikać ze zmiany elementów lub sposobów działania.

Modelowanie symulacyjne, jako metoda badawcza, może służyć do:

- odtwarzania funkcjonowania systemów istniejących w przyszłości /tzw. symulacja odtwarzająca/;
- odwzorowywania działania systemów aktualnie istniejących /tzw. symulacja bieżąca/;
- przewidywania działania systemów w przyszłości /tzw. symulacja prognostyczna/.

Modelowanie symulacyjne może przynieść znaczne korzyści w badaniu złożonych systemów wojskowych /w tym również procesów walki/ pozwala bowiem:

- naśladować procesy /zjawiska/ walki, procesy zabezpieczenia, zasilania i obsługi wojsk;
- badać skutki podejmowanych decyzji w aspekcie organizacyjnym, technicznym, ekonomicznym i in.;
- odtwarzać elementy systemu i ich powiązania występujące w strukturze sił zbrojnych, w celu ich przebadania.

Reasumując można powiedzieć, że istota metody modelowania symulacyjnego polega na zbudowaniu modelu badanego obiektu /systemu/, który w jednych elementach jest zgodny z obiektem /systemem/ rzeczywistym, w innych zaś różni się od niego, i który jest badany przy pomocy różnych metod i środków. Wyniki uzyskane z eksperymentów symulacyjnych przeprowadzonych na modelu są przenoszone drogą wnioskowania przez analogię na badany obiekt /system/. Model występuje tu jako środek odzwierciedlenia /odwzorowania, zilustrowania/ złożonych trudnodostępnych procesów /zjawisk/, a symulacja komputerowa przy wykorzystaniu zbudowanego modelu ułatwia uzyskanie nowych informacji o badanym obiekcie /systemie/. Bezpośrednie badanie wielu zjawisk, w tym zjawisk walki zbrojnej, często jest utrudnione, a nawet wręcz niemożliwe. W niektórych wypadkach badanie systemu w sposób bezpośredni może być niewygodne ze względów ekonomicznych lub innych. Modelowanie symulacyjne poprzez pewne uporządkowanie zjawisk, zastosowanie metod matematyczno-logicznych i heurystycznych, ułatwia poznanie istoty badanych obiektów /systemów/.

Modelowanie symulacyjne stwarza możliwość badania funkcjonowania złożonych systemów wojskowych w wybranym wymiarze czasowym i przestrzennym. Obserwacje zmian zachodzących w tych systemach mogą prowadzić do istotnych usprawnień organizacyjnych, funkcjonalnych i informacyjnych, a także mogą wykazać, które elementy systemu są najistotniejsze dla jego sprawnego funkcjonowania, a które najsłabsze, zbędne lub najbardziej obciążone. Całościowy charakter metody modelowania symulacyjnego znajduje wyraz w dokonywaniu analizy powiązań i zależności wszystkich

czynników wywierających wpływ na funkcjonowanie systemu jako całości. Prowadzi to do ścisłego określenia przydatności każdego elementu systemu, każdej funkcji. Analizą objęty zostaje obszar nie formalno-instytucjonalny lecz merytoryczny, badane są bowiem procesy związane z funkcjonowaniem systemu, a nie instytucje. Modelowanie symulacyjne pozwala ponadto uwzględniać występowanie losowości i nieokreśloności w badanych systemach, co może stanowić mocne wsparcie dla intuicji i ocen dokonywanych przez ekspertów i specjalistów wojskowych.

Przechodząc od warunków naturalnych do rozważań teoretycznych, modelowanie symulacyjne wykorzystujące współczesną technikę komputerową, umożliwia:

- systematyzowanie i selekcjonowanie danych;
- utrwalanie istotnych powiązań występujących w systemie;
- rozwijanie elementów teorii badanych procesów;
- uporządkowanie elementów teorii w jednolity system i zastosowanie go w praktyce;
- eksperymentalne sprawdzenie założeń teorii.

Modelowanie symulacyjne jest zatem procesem, w którym działalność teoretyczna i praktyczna przeplata się, występuje jako niepodzielona jedność.

Modelowanie symulacyjne stanowi niejako skojarzenie metody matematycznej i eksperymentalnej. Budując bowiem model opisujemy formalnie mechanizm zachodzących procesów, podobnie jak przy stosowaniu metod matematycznych, natomiast sposób uzyskiwania wyników jest taki, jak w metodach eksperymentalnych z tą tylko różnicą, że proces rzeczywisty zastępujemy symulacją tego procesu na komputerze. Metoda ta jest z jednej strony swego rodzaju narzędziem pozwalającym sprawdzić praktycznie wyniki badań teoretycznych. z drugiej zaś strony - metodą teoretycznego rozwiązywania niektórych problemów wysuwanych przez praktykę. W ten sposób można przyjąć, że modelowanie symulacyjne zajmuje pośrednie miejsce między logicznymi i empirycznymi metodami, ułatwiając przejście w procesie poznania od praktyki do teorii i odwrotnie.

Należy jednak wyraźnie podkreślić, że modelowanie symulacyjne nie jest metodą optymalizacyjną w sensie takich metod analitycznych, jakie stosowane są np. w badaniach operacyjnych czy programowaniu liniowym. W odróżnieniu od ścisłych metod optymalizacyjnych, modelowanie symulacyjne pozwala na uzyskanie rozwiązania nie optymalnego lecz zadawalającego albo wystarczającego, pozwalającego na bezpieczne działanie.

2. Zasady budowy modelu symulacyjnego

Proces budowy modelu symulacyjnego może obejmować następujące fazy:

- fazę formułowania zadania polegającą na określeniu istoty rozwiązywanego problemu, sformułowaniu celów, wyborze kryteriów oceny, ustaleniu granicy zadania, określeniu założeń i ograniczeń;
- fazę poszukiwania sprowadzającą się do zebrania niezbędnych danych do modelu, ustalenia relacji między poszczególnymi elementami, ustalenia alternatywnych rozwiązań prowadzących do osiągnięcia postawionych celów;
- fazę budowy modelu obejmującą budowę modelu na podstawie alternatywnych rozwiązań, badanie i ocenę wyników uzyskanych z alternatywnych rozwiązań;
- fazę wyboru mającą na celu określenie najlepszego rozwiązania, określenie zakresu modyfikacji i uzupełnienia modelu o charakterystyki /dane, elementy/ nie przyjęte do realizacji we wcześniejszych fazach budowy modelu;
- fazę weryfikacji przyjętego rozwiązania przez eksperymentalne sprawdzenie funkcjonowania modelu.

W procesie budowy modelu szczególne znaczenie ma faza formułowania zadania. Ważne tu jest rozpatrzenie zadania z różnych punktów widzenia i uściślenie warunków granicznych /ograniczeń/, co pozwala w późniejszych fazach określić charakter modelu oraz ustalić możliwe drogi prowadzące do rozwiązania ujawnionych problemów. W fazie tej należy wyraźnie określić istotę i zakres rozwiązywanego problemu, ustalić podstawowe czynniki wywierające wpływ na przebieg badanego procesu, a także określić powiązania między nimi.

Duże znaczenie ma właściwe i precyzyjne sformułowanie celów. Budowany model może mieć różne przeznaczenie i odpowiadające temu cele. Najczęściej występują cele dotyczące:

- oceny polegającej na określeniu, w jakim stopniu system o danej strukturze organizacyjnej i funkcjonalnej odpowiada przyjętym kryteriom;
- porównania wyrażającego się w przeciwstawianiu sobie kilku systemów o różnej strukturze organizacyjnej i funkcjonalnej, realizujących określone funkcje, lub w przeciwstawieniu różnych zasad /metodyk/ działania systemu;
- prognozy umożliwiającej dokonywanie oceny zachowania się systemu przy pewnych zakładanych warunkach i ograniczeniach;
- analizy reagowania systemu polegającej na ujawnieniu tych czynników oddziałujących na system, które w największym stopniu wywierają wpływ na ogólne funkcjonowanie systemu;

- optymalizacji sprowadzającej się do określenia takiej sumy czynników oddziaływujących na system, przy których zapewnione jest możliwie najlepsze funkcjonowanie systemu jako całości;

- ujawnienia powiązań funkcjonalnych wyrażającego się w określeniu charakteru zależności między wybranymi /ze względu na swoją rolę w systemie/ czynnikami lub elementami systemu.

Przedstawioną wyżej listę celów nie można uważać za wyczerpaną; wyszczególnione zostały tylko te cele, które najczęściej są przyjmowane w procesie modelowania. W praktyce występują różne kombinacje wymienionych wyżej celów, w zależności od konkretnych warunków i potrzeb modelowanych systemów rzeczywistych.

Budowa modeli systemów wojskowych odbywa się w warunkach niepełnych informacji, i często w warunkach nieokreśloności. Stąd też przy ustalaniu celów i wyborze kryteriów dla tego rodzaju modeli przeważa koncepcja suboptymalności, co oznacza, że następuje wybór celów pośrednich oraz kryteriów związanych z rozwiązywaniem problemów, które logicznie są z sobą zgodne i stanowią pewne przybliżenie do problemów rozwiązywanych na wyższym poziomie. Najczęściej stosowane jest podejście polegające na tym, że cel głównych "rozmienny" jest na cele cząstkowe /pośrednie/, które są celami niższego rzędu. Można to przedstawić jako:

$$\dots C_{i-2} \longrightarrow C_{i-1} \longrightarrow C_i$$

gdzie: C_i - cel główny;

C_{i-2} , C_{i-1} - cele cząstkowe /pośrednie/.

Cele cząstkowe /pośrednie/ wynikają z wymagań w stosunku do modelu, sformułowanych przez użytkownika. Tak, jak rozszerzone zostały cele cząstkowe w lewo od celu głównego, można również rozszerzyć je w prawo od C_i . W ten sposób daje się wstępnie ustalić, jakie dalsze cele pośrednie /i wynikające z nich zadania/ trzeba będzie realizować, jeżeli rozszerzeniu /lub zmianie/ ulegną wymagania użytkownika. Można to zapisać następująco:

$$\dots \longrightarrow C_{i-2} \longrightarrow C_{i-1} \longrightarrow C_i \longrightarrow C_{i+1} \longrightarrow C_{i+2} \longrightarrow \dots$$

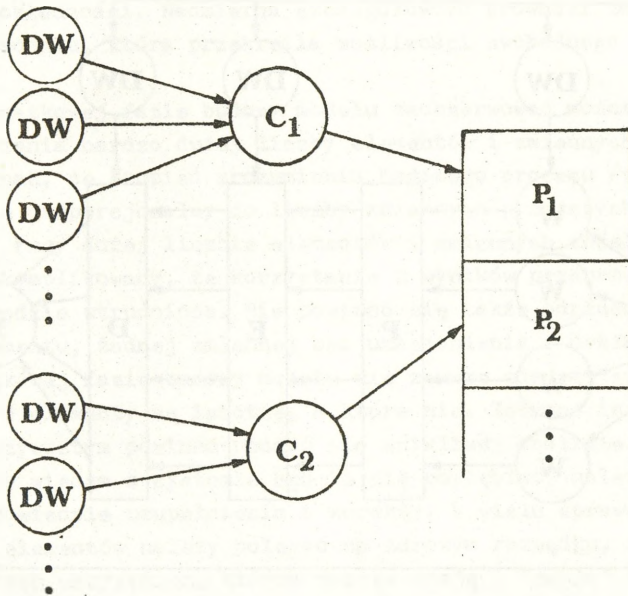
Należy jednak pamiętać, że żadna kombinacja celów, wymagań i ograniczeń, sformułowanych w początkowej fazie budowy modelu nie może być uważana jako ostateczna /skończona/. Nawet najlepsza kombinacja tych elementów, przyjęta na początku budowy modelu, nie decyduje jeszcze o wartości modelu. Dopiero w procesie budowy modelu poprzez obserwację i analizę wzajemnego oddziaływania różnych zmiennych zaczyna wyjaśniać się pro-

blem, dochodzi do zmiany ograniczeń, pojawiają się nowe wymagania i formułowane są nowe cele cząstkowe. Jest to proces ciągły, przewijający się przez wszystkie fazy budowy modelu.

W fazie poszukiwań i budowy modelu dokonuje się analizy i syntezy systemu rzeczywistego. Analizie podlega każdy element systemu oraz jego powiązania z innymi elementami, w wyniku której podejmowana jest decyzja o włączeniu bądź wyłączeniu go z modelu. Budując model systemu rzeczywistego powinno się włączyć do modelu tylko takie elementy, które mają bezpośredni wpływ i związek z rozpatrywanym zadaniem. Należy unikać nadmiernego przeładowania modelu szczegółami i elementami, które niczego nie wnoszą w rozwiązywane zadania, i budować model zorientowany na rozwiązywanie problemów, a nie odtwarzać system rzeczywisty ze wszystkimi jego szczegółami. Trudność takiego podejścia polega na tym, że na początku prac projektowych nie zawsze można określić, jakie elementy mają, a jakie nie mają bezpośredniego związku z badanym problemem. Wskazówką może tu być liczba zmiennych wynikowych i zmiennych wejściowych jakie przyjmuje się w modelu. Ustalenie liczby zmiennych wynikowych jest dość łatwe. Jeżeli właściwie zostały sformułowane cele i przeznaczenie modelu, wówczas zmienne wynikowe są oczywiste. Natomiast mogą powstać trudności przy ustalaniu zmiennych wejściowych, a zwłaszcza tej grupy zmiennych, które służą do wywołania wymaganych stanów wyjść modelu. Dlatego w trakcie poszczególnych faz budowy modelu należy dążyć do rozszerzenia rozeznania i wyobrażenia o związkach poszczególnych elementów z zadaniem, i w kolejnych przybliżeniach korygować je.

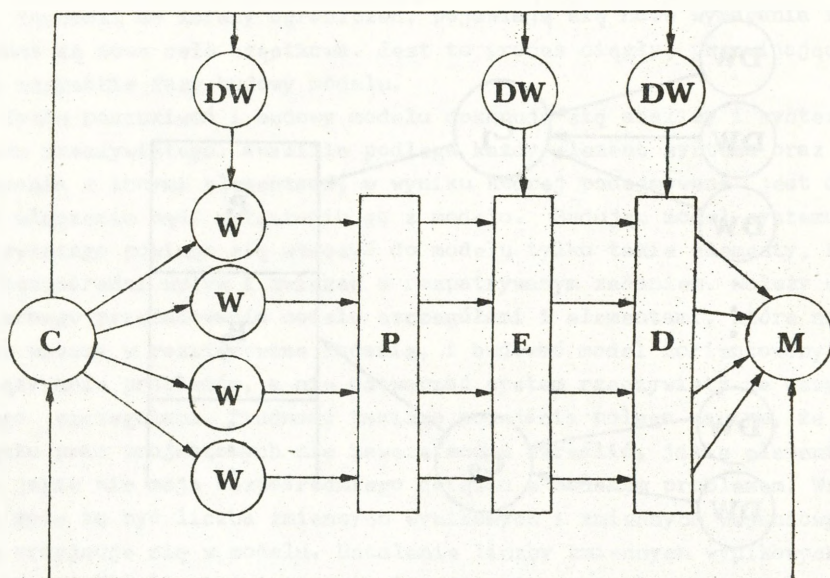
Podczas analizy i syntezy systemu rzeczywistego może być stosowane podejście klasyczne lub systemowe. W podejściu klasycznym analizuje się system poprzez przechodzenie od szczegółów /częściowych rozwiązań/ do ogółu, a następnie dokonuje się syntezy drogą łączenia poszczególnych komponentów. Polega to na tym, że w obiekcie rzeczywistym podlegającym modelowaniu wyodrębnia się poszczególne elementy, dokonuje wyboru danych wejściowych /DW/ niezbędnych do realizacji celów cząstkowych /C/ w modelu, i na tej podstawie tworzy się odpowiedni komponent /P/ przyszłego modelu. Uzyskane w ten sposób komponenty łączy się w model /rys. 19/.

Łatwo zauważyć, że budowa modelu przy zastosowaniu podejścia klasycznego oznacza kolejne sumowanie poszczególnych elementów w jedną całość, przy czym każdy z tych elementów i komponentów /podsystemów/ rozpatrywany jest w sposób odizolowany od innych części. Z tych też względów podejście klasyczne może być stosowane do budowy stosunkowo prostych modeli, w których możliwe jest rozdzielenie i niezależne rozpatrzenie poszczególnych kierunków działania obiektu /systemu/ rzeczywistego.



Rys. 19. Klasyczne podejście do analizy i syntezy systemu rzeczywistego

Modelowanie systemu złożonego wymaga spojrzenia na ten system z wyższego szczebla i rozpatrywania go jako podsystemu pewnego metasystemu, tj. systemu wyższego rzędu. W modelowaniu tego typu systemów stosuje się podejście systemowe polegające na tym, że badany system rozpatrywany jest nie w sposób izolowany, lecz z uwzględnieniem współdziałania ze środowiskiem zewnętrznym oraz w powiązaniu z innymi systemami określonego metasystemu. U podstaw podejścia systemowego leży rozpatrywanie systemu jako pewnej zintegrowanej całości, a budowę modelu /M/ rozpoczyna sformułowanie celu. Na podstawie danych wejściowych /DW/, które uzyskuje się w wyniku analizy systemu rzeczywistego, przyjętych ograniczeń i możliwości, a także na podstawie celu funkcjonowania modelu /C/, formułowane są wymagania /W/ w stosunku do modelu systemu. W oparciu o powyższe wymagania wyodrębnia się określone podsystemy /P/ oraz elementy /E/, a następnie dokonuje się wyboru /D/ elementów przewidzianych do włączenia do modelu, stosującym w tym celu odpowiednie kryteria wyboru /KW/. Ten ostatni etap jest najbardziej złożonym etapem syntezy. Proces tworzenia modelu /M/ w oparciu o podejście systemowe przedstawia rys. 20.



Rys. 20. Systemowe podejście do analizy i syntezy systemu rzeczywistego

Ostateczny kształt modelu, stopień jego przydatności i zakres funkcjonowania zależą od celowego przeznaczenia modelu i doboru elementów oraz procesów, dokonywanego podczas budowy modelu. Nie istnieje bowiem jednoznaczne pojęcie modelu systemu rzeczywistego. Nie istnieje uniwersalny model, który służyłby do rozwiązywania wszystkich problemów, i który odpowiadałby na dowolne pytania. Każdy system rzeczywisty można w różny sposób modelować w zależności od tego, co zamierza się osiągnąć. Od ukierunkowania prac projektowych zależy, czy i na jakie pytania odpowiadać będzie model oraz jakie zadania będzie można przy jego pomocy rozwiązywać. Elementy modelu i ich powiązania powinny być tak dobrane, aby zapewnić możliwość realizacji funkcji modelu zgodnie z jego przeznaczeniem oraz założonymi celami.

Przy wyborze elementów, które zamierza się włączyć do modelu napotykamy zazwyczaj na dylemat: z jednej strony dążymy do zbudowania modelu możliwie prostego, aby w ten sposób uczynić go przejrzystym i bardziej zrozumiałym, z drugiej zaś strony pragniemy uzyskać możliwie jak najdokładniejszy model badanego systemu rzeczywistego. Znaleźć właściwe rozwiązanie nie jest łatwo. Upraszczenie systemu rzeczywistego ma swoją

granicę - możliwe jest tylko do takiego stopnia, dopóki nie grozi to utratą dokładności. Nadmierna szczególność prowadzi zaś do takiej złożoności modelu, która przekreśla możliwości swobodnego posługiwania się nim.

W początkowej fazie budowy modelu zaobserwować można tendencję do uwzględniania bardzo dużej liczby elementów i zmiennych. Praktyka wskazuje jednak, że stopień zrozumienia badanego procesu /zjawiska/ jest odwrotnie proporcjonalny do liczby zmiennych przyjętych do opisu tego procesu. Przy dużej liczbie elementów i zmiennych model będzie ~~z~~ tak złożony i skomplikowany, że korzystanie z wyników przeprowadzonych eksperymentów będzie utrudnione. Nie powinno się także odrzucać /wyłączać/ żadnego elementu, żadnej zmiennej bez uzasadnienia i dokładnego sprawdzenia. W początkowej fazie budowy modelu nie zawsze zdajemy sobie sprawę z tego, które elementy są istotne, a które nie. Zebrane informacje o systemie rzeczywistym powinno poddać się wnikliwej analizie i w miarę tego, jak nasza wiedza o systemie będzie się pogłębiać, należy wносить do modelu odpowiednie uzupełnienia i korekty. W wielu sprawach związanych z wyborem elementów należy polegać na zdrowym rozsądku, intuicji i doświadczeniu tych wszystkich, którzy dobrze znają i "czują" system rzeczywisty. Dobrze jest oprzeć się w tych sprawach na zdaniu ekspertów lub na danych uzyskanych z analizy statystycznej.

Modele systemów wojskowych powinny uwzględniać cele przeciwnika i jego możliwe przeciwdziałanie. Do niedawna uważano, że problem ten można rozwiązać drogą zastosowania teorii gier. Praktyka wykazała jednak, że teoria gier może być przydatna tylko jako ogólny schemat, bowiem droga od teorii do jej praktycznego zastosowania jest długa.

Podczas dokonywania analizy porównawczej systemów wojskowych własnych i przeciwnika ważne znaczenie ma uwzględnienie reakcji przeciwnika na nasze działania. Nie można tego jednak uzyskać w ramach formalnej gry z jej aparatem ścisłych reguł, określających dopuszczalne ruchy i wygraną w każdym z nich. Przydatność naszego systemu wojskowego wygodniej jest rozpatrywać przy pewnych założeniach taktycznych przyjmowanych z naszej strony i analizowaniu, jakimi środkami przeciwnika może najskuteczniej przeciwdziałać naszej taktyce. Takie podejście daje więcej niż formalna gra, bowiem w grze istota rzeczy polega często na koncentrowaniu uwagi na tym, jak najlepiej wykorzystać reguły gry na swoją korzyść.

W procesie budowy modelu symulacyjnego ważne jest określenie struktury systemu rzeczywistego, tj. powiązań pomiędzy elementami systemu, wyrażającymi współdziałanie tych elementów. Badanie struktury systemu może dotyczyć powiązań i zależności między elementami systemu lub funkcji rea-

lizowanych przez system dla osiągnięcia określonych celów. W związku z powyższym w badaniu struktury systemu wyróżnia się strukturalne i funkcjonalne podejście.

Przy strukturalnym podejściu bada się skład wyodrębnionych elementów systemu oraz powiązania między nimi, co pozwala określić strukturę systemu i ocenić stopień zorganizowania systemu jako całości.

Przy funkcjonalnym podejściu rozpatrywane są poszczególne funkcje systemu, tj. algorytmy działania systemu. Oceniane są funkcje realizowane przez system, przy czym funkcje te pojmujemy jako właściwości prowadzące do osiągnięcia celu. Poprzez ujawnienie funkcji systemu w czasie, a więc badanie przechodzenia systemu z jednego stanu w drugi /ruch w przestrzeni/ oceniana jest efektywność działania systemu.

Podjęcie	Co jest badane	Ocena
Strukturalne	Struktura /systemu/	Ocena stopnia zorganizowania systemu
Funkcjonalne	Funkcje systemu	Ocena efektywności działania

Modelowanie symulacyjne opiera się głównie na teorii systemów, analizie systemowej, teorii prawdopodobieństwa i statystyce. Jednocześnie w wielu przypadkach pozostaje ono w sferze procesów intuicyjnych, bowiem takie czynności, jak: wybór elementów do budowy modelu, przyjęcie uproszczeń i ograniczeń, ocena skutków decyzji i inne opierają się na intuicji projektującego, na doświadczeniach praktyków oraz na ocenie ekspertów /specjalistów/. Z tych też względów ścisłe reguły budowy modelu mają ograniczoną użyteczność. Nie oznacza to jednak, że metodyka modelowania jest procesem losowym lub fatalistycznym. Można osiągnąć dobre wyniki w modelowaniu, jeżeli będzie się przestrzegać i stosować odpowiednie wskazówki uogólniające uzyskane doświadczenia.

Zachowania i przestrzegana powinna być przede wszystkim dokładność budowy modelu. Dobrze jest zaczynać budowę od modelu prostego, a następnie poszerzać go o nowe elementy, aż do bardziej dokładnego odwzorowania systemu rzeczywistego, uwzględniając powiązania i zależności występujące między tym systemem i modelem.

Sztuka modelowania polega na umiejętności dokonywania analizy problemu, wyodrębniania istotnych właściwości modelowanego systemu, formułowania i modyfikowania podstawowych założeń modelu, doskonalenia modelu i doprowadzenia go do stanu pozwalającego uzyskać użyteczne wyniki.

Podstawowe wskazówki dotyczące procesu modelowania można ująć następująco:

- rozłożyć zadanie /problem/ na szereg prostych zadań /problemów/;
- precyzyjnie sformułować cele i przeznaczenie modelu;
- ustalić elementy przeznaczone do włączenia i modelu;
- zestawić powiązania między poszczególnymi elementami;
- wyszukać i wykorzystać w miarę możliwości analogie sytuacji występujące w systemie rzeczywistym;
- dobrać i rozwiązać przykład liczbowy, odpowiedni dla danego zadania /problemu/;

- w przypadku, gdy w pierwszym przybliżeniu budowany model nie podaje się opisowi matematycznemu - uprościć go, jeżeli tak - rozszerzyć.

Aby uprościć model należy wykonać jedną z niżej wymienionych operacji:

- przekształcić wielkości zmienne w stałe;
- wyłączyć niektóre zmienne lub połączyć je w odpowiednie grupy;
- przyjąć liniową zależność między rozpatrywanymi wielkościami;
- wprowadzić bardziej precyzyjne założenia i ograniczenia;
- przyjąć dla modelu ostrzejsze warunki graniczne.

Rozszerzenie modelu wymaga dokonania operacji odwrotnych.

Proces budowy modelu ma ewolucyjny charakter. Stąd też nie można przestać na zbudowaniu i przyjęciu jednego bazowego wariantu modelu. W miarę osiągania celu i rozwiązywania postawionych zadań /problemów/ pojawiają się nowe zadania /problemy/, a także występuje konieczność osiągnięcia większego podobieństwa modelu do systemu rzeczywistego, co prowadzi do kolejnego sprawdzania modelu i poszukiwania nowych rozwiązań i konstrukcji. Takie postępowanie polegające na tym, że w początkowej fazie budujemy model prosty, a następnie wprowadzamy do niego elementy coraz bardziej złożone, sprzyja pomyślnemu zakończeniu prac związanych z budową modelu. Tempo i kierunek zmian ewolucyjnych zależy od ułożenia odpowiednich wzajemnych stosunków między projektantem i użytkownikiem modelu. Przy ścisłej współpracy projektanta i przyszłego użytkownika można wytworzyć taką atmosferę ufności i wzajemnego zrozumienia, że uzyskane wyniki końcowe odpowiadać będą postawionym celom, zadaniom i kryteriom.

Sztukę modelowania mogą opanować ci, którzy charakteryzują się oryginalnym myśleniem, umiejętnością przewidywania i wytrwałością, jak również głęboką znajomością systemu rzeczywistego, problemów i procesów, które podlegają modelowaniu. Nie istnieją ścisłe i efektywne zasady pozwalające określić, jak należy formułować zadanie na początku modelowania. Nie istnieją również magiczne formuły wskazujące jak dobrać zmienne, parametry i elementy w modelu, w jaki sposób ustalać powiązania opisują-

ce zachowanie się systemu rzeczywistego, ograniczenia przyjmowane w modelu, a także kryteria oceny efektywności funkcjonowania modelu. Należy mieć na uwadze, to, że nie można zbudować modelu w "czystej" postaci, zawsze operujemy modelem jaki sami zbudowaliśmy, stąd każdy model jest inny i specyficzny, ściśle związany z osobowością projektującego.

3. Weryfikacja modelu

Weryfikacja modelu symulacyjnego jest ważnym i jednocześnie złożonym etapem budowy modelu. Do uzasadnienia poprawności funkcjonowania modelu pożądane jest dysponowanie choćby jednym wariantem działania systemu rzeczywistego wraz z dostępnymi danymi. Wtedy posługując się modelem można wykonać odpowiednie obliczenia na wspólnych danych i otrzymane wyniki porównać z wynikami systemu rzeczywistego. W odniesieniu do modeli systemów wojskowych, a szczególnie modeli procesów walki, ze względów zrozumiałych, takie postępowanie nie jest możliwe. Z tych względów weryfikacja modeli symulacyjnych systemów wojskowych ogranicza się w zasadzie do sprawdzenia realności przyjętych założeń, ograniczeń i uproszczeń. Podczas weryfikacji modelu zwraca się uwagę nie tyle na realność samej struktury modelu, ile na jego funkcjonalną użyteczność. Chodzi bowiem o sprawdzenie, czy wnioski o zachowaniu się systemu, wyprowadzane na podstawie przeprowadzonych eksperymentów symulacyjnych, są prawdziwe i do przyjęcia.

Podczas weryfikacji modelu należy sprawdzić przede wszystkim poprawność przyjętych danych wejściowych. Jeżeli okaże się, że przyjęte zostały błędne dane wejściowe, to nie celowe jest przeprowadzanie dalszych badań i weryfikacji modelu. Dopiero po upewnieniu się, że przyjęte dane wejściowe są właściwe, tzw. są charakterystyczne dla modelu i systemu rzeczywistego, można przystąpić do sprawdzenia poprawności funkcjonowania modelu symulacyjnego, a więc do sprawdzenia, czy model na swoim wyjściu daje wyniki możliwe do przyjęcia.

W ramach weryfikacji modelu należy sprawdzić także stopień reagowania modelu na zmiany wartości danych wejściowych i parametrów. Polega to na tym, że wartości parametrów i danych wejściowych systematycznie zmieniamy w przyjętych przedziałach i obserwujemy wpływ tych zmian na charakterystyki danych wynikowych. Jeżeli przy nieznacznych zmianach wartości wprowadzonych danych wyniki zmieniają się zbyt gwałtownie, lub jeżeli końcowe wyniki przy zmianach danych w szerokim przedziale wartości nie zmieniają się /lub zmieniają się zbyt powoli/, należy dokonać szczegółowej analizy modelu i usunąć błędy i niedokładności w przyjętych założeniach.

W ocenie modelu symulacyjnego można wyodrębnić:

- weryfikację służącą do stwierdzenia, czy model zachowuje się zgodnie z przyjętymi celami i przeznaczeniem;
- ocenę adekwatności, polegającą na sprawdzeniu zbliżności zachowania się modelu i systemu rzeczywistego;
- analizę problemową, sprowadzającą się do interpretacji i oceny danych wynikowych uzyskanych drogą symulacji.

W ten sposób problem weryfikacji modelu symulacyjnego ma niejako dwie strony:

- po pierwsze - wyrobienie przekonania o tym, że model zachowuje się w sposób zbliżony /lub identyczny/ do zachowania się systemu rzeczywistego;
- po drugie - ustalenie, że wyniki uzyskane z eksperymentu symulacyjnego mieszczą się w granicach realności.

Współczesny stan sztuki modelowania nie może gwarantować, czy właściwie został zbudowany model systemu rzeczywistego, czy też jest to model optymalny w stosunku do założonych celów. Budując model opieramy się na doświadczeniu intuicji, radach specjalistów, oraz na hipotezach. Jest to więc proces zawierający w sobie pewne cechy indywidualne oparte na poglądach i intuicji projektanta, w którym decydującą rolę odgrywają oceny ekspertów i intuicja. Tendencje powyższe przenikają wszystkie aspekty modelowania. Występują one przy budowie modelu, kiedy decydujemy o tym, jakie elementy włączyć do modelu, jakie powiązania między poszczególnymi elementami przyjąć w modelu, jakie wartości danych i parametrów modelu wykorzystać w procesie przetwarzania. Występują one także przy wyborze procedur obliczeniowych, interpretacji wyników itp. Dlatego też w procesie weryfikacji modelu symulacyjnego należy wracać do danych wejściowych, przyjętych ograniczeń oraz założeń, i na tym tle oceniać uzyskane dane z eksperymentu symulacyjnego.

4. Wojskowe zastosowania modelowania symulacyjnego

Modelowanie symulacyjne może znaleźć pełne zastosowanie w badaniu systemów wojskowych, bowiem przy pomocy zbudowanych modeli działań bojowych można przeprowadzać wielokrotne eksperymenty symulacyjne z uwzględnieniem możliwości istniejących i nowych środków walki oraz warunków środowiskowych. Szczególnie szerokie zastosowanie modeli symulacyjnych należy widzieć w następujących sferach działalności sił zbrojnych:

- w sferze badań naukowych - jako metoda pozwalająca lepiej zrozumieć i wyjaśnić złożone problemy funkcjonowania systemów wojskowych, lecz konieczności eksperymentowania na systemie rzeczywistym;

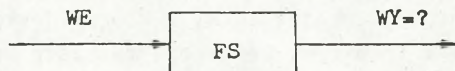
- w sferze badań efektywności systemów wojskowych, a w szczególności systemów uzbrojenia - jako metoda oceny przydatności i skuteczności systemów wojskowych w przyszłych działaniach bojowych, w konfrontacji z systemami wojskowymi potencjalnego przeciwnika;

- w sferze dowodzenia - jako środek pozwalający analizować i oceniać różne warianty decyzji, z uwzględnieniem wojsk własnych i wojsk przeciwnika, stwarzając w ten sposób warunki do podejmowania racjonalnych decyzji;

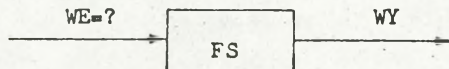
- w sferze szkolenia - jako narzędzie usprawniające kształcenie i przygotowanie kadr dowódczo-sztabowych.

W praktyce badania systemów wojskowych przy zastosowaniu metody modelowania symulacyjnego można spotkać następujące typy modeli symulacyjnych:

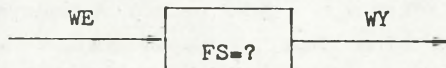
a/ Modele badania systemu wprost, w których znany jest stan wejść systemu /WE/ oraz sposób funkcjonowania systemu /FS/, natomiast nie jest znany stan wyjść systemu /WY/. Inaczej mówiąc, model służy do zbadania, jakie wyniki uzyska się, jeżeli do systemu wprowadzone zostaną określone dane, przy znanym działaniu systemu.



b/ Modele kierowania, w których znany jest sposób funkcjonowania systemu /FS/ i stan wyjść systemu /WY/, poszukiwany jest natomiast stan wejść systemu /WE/. Modele tego typu stosuje się w badaniach procesów podejmowania decyzji, bowiem pozwalają uzyskać odpowiedź na pytanie: jakie wprowadzić dane do systemu, aby uzyskać pożądane wyniki?



c/ Modele identyfikacji lub strukturalnej syntezy systemu charakteryzujące się tym, że znany jest stan wejść /WE/ i wyjść /WY/ systemu, nie znany jest natomiast sposób funkcjonowania systemu /FS/. Modele tego typu stosowane są przede wszystkim do poznania /zrozumienia/ procesów zachodzących w systemie, i na tej podstawie do dokonywania zmian w funkcjonowaniu systemu w celu uczynienia go bardziej efektywnym.



W praktyce stosuje się najczęściej modele symulacyjne będące kombinacją omówionych wyżej trzech typów modeli.

5. Przykład symulacyjnego modelu walki

Przykładem praktycznego zastosowania modelu symulacyjnego może służyć opracowany w Akademii Sztabu Generalnego WP model symulacyjny procesów walki, odtwarzający przebieg działań bojowych z dokładnością niezbędną do praktycznej realizacji ćwiczeń dowódczo-sztabowych i gier wojennych. Model zawiera zestaw procedur obliczeniowych i logicznych, służących do wspomagania kierownictwa ćwiczenia /gry wojennej/ w kierowaniu ćwiczeniem lub ćwiczących w podejmowaniu decyzji. Wspomaganie to polega na dostarczeniu informacji niezbędnych do poprawnego przewidywania rozwoju sytuacji taktycznej z uwzględnieniem decyzji stron walczących. W wyniku przeprowadzenia eksperymentu symulacyjnego uzyskuje się następujące dane:

- tempo natarcia oddziałów /pododdziałów/ znajdujących się w styczności z nieprzyjacielem;
- straty w stanie osobowym i sprzęcie bojowym poniesione w walce, w tym straty w wyniku oddziaływania lotnictwa, artylerii i broni masowego rażenia;
- aktualne stany oddziałów /pododdziałów/ wojsk własnych i przeciwnika oraz ich ukończenie;
- ilościowy i jakościowy stosunek sił na poszczególnych kierunkach działań bojowych.

Za podstawę do określania strat osobowych, sprzętu bojowego i uzbrojenia przyjęto rachunek potencjałów bojowych. Podstawowym cyklem uzyskiwania wyników z przebiegów symulacyjnych jest jedna godzina walki. Najmniejszymi elementarnymi obiektami w modelu są pododdziały piechoty, czołgów i artylerii szczebla plutonu. W pamięci komputera przechowywane są dane liczbowe charakteryzujące stany etatowe podstawowych elementów organizacyjnych wojsk własnych i przeciwnika od szczebla plutonu do szczebla związku taktycznego. Siły i środki walki wojsk własnych i przeciwnika ujęte są w modelu w następujących grupach: ludzie, czołgi, artyleria, środki ppanc., transportery opancerzone i BWP. Model pozwala na symulację następujących rodzajów działań bojowych: natarcie i obrona, a także uwzględnić podstawowe formy działań bojowych, takich jak: przełamanie, bój spotkaniowy, pościg, wycofywanie się.

Model symulacyjny procesów walki stosowano wielokrotnie w ćwiczeniach Akademii Sztabu Generalnego WP, Okręgów Wojskowych oraz w ćwiczeniach

MON. Praktyka wykazała, że model ten można z powodzeniem stosować nie tylko na szczeblu taktycznym, ale także operacyjnym. Doświadczenia uzyskane w czasie prowadzonych eksperymentów z modelem wskazują na to, że umiejętnie zastosowany model może przyczynić się do dalszego doskonalenia procesu przygotowania i kształcenia kadr dowódczo-sztabowych. Zastosowanie modelu symulacyjnego pozwala m.in.:

- sprawdzić poprawność podejmowania decyzji;
 - przewidywać z pewnym wyprzedzeniem możliwy rozwój sytuacji na polu walki, wynikający z podjętych decyzji i prawdopodobnego przeciwdziałania przeciwnika;
 - wykrywać krytyczne sytuacje decydujące o wyniku walki /operacji/ i koncentrować na nich uwagę dowódcy i sztabu;
 - dokonywać uzasadnionego wyboru czasu i miejsca wprowadzenia nowych sił i środków do walki oraz określać zadania dla wojsk i organizować współdziałanie;
 - zapewnić i utrzymać określoną kontrolę nad przebiegiem działań bojowych i w ten sposób zachować inicjatywę w podejmowaniu nowych działań.
- Model symulacyjny procesów walki celowo jest stosować:
- w przygotowaniu i opracowywaniu ćwiczenia przez zespół autorski;
 - w procesie podejmowania decyzji w czasie ćwiczeń jako skuteczne narzędzie służące ćwiczącym do analizy i oceny różnych wariantów decyzji;
 - do oceny podjętych decyzji przez ćwiczącą stronę i kierowania przebiegiem ćwiczenia;
 - jako źródło danych dla rozejmów i grup podgrywających sytuacje taktyczno-operacyjne.

Obok niewątpliwych zalet, modele symulacyjne posiadają szereg słabych stron. Słabości te tkwią przede wszystkim w konieczności uproszczenia rzeczywistych procesów zachodzących na polu walki. Nie bez znaczenia dla wyników eksperymentów symulacyjnych jest niebezpieczeństwo przyjęcia niewłaściwych założeń i skłonność do jednostronnego, formalnego ocenia-
nia wyników symulacji. Z tych też względów byłoby dużym uproszczeniem uważać, że modele symulacyjne zastosowane w grach wojennych i ćwiczeniach pozwolą odwzorować w pełni procesy rzeczywiste współczesnego pola walki. Mogą one być pomocne w przewidywaniu tendencji rozwoju sytuacji na polu walki w warunkach podjętej konkretnej decyzji i prawdopodobnego przeciwdziałania przeciwnika. Modele symulacyjne mogą przynieść większe korzyści, jeżeli przy analizie i ocenie wyników uzyskanych z eksperymentu symulacyjnego będziemy mieli na uwadze słabe strony tej metody. Zastosowane w sposób rozważny mogą stanowić w rękach dowódców i oficerów sztabu

nowe narzędzie umożliwiające wyeliminowanie w pewnym stopniu subiektywizmu oraz powierzchowności ocen i potraktowanie ćwiczenia /gry wojennej/ jako ściśle naukowego eksperymentu. W takim właśnie kierunku rozwijają się prace związane z zastosowaniem modelowania symulacyjnego w badaniu procesów walki /operacji/.

6. Prowadzenie eksperymentów symulacyjnych

Praktyczna realizacja symulacji procesów walki wymaga odpowiedniego zaprojektowania eksperymentu symulacyjnego. W projektowaniu eksperymentu symulacyjnego procesów walki należy wykonać następujące czynności:

- sprecyzować cele walki dla obu stron walczących;
- dokonać wyboru epizodów /faz/ walki i ustalić kolejność ich występowania;
- przygotować dane początkowe /siły i środki uczestniczące w walce i inne dane/;
- określić zakres ingerencji człowieka podczas realizacji eksperymentu symulacyjnego;
- ustalić sposób zakończenia eksperymentu.

Cel walki pozwala określić ramy eksperymentu i wywiera wpływ na sposób projektowania eksperymentu symulacyjnego. Sformułowanie celów walki dla obu walczących stron wyznacza wyraźnie zakres przeprowadzenia eksperymentu symulacyjnego, a także stopień złożoności i szczegółowości eksperymentu.

Procesy walki są procesami złożonymi. Zadanie główne realizowane przez każdą ze stron walczących rozpada się na szereg zadań cząstkowych /epizodów, faz/, w realizacji których uczestniczą w różnym czasie różne siły i środki. Przykładowo na szczeblu taktycznym można wyodrębnić następujące zadania cząstkowe /epizody, fazy/: artyleryjskie przygotowanie ataku, przełamanie obrony przeciwpancernej, rozbicie odwodów przeciwnika, odparcie kontrataku, forsowanie przeszkody wodnej itp.

Wychodząc z celów walki dokonuje się wyboru epizodów /faz/ walki i ustala się kolejność ich występowania. Zazwyczaj rozpatrywany jest większy zbiór alternatyw i dokonuje się oceny, które z nich mają największe znaczenie dla osiągnięcia założonego celu walki. Należy jednak pamiętać, że wybór epizodów, chociaż wynika z założonych celów walki i decyzji stron walczących, jest wyborem subiektywnym, opartym na poglądach, przekonaniach i intuicji dokonującego wyboru. Wybierając bowiem odpowiednie epizody, i ustalając kolejność ich występowania, nie dążymy do udowodnienia, że one w taki sposób wystąpią w rzeczywistości, a tylko

tworzymy podstawę do oceny skutków, jakie przyniosłyby, gdyby zaszły w rzeczywistości. Dlatego dokonując wyboru epizodów walki do eksperymentu symulacyjnego powinno się dążyć do ustalenia, czy wybrane epizody są dostatecznie prawdopodobne i zgodne z założonymi celami. Pomocą w rozwiązaniu tego problemu może być przede wszystkim znajomość zasad prowadzenia działań bojowych przez wojska własne i przeciwnika, a także wykorzystanie doświadczeń specjalistów wojskowych w dziedzinie taktyki i sztuki operacyjnej.

Przygotowanie danych początkowych do eksperymentu symulacyjnego wiąże się ściśle z celem walki oraz wyborem epizodów /faz/ walki. Dane początkowe obejmują dane o stanie początkowym sił i środków stron walczących oraz dane decyzyjne wynikające z podjętych decyzji przez obie strony. Dane decyzyjne przygotowywane są na podstawie przyjętego ugrupowania sił i środków, ustalonej kolejności i czasu wprowadzania drugich rzutów, sposobu użycia odwodów, kierunku głównego wysiłku itp. Szczegółowość danych początkowych może być różna, w zależności od zakresu eksperymentu symulacyjnego, celów zamierzonych do osiągnięcia itp. Podczas przebiegu eksperymentu symulacyjnego może nastąpić uszczegółowienie danych początkowych lub uszczegółowienie struktury organizacyjnej wojsk stron walczących /poprzez włączenie dodatkowych danych/ lub uogólnienie danych początkowych.

Symulację procesów walki prowadzi się krokami. Na podstawie opracowanych programów oraz wprowadzonych danych początkowych. W każdym kroku przeprowadzane są określone operacje obliczeniowe i logiczne. Czas jednego kroku jest wartością stałą, a cykl obliczeń w ramach eksperymentu symulacyjnego może obejmować kilka kroków. Wskazane jest także planowanie czasu trwania poszczególnych cykli, aby każdy z nich pokrywał się z epizodem /fazą/ walki. Takie podejście ułatwia ocenę poszczególnych etapów walki i śledzenie przebiegu działań bojowych. Pozwala to także wprowadzać dane dodatkowe wynikające z oceny przebiegu walki i decyzji stron walczących. W ten sposób stwarza się możliwość ingerowania człowieka w czasie realizacji eksperymentu symulacyjnego. Jest to szczególnie ważne w przypadku, gdy symulacja stosowana jest w grze wojennej. Wtedy ingerencja człowieka jest konieczna, umożliwia bowiem sterowanie eksperymentem symulacyjnym w taki sposób, aby osiągnąć założone cele ćwiczenia.

W grach wojennych funkcję kontrolną spełnia kierownictwo ćwiczenia, które ocenia wyniki uzyskane w rezultacie przeprowadzenia symulacji i decyduje o tym, jakie informacje o wynikach działań własnych wojsk oraz o stanie sił i środków przekazać walczącym stronom. Dane powyższe, po zrealizowaniu określonego epizodu strony walczące wykorzystują do wprowadzenia korekty w swojej strategii działania /lub dokonania wyboru no-

węj/ w następnych fazach działań bojowych. Kierownictwo ćwiczenia może również wprowadzić dodatkowe dane i dyspozycje dotyczące kontynuowania eksperymentu. Wariant ingerencji człowieka podczas realizacji eksperymentu symulacyjnego w grze wojennej przedstawiono na rys. 21. Wprowadzając możliwość ingerencji człowieka /kierownictwa ćwiczenia/ podczas realizacji eksperymentu symulacyjnego uwzględnia się potrzebę wykorzystania ekspertów wojskowych, których doświadczenie pozwoli zapełnić luki występujące w modelu symulacyjnym, a szczególnie te, które dotyczą oceny wyników symulacji.

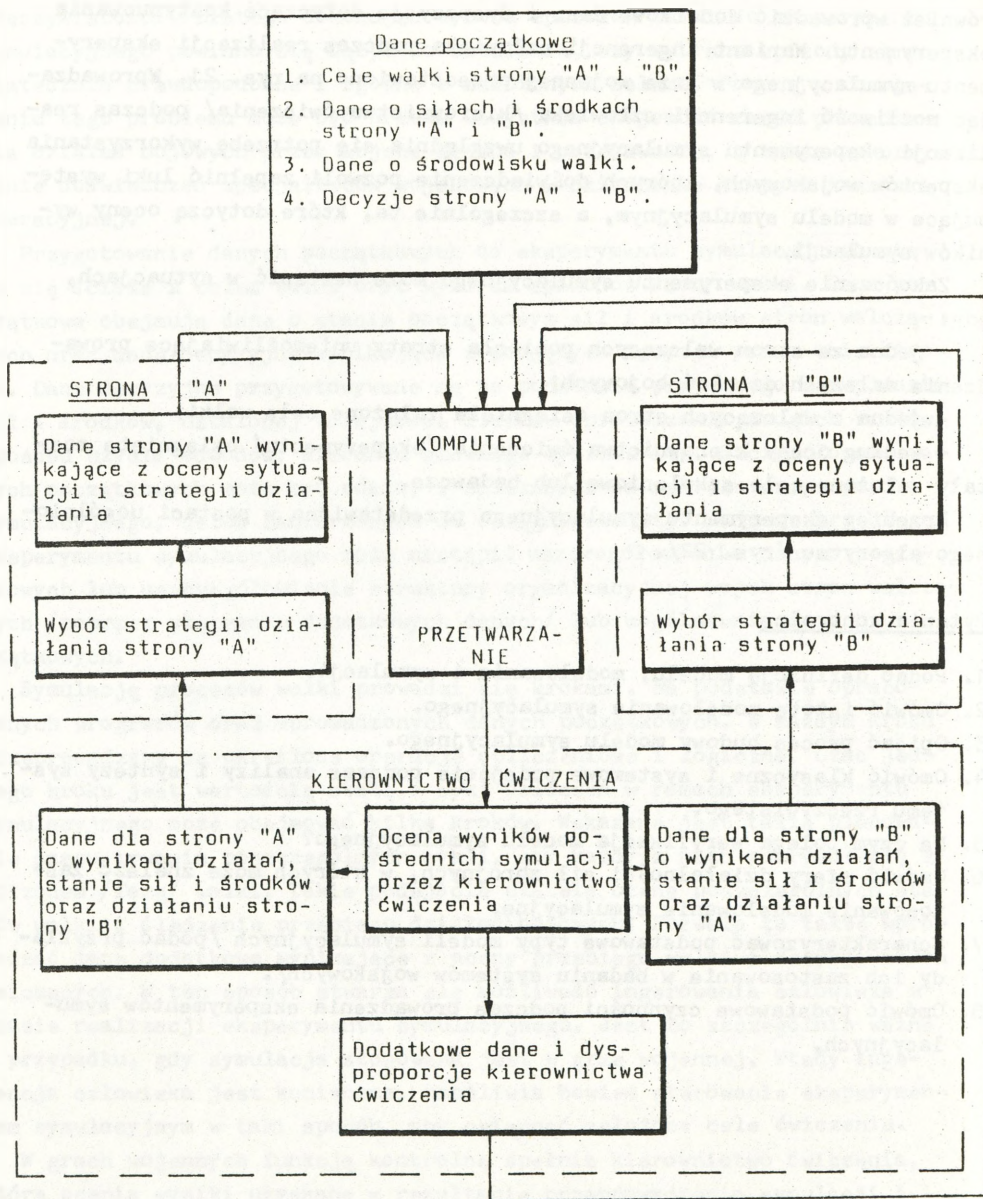
Zakończenie eksperymentu symulacyjnego może nastąpić w sytuacjach, gdy:

- jedna ze stron walczących poniosła straty uniemożliwiające prowadzenie dalszych działań bojowych;
- jedna z walczących stron osiągnęła założone cele walki;
- według oceny kierownictwa ćwiczenia /eksperymentu/ osiągnięte zostały założone cele szkoleniowe lub badawcze.

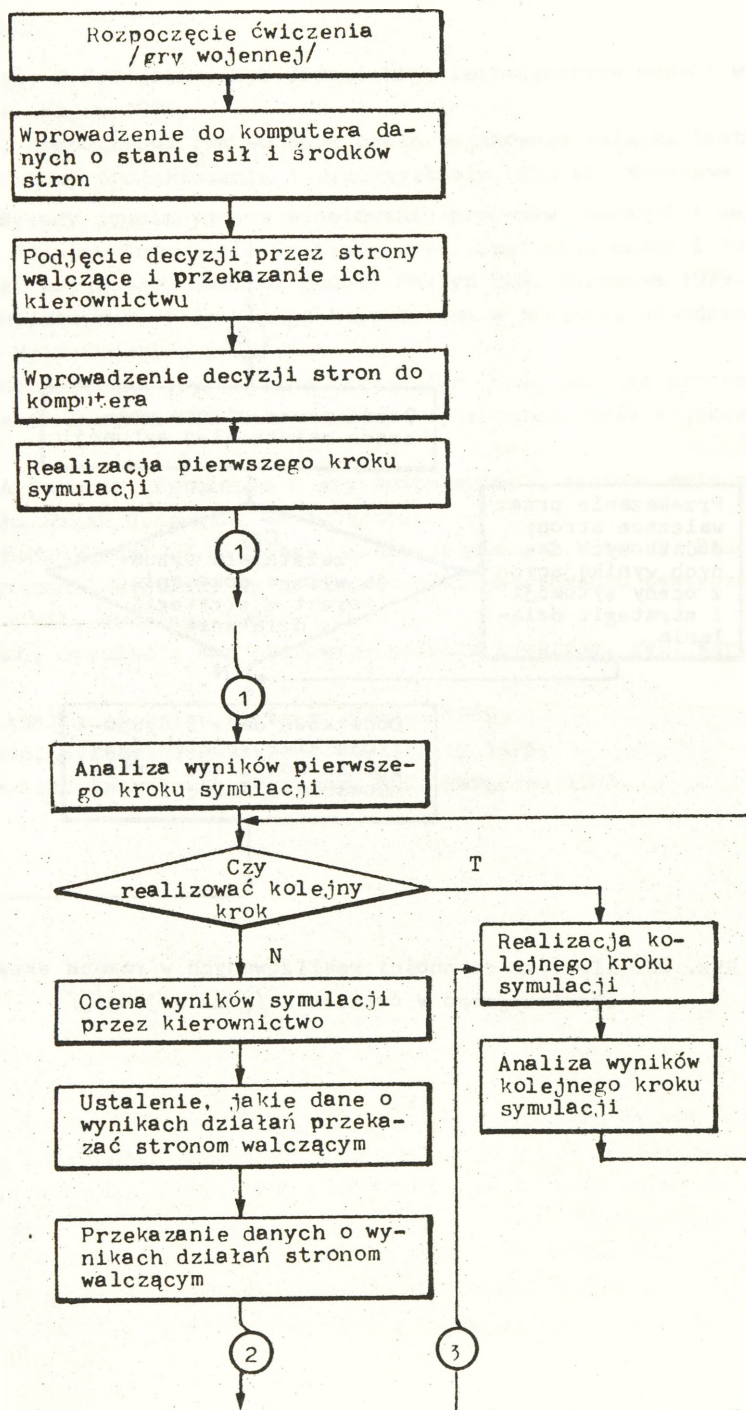
Przebieg eksperymentu symulacyjnego przedstawiono w postaci uogólnionego algorytmu /rys. 22/.

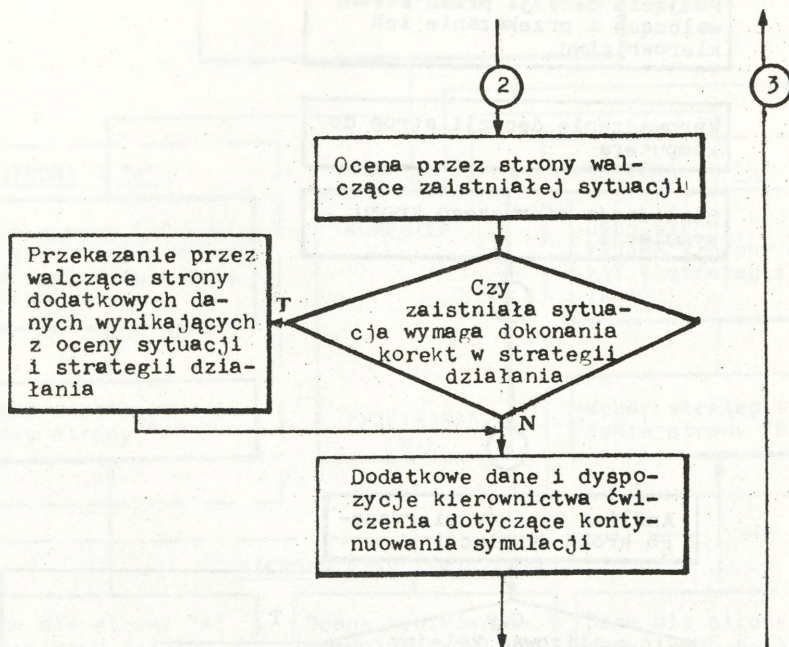
Pytania kontrolne

1. Podać definicję modelu, modelowania i symulacji.
2. Omówić istotę modelowania symulacyjnego.
3. Opisać proces budowy modelu symulacyjnego.
4. Omówić klasyczne i systemowe podejście podczas analizy i syntezy systemu rzeczywistego.
5. Na czym polega weryfikacja modelu symulacyjnego?
6. Omówić sfery działalności sił zbrojnych, w których może znaleźć zastosowanie modelowanie symulacyjne.
7. Scharakteryzować podstawowe typy modeli symulacyjnych /podać przykłady ich zastosowania w badaniu systemów wojskowych/.
8. Omówić podstawowe czynności podczas prowadzenia eksperymentów symulacyjnych.



Rys. 21. Wariant ingerencji kier. ćw. podczas realizacji eksperymentu symulacyjnego w grze wojennej





Rys. 22. Algorytm czynności realizowanych w ramach eksperymentu symulacyjnego w ćwiczeniu /grze wojennej/

Wykaz literatury

1. A.A.Bakajew, N.J.Kostina, N.W.Jarowickij, Imitacjonnyje modeli w ekonomikie. Kijew 1978.
2. A.Barczak, Komputerowa gra wojenna ogólnowojskowego związku taktycznego - podstawy projektowania i wykorzystania. ASG WP, Warszawa 1984.
3. W.Filar, Metody symulacyjne w modelowaniu procesów operacji i walki. II Szkoła Podstaw Inżynierii Systemów, wyd. Szefostwo Badań i Rozwoju Techniki Wojskowej, Komitet Budowy Maszyn PAN, Warszawa 1979.
4. W.Filar, Modelowanie i symulacja komputerowa w procesie dowodzenia wojskami. Myśl Wojskowa nr 5/84.
5. W.Filar, Symulacyjne gry wojenne narzędziem doskonalenia procesu przygotowania i szkolenia kadr dowódczo-sztabowych. Myśl Wojskowa nr 1/85.
6. W.Filar, A.Barczak, Symulacja i gry komputerowe w zastosowaniach wojskowych. Sztab Generalny WP 1209/85.
7. W.Filar, M.Mańkowski, K.Niziołek, M.Kinasiewicz, M.Urbaneck, Eksperymentalny model symulacyjny procesów walki na szczeblu taktycznym. Filia Nr 1 WII, Warszawa 1980.
8. G.S.Fishman, Symulacja komputerowa - pojęcia i metody. PWE, Warszawa 1981.
9. E.Kwejd, Analiz słożonych sistem. Moskwa 1969.
10. R.E.Shannon, Systems Simulation. New Jersey 1975.
11. P.Sienkiewicz, Inżynieria systemów. MON, Warszawa 1983.

IX. KOMPUTEROWE GRY WOJENNE. PROJEKTOWANIE I WYKORZYSTANIE

1. Wprowadzenie

Badania systemów działania prowadzone mogą być zarówno na systemie rzeczywistym, jak i w oparciu o jego model. W przypadku systemów walki /działań bojowych/, ze względu na ich specyfikę, badania prowadzone na systemie rzeczywistym będą praktycznie niemożliwe, a jeżeli możliwość taka zaistnieje, to będą one miały ograniczony i fragmentaryczny charakter. W warunkach pokojowych bowiem nie istnieje możliwość niejako "uruchomienia" systemów walki /przeprowadzenia rzeczywistych działań bojowych/ z zachowaniem pełnych realiów współczesnego pola walki. Przyczyną takiego stanu rzeczy są przede wszystkim względy natury humanitarnej oraz ograniczenia o charakterze ekonomiczno-terytorialnym. Jest rzeczą oczywistą, że brak możliwości przeprowadzenia badań na systemie rzeczywistym znacznie komplikuje analizę procesów walki i rozwiązywanie problemów związanych z oceną efektywności i prognozowaniem przebiegu działań bojowych. Jedynym bowiem w tej sytuacji źródłem informacji o zjawiskach i procesach pola walki są doświadczenia minionych i współczesnych wojen lokalnych oraz doświadczenia pokojowe, a przede wszystkim ćwiczenia i gry wojenne rozumiane jako określony rodzaj modeli systemów walki.

Ćwiczenia i gry wojenne stanowią współcześnie integralny element funkcjonowania sił zbrojnych, spełniając doniosłą rolę w systemie nauki wojskowej i praktycznej działalności dowództw i sztabów. Na przestrzeni wieków gry wojenne /terminu tego używano powszechnie do określenia różnego rodzaju ćwiczeń, jak i gier współcześnie rozumianych/ przeszły głęboką ewolucję od gier najprostszych stanowiących swoistego rodzaju formę "wojennej zabawy", poprzez różnego rodzaju odmiany szachów i gier sztywnych, do gier swobodnych tzn. takich, które w szerszym zakresie umożliwiły odwzorowanie elementów, zjawisk i procesów pola walki. Szczególnie intensywny rozwój gier wojennych odnotowujemy na przestrzeni ostat-

niego stulecia. W wykorzystywanych wówczas grach wojennych odwzorowywano wszystkie rodzaje sił zbrojnych i wojsk oraz wszystkie rodzaje i formy działań bojowych, a często także, uwzględniano w nich w szerokim zakresie problemy o charakterze politycznym. Stosowano wówczas gry wojenne przeznaczone były głównie do wypracowania namiarów i koncepcji przyszłych bitew i operacji oraz oceny skutków przewidywanych działań. W miarę jednak postępującej złożoności systemów walki i warunków prowadzenia działań bojowych, gry wojenne coraz częściej niej odpowiadały potrzebom nauki wojskowej i praktycznej działalności dowództw i sztabów. Taki stan rzeczy spowodowany był pojawieniem się barier metodologicznych i brakiem umiejętności praktycznych w zakresie opracowywania gier wojennych, a w szczególności odwzorowywania zjawisk, elementów i procesów walki adekwatnych do stopnia złożoności współczesnych systemów działań bojowych. Przyjmowane bowiem w procesie opracowywania gier założenia miały bardzo często charakter subiektywny i były głównie wynikiem logicznego myślenia, intuicji, co przy wzrastającej złożoności systemów walki i braku możliwości stosowania metod precyzyjnych np. modelowania matematycznego, nie zawsze zapewniało pożądaną użyteczność gry. Podkreślić należy również, że opracowywane wówczas gry były w zasadzie jednorazowego użytku. Powtórnie bowiem gra mogła być wykorzystana przede wszystkim do zrekonstruowania /odtworzenia/, czy też uzupełnienia uprzednio rozwiązywanych problemów. Czas trwania opracowywanych wówczas gier wojennych, głównie tych o charakterze naukowo-badawczym, a w szczególności czas odwzorowania /zasymulowania/ wybranych etapów /faz, epizodów/ działań bojowych był bardzo długi, co nie było bez wpływu na użyteczność gry.

Wydarzeniem, które w sposób istotny wpłynęło na wzrost użyteczności gier wojennych było pojawienie się techniki komputerowej. W wyniku bowiem zastosowania komputerów oraz wykorzystania, w szerokim zakresie w procesie projektowania i wykorzystania gier dorobku takich dyscyplin nauki, jak matematyka, psychologia, socjologia, cybernetyka i informatyka, gry wojenne zaczęły nabierać w coraz większym stopniu charakteru precyzyjnego narzędzia naukowo-badawczego i dydaktycznego oraz praktycznego narzędzia doskonalenia kadr dowódczo-sztabowych. Szczególnie istotny wpływ na taki charakter przeobrażenia gier wojennych miało pojawienie się nowych metod badawczych, jak analiza systemowa i symulacja komputerowa.

Powstanie i rozwój symulacji komputerowej wywarł istotny wpływ zarówno na ilościowy jak i jakościowy rozwój gier wojennych. Wykorzystując bowiem możliwości jakie stwarza symulacja komputerowa zaczęto opracowywać gry wojenne, których przedmiotem są takie zjawiska i procesy pola walki /obszary funkcjonowania systemów walki/, których ze względu na ich

złożony charakter nie istniała możliwość precyzyjnego odwzorowania poprzez wykorzystanie zespołów podgrywających, jak i metod modelowania matematycznego.

W wyniku wykorzystania w grach wojennych modeli symulacyjnych, które często stanowiły ich integralny element, w coraz większym stopniu zaczęły one nabierać charakteru gier komputerowych.

Komputerowe gry wojenne /KGW/ stanowią jakościowo wyższą formę rozwoju i zastosowań symulacyjnych modeli walki i są niejako rezultatem ich naturalnego rozwoju. Jako problem naukowo-badawczy pojawiły się wówczas kiedy z jednej strony na gruncie badań systemowych uświadomiono sobie, że gra jako zjawisko społeczne stanowić może paradygmat wielu złożonych systemów działania, z drugiej zaś kiedy doświadczenia w zakresie projektowania i wykorzystania informatycznych systemów dowodzenia pozwoliły sformułować tezę, że tendencją wynikającą z potrzeb współczesnego pola walki, będzie dążenie do projektowania systemów o aktywnej strukturze, przetwarzanych na komputerze zadań, tzn. takich, które wspomagają proces podejmowania decyzji poprzez przegrywanie różnych wariantów decyzji, przed podjęciem decyzji ostatecznej, tzn. takich, których integralnym elementem oprogramowania użytkowego będą symulacyjne modele walki.

Komputerowe gry wojenne stanowią syntezę dorobku wielu dyscyplin nauki, a w szczególności sztuki wojennej i nauk systemowych oraz bogatego wiekowego doświadczenia wielu armii w zakresie przygotowania i prowadzenia działań bojowych. Łączą w sobie w sposób umiętny te możliwości, jakie w zakresie odwzorowania zjawisk i procesów pola walki stwarza symulacja komputerowa, modelowanie matematyczne, a także nazwijmy to "tradycyjne" gry wojenne.

Pojawienie się takiego narzędzia jakim jest KGW przyniosło wiele nowych problemów poznawczych i projektowych, a także metodologicznych. Niektórym z nich poświęcono niniejsze opracowanie.

2. Gra jako model działania

Pojęcie gry obejmuje co najmniej kilka różnych desygnatów, od wyrażonych w języku potocznym do formułowanych w języku współczesnej matematyki.

Mówiąc o grze będziemy mieć na uwadze:

a/ model działania w złożonej sytuacji konfliktowej, tj. takiej w której uczestniczą co najmniej dwie strony posiadające sprzeczne cele działania, a w szczególności zaś:

- matematyczny model decyzyjny sytuacji konfliktowej /przedmiot teorii gier/;

- opisowy model decyzyjny sytuacji konfliktowej /przedmiot psychologii i socjologii, a także sztuki wojennej/;

b/ organizacyjną formę uczestnictwa w rozwiązywaniu złożonych sytuacji decyzyjnych, a w szczególności:

- gry wojenne;
- gry kierownicze /symulacyjne, komputerowe/;

c/ formę zachowań i uczestnictwa w funkcjonowaniu określonych grup społeczeństwa:

- gry dziecięce;
- gry sportowe;
- gry salonowe.

/Celem ich nie jest przede wszystkim kształtowanie umiejętności decyzyjnych, lecz po prostu przyjemność/.

Z powyższego wyróżnienia wynika, że w większości przypadków, mamy do czynienia, bądź z dążeniem do poznania mechanizmów decyzyjnych w sytuacjach konfliktowych, bądź do kształtowania specyficznych umiejętności podejmowania decyzji w tych sytuacjach. W szczególności cele te mogą się wzajemnie uzupełniać.

Gra jako model działania charakteryzuje się tym, że:

- posiada sprecyzowany cel;

- uczestnikami gier są ludzie realizujący w tym procesie swoje zmieniające się cele i zaspokajający różnorodne potrzeby. Zmienność ta wynika z niesprecyzowanego do końca układu preferencji graczy /wygrać czy zremisować, czy też zminimalizować przegraną/, które "uaktywniają się" w zależności od sytuacji oraz od wyników kolejnych rozgrywek;

- każda gra odbywa się w zmienionych warunkach wyznaczonych przez interakcje z instytucjonalnym, społecznym, ekonomicznym, ekologicznym i technicznym otoczeniem. Charakter tych interakcji jest zmienny w czasie i uczestnikom gry może być w różnym stopniu znany;

- istnieją względnie stałe reguły gry nie zawsze w jednakowym stopniu opanowane przez wszystkich uczestników gry;

- wartość wyniku gry jest dla wszystkich jej uczestników w różnym stopniu przewidywalna, a cenność tego wyniku jest różna;

- uczestnicy angażują się psychicznie w grę ze zmienną intensywnością, co jest zarówno funkcją przebiegu gry, jak i zmiennych predyspozycji uczestników gry;

- uczestnicy gry mogą tworzyć zmienne koalicje;

- uczestników gry cechować mogą określone motywacje, emocje i niekiedy pozornie irracjonalne działania;

- warunkiem prawidłowego przebiegu gry jest wspólny język jej uczest-

tników. Język ten nie zawsze jest jednak w tym samym stopniu opanowany przez wszystkich. Co więcej w trakcie przebiegu gry może on ulegać zmianom. Dzieje się to w wyniku działań określonych mianem "szulerstwo";

- każda gra ma pewną dramaturgię i określone reguły, które mogą być łamane w trakcie gry;

- każda gra powinna być realistyczna i wiarygodna;

- wygrana jednego uczestnika gry nie musi być zawsze przegraną innego, oznacza to, że gra może być o sumie niezerowej.

Powyższe cechy przysługują różnym działaniom /modelom/ w różnym stopniu. W różnym stopniu cechy te mogą być sformalizowane.

We współczesnej matematyce gra rozumiana jest jako matematyczny model konfliktu. Zakłada się w nim, że uczestnicy gry charakteryzują się między innymi tym, że:

- znają następstwa swoich alternatywnych decyzji;

- porządkują zbiór możliwych decyzji wg wielkości wypłat, które mogą otrzymać podejmując poszczególne decyzje;

- maksymalizują swoją oczekiwaną wygraną;

- przy wyborze poszczególnych strategii wykorzystują informacje o wielkości wypłat /wygranych/ pozostałych graczy;

- posiadają doskonałą percepcję, są absolutnie inteligentni oraz dysponują pełną informacją o otaczającym ich świecie.

W teorii gier zakłada się zwykle jednakowe charakterystyki dla wszystkich graczy, które z zasady przyjmują ekstremalne wartości. Niezależnie jednak od tego jak liczny byłby zbiór opisujących gracza cech /np. narodowość, sytuacja społeczna, rodzinna itp./, nie ma to żadnego wpływu na jego zachowanie się w trakcie przebiegu gry. Tak rozumiany uczestnik gry doskonale identyfikuje i ocenia swoje cele, które a priori są mu znane i nie ulegają zmianie w procesie realizacji gry /stabilny system wartościowania/.

W wyniku takiej interpretacji gracz w rozumieniu teorii gier nie jest przedmiotem socjologicznie uwarunkowanym, pełnym licznym cech, a racjonalnym automatem, który zna wszystko co powinien znać przed rozpoczęciem gry.

W przeciwieństwie do takiego podejścia, gracz /uczestnik gry/ w grach symulacyjnych /kierowniczych, wojennych/ nie jest abstrakcyjnym podmiotem, a konkretnym elementem gry, którego funkcjonowanie charakteryzuje się między innymi tym, że:

- zachowanie i działanie uzależnione jest od jego licznym cech, takich, jak np. sytuacja społeczna, poziom wiedzy i doświadczenia itp.;

- zdolność percepcji i stopień inteligencji jest ograniczony;

- cele i system wartości sprecyzowane są tylko częściowo i ulegają zmianie w czasie;

- informacje o otoczeniu są niekompletne /przy czym przetwarzanie tych informacji związane jest zwykle ze znacznymi kosztami/.

W teorii gier zbyt dużą rolę przypisuje się również samemu zabiegowi formalizacji sytuacji konfliktowej, pomijając najczęściej osobę decydenta, jako jednostki działającej w określonym kontekście historycznym i społecznym. Ponadto autorem prac w zakresie teorii gier uchodzi często-kroć uwadze fakt, iż sprowadzenie sytuacji konfliktowej do postaci gry jest zaledwie jednym z etapów podejmowania decyzji i dostarcza jedynie część informacji determinującej charakter oraz racjonalność podejmowanej decyzji.

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 lub lepsze poznanie ich przyczyn.

Metodologiczne znaczenie gry jako modelu działania polega na tym, że pozwala ona traktować jako cechy systemowe działania np. konfliktowość, niepewność, ryzyko. Ponadto pozwala uwzględnić przyczyny i skutki powstania tzw. barier systemowych takich, jak: bariera decyzyjna /decydentów/, bariera strukturalna, kulturalna itp. oraz rozpatrywać takie zjawiska jak dysonans poznawczy, syndrom grupowego myślenia.

Powyżej zostały wymienione potencjalne możliwości poznawcze i praktyczne gry, które są dość odległe od obecnych możliwości realnych. Te zaś determinują stan metodologii modelowania systemowego i stan techniki komputerowej.

3. Model komputerowy gry wojennej

Komputerowe gry wojenne są coraz powszechniej stosowane w większości liczących się współcześnie armiach. W pracach nad ich projektowaniem i wykorzystaniem zaangażowany jest liczący się potencjał naukowo-badawczy. Pomimo znacznego w ostatnich latach dorobku w zakresie teoretycznych podstaw projektowania komputerowych gier wojennych, istnieją ciągle znaczne różnice poglądów co do istoty, treści, struktury i sposobu ich wykorzystania. Wynikiem takiego stanu rzeczy jak należy sądzić, jest obserwowana w literaturze przedmiotu znaczna dowolność w sposobie definiowania komputerowej gry wojennej. Biorąc jednak pod uwagę wyniki prowadzonych aktualnie na gruncie socjologii, ekonomii, inżynierii systemów i nauk wojskowych badań, w rezultacie to których przyjęto traktować grę jako

paradygmat systemu działania, proponuje się przyjąć następującą definicję komputerowej gry wojennej.

K o m p u t e r o w a g r a w o j e n n a /KGW/ to wielowariantowy model funkcjonowania określonego systemu walki /np. typu oddział, związek taktyczny lub operacyjny/ oraz jego otoczenia /teren, wspierające i przydzielone siły i środki szczebla nadrzędnego, wojska nieprzyjaciela i sąsiadów/ w sytuacji konfliktowej typu walka zbrojna, w którym zasadnicze elementy, zjawiska i procesy realizowane w jego podsystemie działań bojowych odwzorowano w postaci symulacyjnych programów komputerowych, natomiast elementy, zjawiska i procesy realizowane w jego podsystemie dowodzenia odwzorowano na tej samej bazie materialnej co w systemie rzeczywistym. Te zaś zjawiska, procesy i elementy podsystemu działań bojowych, które nie uwzględniono w symulacyjnych programach komputerowych - odwzorowuje się stosownie do celu, charakteru i przeznaczenia gry poprzez wykorzystanie zespołów podgrywających.

Z przedstawionej definicji wynika, że do istotnych cech komputerowej gry wojennej zaliczyć należy między innymi to, że:

1. Istota, treść i struktura realizowanego w grze procesu dowodzenia jest identyczna jak w tradycyjnych grach wojennych - oznacza to między innymi, że:

a/ aktywnym elementem KGW jako modelu systemu walki są ludzie - uczestnicy gry, których udział w grze umożliwia niejako automatyczne odwzorowanie wpływu ich wiedzy, doświadczenia, umiejętności dowódczych, a często także irracjonalnych zachowań na jakość podejmowania decyzji, a w konsekwencji na przebieg działań bojowych. Czynniki te są najczęściej niekwantyfikowane, dlatego też próby opisu zachowań człowieka w złożonych sytuacjach decyzyjnych w postaci np. modeli matematycznych okazały się mało przydatne dla praktyki;

b/ decyzje dotyczące sposobu przygotowania i prowadzenia działań bojowych podejmowane są tylko i wyłącznie przez uczestników gry, tzn. że w KGW nie funkcjonują programowo realizowane reguły podejmowania decyzji. Takie elementy procesu dowodzenia, jak: analiza zadania, ocena położenia, wypracowanie zamiaru i jego uzasadnienie, podjęcie decyzji pozostają domeną twórczej pracy dowódcy i jego sztabu. Zastosowanie natomiast symulacji komputerowej w tym procesie pozwoli wielokrotnie zwiększyć możliwości dowódcy na każdym z wymienionych wyżej etapów. Rola dowódcy i jego sztabu w procesie zbierania i przetwarzania informacji oraz w wyborze optymalnego wariantu będzie decydująca. Żaden model symulacyjny nie pomoże jeśli dowódca nie zgłębi istoty i sensu zadania bojowego, jeżeli nie sformułuje precyzyjnie celu walki /operacji/, nie określi pod-

stawowych parametrów przyszłych działań bojowych, nie sprecyzuje zakresu i objętości informacji niezbędnych do wypracowania decyzji. Tylko twórcza myśl dowódcy i jego sztabu zdolna jest określić jakie dane o sytuacji bojowej są potrzebne do podjęcia decyzji i jakie dane użyć do przeprowadzenia eksperymentu symulacyjnego. Można zatem powiedzieć, że w KGW dowódca i jego sztab zachowują w pełni swoje predyspozycje i zdolności do twórczej pracy w zakresie przygotowania danych wejściowych do symulacyjnych programów komputerowych oraz do interpretacji i twórczego wykorzystania wyników;

c/ opracowywane przez uczestników KGW dokumenty bojowe /rozkazy, zarządzenia, mapy/ oraz funkcjonujący w grze obieg informacji mają identyczną postać i charakter jak w grach tradycyjnych.

2. Zjawiska, elementy i procesy walki odwzorowuje się przez wykorzystanie symulacyjnych programów komputerowych - oznacza to między innymi, że:

a/ realizowane przez pododdziały, oddziały i związki taktyczne poszczególne rodzaje wojsk, zarówno własnych jak i nieprzyjaciela, rodzaje i formy działań bojowych oraz związane z nim zjawiska i procesy odwzorowane są przede wszystkim przez programy symulacyjne, a nie przez zespoły podgrywające;

b/ podejmowane przez uczestników KGW decyzje "wprowadzane są" w postaci danych wejściowych do komputera w celu zasymulowania /odwzorowania/ przebiegu działań bojowych, tzn. komputerowi przekazane zostaną te operacje, które wykona on znacznie szybciej i dokładniej niż czynią to np. zespoły podgrywające;

c/ dostarczane uczestnikom KGW meldunki okresowe i doraźne komunikaty o stanie, położeniu i działaniu symulowanych pododdziałów i oddziałów "wyprowadzane są" na urządzenia końcowe /drukarka, monitor, grafoskop/ jako wyniki realizacji symulacyjnych programów komputerowych, a nie funkcjonowania zespołów podgrywających.

Powyższe ujęcie KGW pozwala na uwzględnienie zarówno aspektu dydaktycznego /narzędzie szkoleniowe, służące do kształtowania umiejętności decyzyjnych/, jak i aspektu poznawczego /narzędzie badawcze, służące do ilościowego wyrażania podstawowych cech procesu walki zbrojnej/.

Formalnie KGW można przedstawić w postaci:

$$KGW = \langle MS(PW), U, D, Rd, Sc \rangle$$

gdzie: MS PW - model symulacyjny procesu walki;

U - zbiór uczestników gry;

- D - zbiór dopuszczalnych decyzji uczestników gry;
 Rd - zbiór reguł decyzyjnych;
 Sc - zbiór scenariuszy działania.

Powyższe ujęcie oznacza, że w KGW uczestnicy w warunkach określonych reguł decyzyjnych i przyjętego scenariusza działania podejmują decyzje, które realizowane są za pomocą modelu symulacyjnego. Dzięki komputerowej realizacji modelu skutki tych decyzji mogą być oceniane oraz stwarzane takie sytuacje, które wymagają kolejnych decyzji itp.

Biorąc pod uwagę organizacyjno-techniczne warunki KGW, jak i zaproponowaną dla niej definicję możemy wyróżnić dwa podsystemy tworzące KGW, a mianowicie:

a/ system użytkownika /SU/, czyli zbiór uczestników gry i relacje między nimi, przy czym:

$$SU = \langle G, E, K, R_{CK}, R_{GE}, R_{EK} \rangle$$

gdzie: G - zbiór decydentów /dowódcy pododdziałów i oddziałów/ wojsk własnych i nieprzyjaciela;

E - zbiór ekspertów;

K - zbiór członków zespołu kierownictwa gry;

R_{CK}, R_{GE}, R_{EK} - zbiory relacji /np. $R_{CK} \subset G \times K$ /;

b/ system liczący /SL/, a w nim następujące elementy:

MS (PW) - s y m u l a t o r, czyli symulacyjny model procesów walki /zbiór wzajemnie powiązanych procedur obliczeniowych/;

BD - b a z a d a n y c h, czyli baza danych o wojskach własnych i nieprzyjaciela, oraz system zarządzania bazami danych;

SK - s y s t e m k o m u n i k o w a n i a się uczestników gry z zasadami komputerowymi /informacyjnymi i obliczeniowymi/.

Ogólną strukturę KGW przedstawiono na rys. 23.

Ogólnie model procesu można określić następująco:

$$M = \langle S, \Phi \rangle$$

oraz odpowiadające jemu funkcje:

- funkcję zmiany stanu procesu

$$\tau : T \times S \rightarrow S$$

- funkcję chwili zmiany stanu procesu

$$\varphi : T \times S \rightarrow T$$

- funkcję procesu

$$\Phi : T \times S \rightarrow T \times S$$

taką, że $\Phi(t, s) = \langle \tau(t, s), \psi(t, s) \rangle$

przy czym $\langle t, s \rangle \in T \times S$

gdzie: T - zbiór chwil czasu procesu;

S - zbiór stanów procesu.

Realizacja modelu polega na generowaniu kolejnych stanów procesu:

$$\langle s_1, t_1 \rangle = \Phi(s_0, t_0)$$

$$\langle s_2, t_2 \rangle = \Phi(s_1, t_1)$$

$$\langle s_n, t_n \rangle = \Phi(s_{n-1}, t_{n-1})$$

a zatem symulacyjny model procesu można zdefiniować następująco:

$$MS(PW) = \text{obl} (M, s_0, t_0)$$

gdzie: M - algorytm symulacji procesu.

Z kolei, model podejmowania decyzji w KGW może przyjąć następującą postać:

$$M(PD) = \langle S_K, K, D, V, T, \gamma, \delta, E \rangle$$

gdzie: S_K - zbiór stanów krytycznych procesu $S_K \subset S$;

K - zbiór komunikatów generowanych przez SL /meldunki okresowe i doraźne/;

γ - funkcja komunikatów o stanach krytycznych

$$\gamma: S_K \rightarrow K$$

δ - funkcja decyzji

$$\delta: K \times T \rightarrow D$$

E_A, E_B - funkcje efektywności A i B

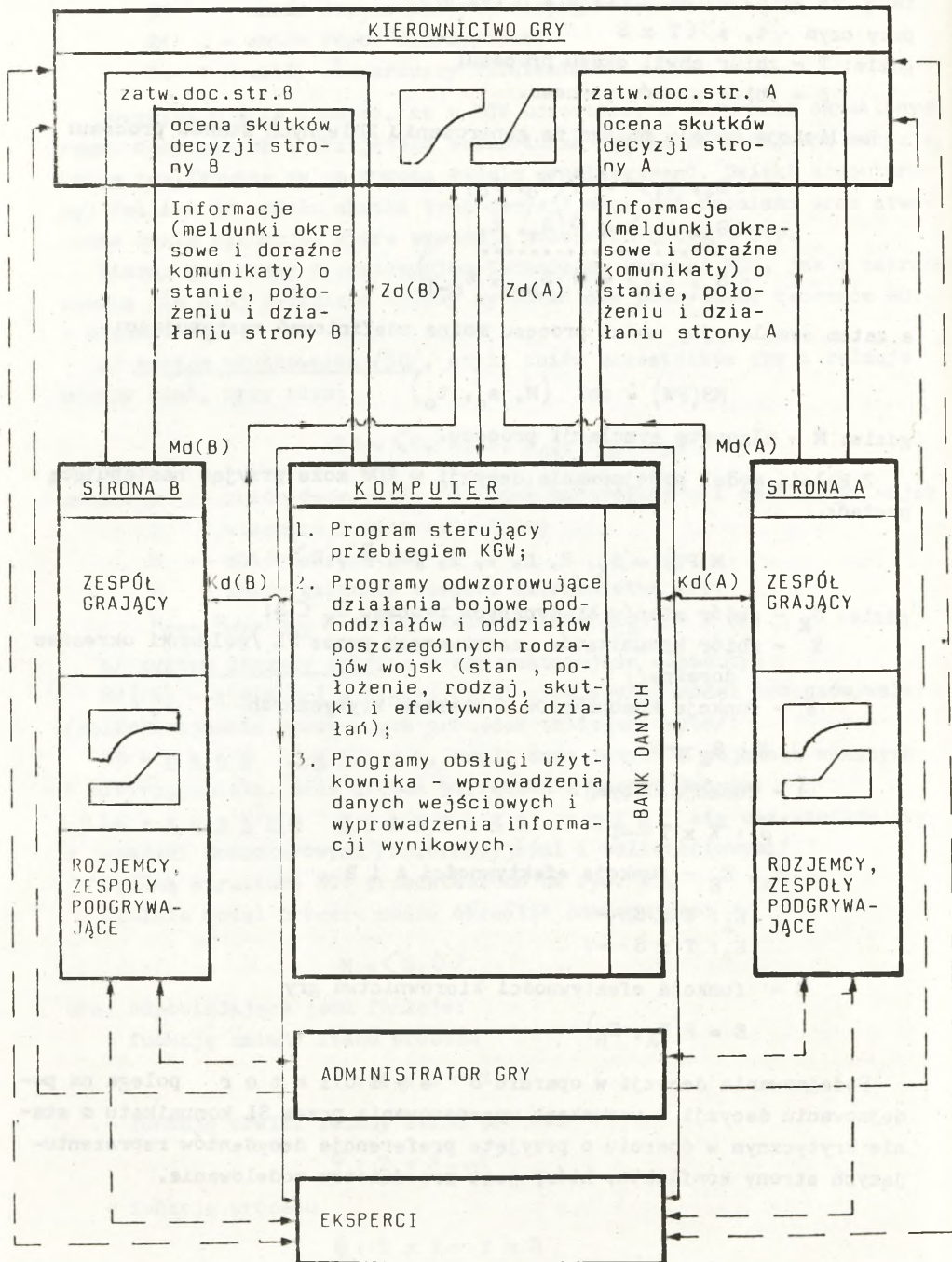
$$E_A: T \times S \rightarrow V$$

$$E_B: T \times S \rightarrow V$$

E - funkcja efektywności kierownictwa gry

$$E = F(E_A, E_B)$$

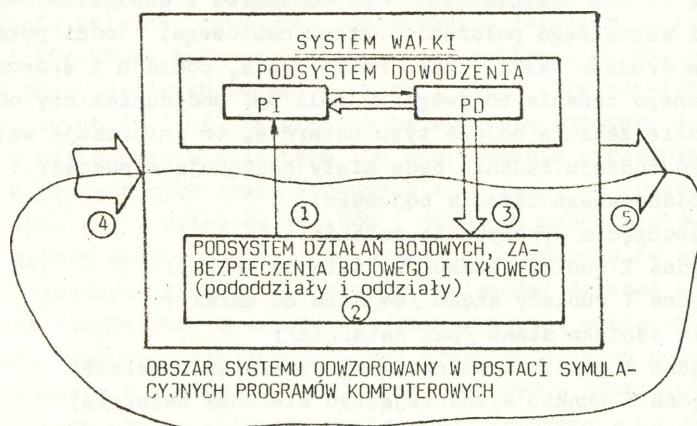
Podejmowanie decyzji w oparciu o symulator polega na podejmowaniu decyzji w warunkach wygenerowania przez SL komunikatu o stanie krytycznym w oparciu o przyjęte preferencje decydentów reprezentujących strony konfliktu, który jest przedmiotem modelowania.



Rys. 23. Ogólna struktura komputerowej gry wojennej

4. Projektowanie komputerowej gry wojennej

Komputerowa gra wojenna ze względu na zakres i stopień szczegółowości odwzorowania procesów walki ma charakter wielce złożonego systemu, którego proces projektowania, porównywalny jest z procesem projektowania informatycznego systemu dowodzenia o aktywnej strukturze przetwarzanych przez komputer zadań^{1/}. Z uwagi na wspomnianą złożoność, a także nowatorski charakter komputerowych gier wojennych oraz perspektywy jakie wiąże się z ich wykorzystaniem, celowym wydaje się być zarówno przedstawienie skali zadań i problemów jakie mogą pojawiać się w procesie projektowania KGW jak i sformułowanie ogólnych zasad dotyczących ich projektowania. Użytecznym narzędziem ułatwiającym kompleksowe ujęcie poruszonych zagadnień może być ogólny model systemu walki /rys. 24/.



Rys. 24. Ogólny model systemu walki

Z przedstawionego modelu wynika, że w systemie walki, którym, może być dowolny pododdział, oddział, związek taktyczny lub operacyjny, wyróżnić można podsystem dowodzenia oraz podsystem działań bojowych, zabezpieczenia bojowego oraz tyłowego. Podsystem dowodzenia ze względu na informacyjno-decyzyjny charakter sterowania, obejmuje podsystem informacyjny /PI/ i podsystem decyzyjny /PD/. Natomiast podsystem działań bojo-

1/ Informatyczny system dowodzenia o aktywnej strukturze przetwarzanych przez komputer zadań na taki system informatyczny, w którym użytkownik ma możliwość uzyskania /w trybie pracy interaktywnej/ kilka wariantów rozwiązań danego zadania ze wskazaniem, który z nich jest optymalny i w sensie jakiego kryterium.

rzządzającego. Opracowując wspomniane programy precyzuje się równocześnie treść i strukturę informacji wejściowych niezbędnych do ich wykorzystania. Informacje wejściowe mają charakter zarówno względnie stały jak i zmienny. Informacje względnie stałe stanowią odbicie rzeczywistości pola walki w zakresie dotyczącym między innymi wpływu terenu / 4 / i poszczególnych rodzajów środków walki / 2 / na przebieg działań bojowych. Informacje natomiast zmiennie opisują decyzje podejmowane przez uczestników KGW - dowódców pododdziałów i oddziałów poszczególnych rodzajów wojsk zarówno własnych jak i nieprzyjaciela i stanowią odbicie treści rozkazów i zarządzeń przekazywanych do walczących wojsk w rzeczywistych warunkach pola walki / 3 /. Treść informacji wejściowych zmiennych wynikać powinna z rozkazów i zarządzeń opracowywanych w rzeczywistym systemie działań bojowych.

Informacje te dla poszczególnych pododdziałów i oddziałów dotyczą między innymi aktualnego położenia, stanu osobowego, ilości poszczególnych rodzajów środków walki, czasu rozpoczęcia, rodzaju i sposobu wykonania planowanego zadania bojowego. Jeżeli np. pododdział czy oddział wykonywał będzie zadanie bojowe typu natarcie, to informacje wejściowe opisujące tego rodzaju zadanie będą miały następującą postać:

- rodzaj planowanego zadania bojowego;
- czas rozpoczęcia wykonywania zadania;
- współrzędna X rubieży ataku /wejścia do walki/;
- współrzędna Y rubieży ataku /wejścia do walki/;
- szerokość odcinka ataku /pas natarcia/;
- współrzędna X punktu wyznaczającego kierunek natarcia;
- współrzędna Y punktu wyznaczającego kierunek natarcia;
-
-
-
- współrzędna X punktu w terenie, którego osiągnięcie równoważne jest wykonaniu zadania bojowego /np. zadania bliższego, następnego lub dnia/;
- współrzędna Y punktu w terenie, którego osiągnięcie równoważne jest wykonaniu zadania bojowego /np. zadania bliższego, następnego lub dnia/.

Precyzowanie treści i struktury informacji wejściowych względnie stałych i zmiennych przebiega równoległe z procesem opracowywania programów komputerowych i stanowi jedną z końcowych faz procesu projektowania KGM.

W dotychczasowych rozważaniach zwracaliśmy głównie uwagę na wybrane problemy projektowania KGW, a w szczególności modelu symulacyjnego będącego jej integralnym elementem. Pominęto natomiast problematykę reguł

wych, zabezpieczenia bojowego oraz tyłowego obejmuje pododdziały /oddziały, związki taktyczne, .../ wszystkich rodzajów wojsk i służb. Z przedstawionego modelu wynika także, że system walki jest obiektem oddziaływania szeroko rozumianego otoczenia /4/, jak i sam na nie oddziałuje /5/. Na tle tak opisanego systemu walki prześledzimy główne czynności i fazy procesu projektowania KGW.

Projektowanie komputerowej gry wojennej należy rozpocząć od identyfikacji celu gry /naukowo-badawczy, dydaktyczny/ i precyzyjnego określenia systemu walki mającego być przedmiotem gry. Precyzyjne jego określenie decyduje o specyfice i zakresie prac projektowanych. Różny bowiem charakter będą miały prace projektowe nad KGW, przedmiotem której jest np. system walki typu ogólnowojskowy związek taktyczny, niż w przypadku, gdy systemem tym jest pułk lotnictwa myśliwsko-bombowego.

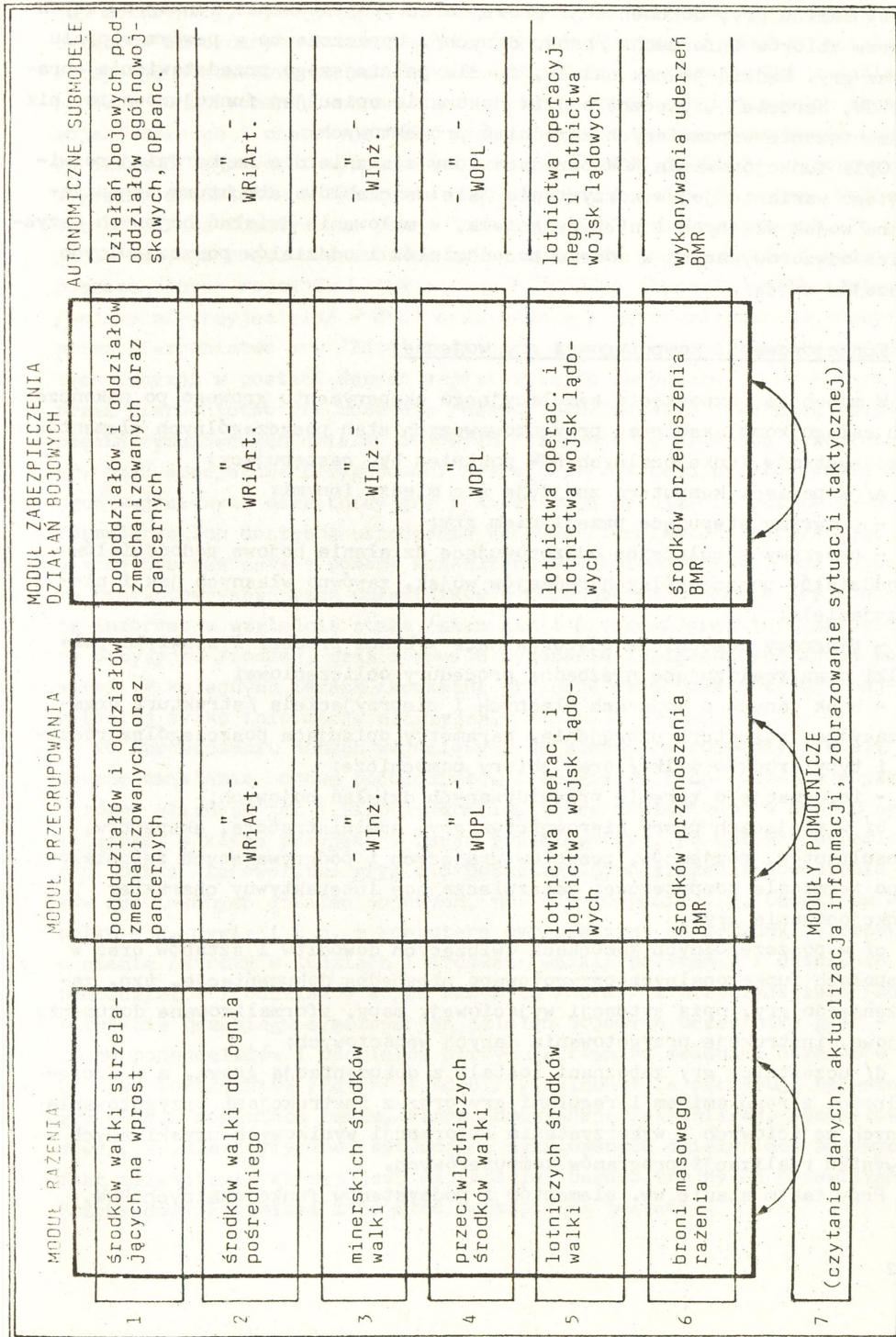
Określenie systemu walki mającego być przedmiotem KGW determinuje rozpoczęcie kolejnej fazy prac projektowych związanej z identyfikacją treści i struktury informacji jakie mogą napłynąć od pododdziałów i oddziałów poszczególnych rodzajów wojsk i służb w rzeczywistych działaniach bojowych / 1 /. Informacje te stanowią podstawę do analizy sytuacji i wypracowania kolejnych lub skorygowania uprzednio podjętych decyzji. W tradycyjnych grach wojennych informacje te przekazywane są uczestnikom gry - oficerom sztabów i dowódcom pododdziałów i oddziałów, przez zespoły podgrywające, jako wyniki odwzorowania /w sposób niekomputerowy/ wybranych fragmentów /etapów, epizodów/ działań bojowych. W grach natomiast komputerowych wspomniane informacje są wynikiem realizacji programów komputerowych symulujących przebieg działań bojowych. Wyprowadzane są one z komputera na urządzenia końcowe w postaci tabel, wykresów i graficznego obrazu sytuacji taktycznej. Informacje te mają najczęściej postać meldunków okresowych i doraźnych komunikatów. Meldunki okresowe przekazywane są uczestnikom gry w ustalonych okresach czasu i zawierają informacje o stanie ilościowym sił i środków walki, położeniu i rodzaju prowadzonych przez pododdziały i oddziały zadań bojowych. Komunikaty doraźne natomiast zawierają informacje o jakościowo nowych często krytycznych sytuacjach jakie zaistniały w symulowanych działaniach bojowych.

Informacje przekazywane uczestnikom KGW dotyczyć powinny takich zjawisk, procesów i elementów pola walki, które z jednej strony pozwalają stworzyć obraz działań bojowych w maksymalnym stopniu zbliżony do rzeczywistego ich przebiegu, a z drugiej zaś stawiać będą decydentów - dowódców pododdziałów i oddziałów, w złożonych sytuacjach decyzyjnych. Jeżeli np. zakładamy, że uczestnikom projektowanej gry powinny być dostarczane informacje o aktualnym stanie sił i środków walki, oznacza to, że w dzia-

łaniach bojowych odwzorowywanych w postaci symulacyjnych programów komputerowych / (2) / uwzględnić należy procesy niszczenia dla wszystkich rodzajów środków walki, tzn. strzelających na wprost, do ognia pośredniego, przeciwlotniczych, lotniczych, minerskich i BMR. Oznacza to z kolei, że w symulacyjnym modelu walki, który w finalnej formie przyjmuje postać programów komputerowych, uwzględnić należy działania bojowe pododdziałów i oddziałów zarówno wojsk własnych i nieprzyjaciela, które uzbrojone są w ww. środki walki. Jeżeli oprócz informacji o aktualnym stanie sił i środków walki, uczestnikom KGW dostarczane będą informacje o aktualnym położeniu walczących pododdziałów i oddziałów oraz np. o tempie natarcia oznaczać to będzie konieczność uwzględnienia w programach komputerowych procedur dotyczących przegrupowania wojsk, jak również wszystkich czynników wpływających na tempo natarcia. Reasumując należy stwierdzić, że szczegółowa analiza treści informacji dostarczanych uczestnikom KGW warunkuje określenie obszaru zjawisk i procesów realizowanych w podsystemie działań bojowych, zabezpieczenia bojowego i tyłowego, które powinny być przedmiotem symulacyjnego odwzorowania / (2) /, tzn. przedmiotem modelu symulacyjnego stanowiącego integralny element KGW.

Opracowanie modelu symulacyjnego stanowi kolejną złożoną fazę prac projektowych. Przed ich rozpoczęciem, precyzując niejako ostateczny wynik wspomnianej analizy, uzyskać należy odpowiedź na następujące pytania: jakiego rodzaju pododdziały i oddziały i jakie rodzaje realizowanych przez nie zadań bojowych oraz jakie zjawiska i procesy pola walki uwzględnić należy w procedurach komputerowych. Od tego bowiem w jakim zakresie i z jaką szczegółowością uwzględnione one zostaną w modelu symulacyjnym zależeć będą jego przyszłe granice i taktyczna treść, a w konsekwencji charakter KGW, która ze względu na pewne cechy uniwersalności ma zwykle charakter gry dwustronnej i wieloszczeblowej. Z uwagi na specyfikę środków walki będących na wyposażeniu poszczególnych rodzajów wojsk, a w konsekwencji różny sposób ich użycia, a co za tym idzie i odwzorowania w programach komputerowych oraz z uwagi na potrzeby przyszłych użytkowników KGW, symulacyjny model walki opracowuje się zwykle w postaci niezależnych modułów i autonomicznych submodeli. Taka konstrukcja modelu umożliwi prowadzenie symulacyjnych eksperymentów growych dla dowolnych rodzajów biorących udział w grze wojsk, a także znacznie zwiększa efektywność procesu projektowania KGW. Przykład najczęściej wyróżnianych w modelu symulacyjnym modułów i submodeli przedstawiono na rys. 25.

Model symulacyjny w swej finalnej postaci stanowić będzie zbiór programów komputerowych funkcjonujących pod kontrolą specjalnego programu za-



Rys. 25. Przykład wyróżnianych w modelu symulacyjnym modułów i submodeli

i regulaminu gry, dokumentacji growej oraz projektowania funkcjonujących w grze zbiorów informacji /banku danych/. Upraszcza to w pewnym stopniu obraz gry. Sądzić jednak należy, że dla pełniejszego przedstawienia obrazu KGW, bardziej użyteczne będzie dokonanie opisu jej funkcjonowania, niż prezentowanie wspomnianych zagadnień projektowych.

Opis funkcjonowania KGW przedstawiony zostanie dla najbardziej rozwiniętego wariantu jej wykorzystania /wieloszczeblowa struktura organizacyjna wojsk własnych i nieprzyjaciela, symulowanie działań bojowych wszystkich odwzorowywanych w modelu pododdziałów i oddziałów poszczególnych rodzajów wojsk/.

5. Funkcjonowanie komputerowej gry wojennej

W momencie rozpoczęcia symulacyjnego eksperymentu growego po zakończeniu całego kompleksu prac przygotowawczych stan poszczególnych elementów i podsystemów funkcjonalnych KGW powinien być następujący:

a/ w pamięci komputera znajdują się między innymi:

- programy sterujące przebiegiem gry;
- programy symulacyjne odwzorowujące działania bojowe pododdziałów i oddziałów poszczególnych rodzajów wojsk, zarówno własnych jak i nieprzyjaciela;

- programy pomocnicze odwzorowujące wybrane procesy i zjawiska pola walki oraz realizujące niezbędne procedury obliczeniowe;

- bank danych o wojskach własnych i nieprzyjaciela /struktura organizacyjna, struktura uzbrojenia, parametry opisujące poszczególne rodzaje i typy środków walki/ oraz zbiory pomocnicze;

- informacje o terenie przewidywanych działań bojowych;

b/ w miejscach pracy kierownictwa gry, administratora, ekspertów, konsultantów, rozjemców, zespołów grających i podgrywających zainstalowano terminale komputerowe, zabezpieczające interaktywny charakter funkcjonowania gry;

c/ w poszczególnych komórkach ćwiczących dowództw i sztabów oraz w zespołach funkcjonalnych przygotowano niezbędną dokumentację, tzn. założenia do gry, opis sytuacji wyjściowej, mapy, sformalizowane dokumenty bojowe, instrukcje przygotowania danych wejściowych;

d/ uczestnicy gry zapoznani zostali z dokumentacją grową, a w szczególności z regulaminem i regułami gry oraz z instrukcjami przygotowania danych wejściowych i wykorzystania informacji wynikowych uzyskiwanych w wyniku realizacji programów komputerowych.

Przy takim stanie ww. elementów i podsystemów funkcjonalnych KGW,

jej uczestnicy, występujący w rolach dowódców pododdziałów /oddziałów, związków taktycznych i operacyjnych/ wojsk własnych i nieprzyjaciela, otrzymają postawione przez dowódcę nadrzędnego systemu walki zadania bojowe. Po otrzymaniu wspomnianych zadań w komórkach ćwiczących sztabów wojsk własnych i nieprzyjaciela rozpocznie się proces planowania przebiegu działań bojowych i wypracowania decyzji przez dowódców odwzorowywanych w grze pododdziałów i oddziałów poszczególnych rodzajów wojsk. Proces ten przebiega identycznie jak w "tradycyjnych" grach wojennych. Po podjęciu decyzji przez uczestników gry - dowódców pododdziałów i oddziałów poszczególnych rodzajów wojsk strony A /wojska własne/ - d(A) i strony B /wojska nieprzyjaciela/ - d(B) oraz ocenie i zatwierdzeniu ww. decyzji przez kierownictwo gry /Zd(A) i Zd(B)/, następuje wprowadzenie podjętych decyzji w postaci danych wejściowych do komputera, w ustalonym przez kierownictwo gry momencie czasu, przyjmowanym jako czas rozpoczęcia symulowanych działań bojowych /czynność tę wykonują uczestnicy gry bądź specjalnie przygotowani operatorzy/. W celu przygotowania danych wejściowych uczestnicy gry wykorzystują specjalnie przygotowane formularze lub dostępne urządzenie końcowe /terminale/, korzystając w niezbędnym zakresie z pomocy konsultantów - informatyków. Dane wejściowe przygotowywane przez uczestników w momencie rozpoczęcia gry obejmują informacje względnie stałe /stan sił i środków/ oraz informacje zmienne decyzyjne /rodzaj, czas i sposób wykonania zaplanowanych zadań bojowych/. W kolejnych fazach /krokach/ gry dane wejściowe obejmują najczęściej tylko informacje decyzyjne.

Po wprowadzeniu danych wejściowych do komputera rozpoczynają się symulowane działania bojowe pododdziałów i oddziałów tych rodzajów wojsk - zarówno własnych jak i nieprzyjaciela, które odwzorowano w modelu symulacyjnym, a które przyjęto w danym przebiegu gry. Po upływie określonych /np. przez kierownictwo gry/ dla poszczególnych szczebli dowodzenia czasów symulowanych działań bojowych, np. dla kompanii 1 h, batalionu 2 h, pułku 4 h, dywizji 8 h, z komputera wyprowadzane są meldunki okresowe o stanie /straty w ludziach i środkach walki/ położeniu i działaniu pododdziałów i oddziałów wojsk własnych /Md(A)/ i nieprzyjaciela /Md(B)/. W trakcie przebiegu symulowanych działań bojowych uczestnicy gier - dowódcy pododdziałów i oddziałów otrzymują również meldunki doraźne w postaci tzw. komunikatów /Kd(A)/ i Kd(B)/. Meldunki te otrzymują uczestnicy gry w tych momentach czasu, które odpowiadają zaistniałej, jakościowo nowej, zwykle krytycznej sytuacji w symulowanych działaniach bojowych, fakt zaistnienia której jest najczęściej bardzo trudny do przewidzenia. Przykładowy komunikat może mieć następującą postać:

Dowódca 7 bp

Godz. G+2.35

Batalion osiągnął krytyczny stan sił i środków.
Podjęmij stosowną decyzję.

Oprócz wspomnianych meldunków okresowych i doraźnych komunikatów, kierownictwo gry i eksperci otrzymują także informacje o aktualnym ilościowo-jakościowym stosunku sił na poszczególnych kierunkach działań bojowych. Wszystkie z wymienionych informacji stanowią istotny element wspomagania kierownictwa gry w poprawnym przewidywaniu rozwoju sytuacji operacyjno-taktycznej, z uwzględnieniem decyzji stron walczących.

Na podstawie meldunków okresowych i doraźnych, po uprzedniej ocenie ich treści przez kierownictwo i ekspertów gry, uczestnicy gry dokonywać mogą stosownych zmian /korekt/ w sposobie realizacji zadań bojowych, zaplanowanych dla dowodzonych przez siebie pododdziałów i oddziałów wprowadzając w tym celu do komputera niezbędne dane wejściowe /informacje uzupełniające/.

Po wykonaniu przez określony pododdział czy oddział uprzednio zaplanowanego zadania bojowego /jeżeli sytuacja taka zaistnieje wówczas z komputera wyprowadzany jest specjalny komunikat, którego przykładowa treść może być następująca:

Dowódca 3 pcz

Godz. G+4.52

Puik osiągnął rubież zadania bliższego.
Zaplanuj kolejną sekwencję zadań bojowych.

uczestnik gry - dowódca omawianego pododdziału czy oddziału wprowadza opracowane na podstawie podjętej przez siebie decyzji dane wejściowe, opisujące rodzaj i sposób wykonania kolejnego zadania bojowego, np. zadania następnego /informacje wejściowe decyzyjne/.

W trakcie przebiegu gry, każdy z jej uczestników ma możliwość bieżącego informowania się i wpływania na przebieg symulowanych działań bojowych pododdziału czy oddziału w roli dowódcy, którego bierze udział w grze. Każdy z uczestników gry ma ponadto możliwość przed podjęciem decyzji ostatecznej, przegrania /zasymulowania/ wielu wariantów decyzji i na podstawie uzyskanych z komputera wyników, dokonania wyboru decyzji najlepszej w danej sytuacji taktyczno-operacyjnej.

Kierownictwo gry ma także możliwość sterowania przebiegiem gry w taki sposób aby osiągnięte zostały założone cele szkoleniowe. Zaznaczyć również należy, że ilość i rodzaj informacji o stronie przeciwnej, dostarcza-

nych poszczególnym uczestnikom gry jest na bieżąco regulowana przez kierownictwo gry.

Po wykonaniu określonych w założeniach do gry zadań bojowych przez wojska własne i nieprzyjaciela - o czym informacje przekazywane są za pomocą specjalnego komunikatu, następuje zakończenie gry. Gra zakończona może być również wówczas jeżeli jedna ze stron poniosła straty uniemożliwiające prowadzenie dalszych działań bojowych lub też w wyniku decyzji kierownictwa gry.

Przedstawiony opis funkcjonowania gry dotyczył najbardziej rozwiniętego jej wariantu i eksponował głównie dydaktyczno-szkoleniowy charakter gry. Ze względu jednak na uniwersalny charakter gry istnieje możliwość rozegrania dowolnego fragmentu /epizodu/ działań bojowych dla pododdziałów /oddziałów/ jednego lub kilku rodzajów wojsk oraz dla różnych szczebli dowodzenia i wykorzystania jej w podobny sposób do celów naukowo-badawczych. Przy czym podkreślić należy, że wykorzystanie KGW w celach naukowo-badawczych wymagać będzie najczęściej zaangażowania znaczenia mniejszej ilości ludzi.

6. Wykorzystanie komputerowej gry wojennej

Szczegółowa analiza możliwych obszarów zastosowań KGW wskazuje, że będzie ona mogła być wykorzystana do celów zarówno dydaktycznych, jak i naukowo-badawczych. Wykorzystanie gry w każdym z wymienionych obszarów zastosowań umożliwi między innymi:

a/ zastosowania dydaktyczne:

- symulowanie przebiegu działań bojowych dla różnych wariantów decyzji /wybór wariantu najlepszego w danej sytuacji taktyczno-operacyjnej/;
- sprawdzenie stopnia trafności podejmowania decyzji przez ćwiczących w czasie zajęć taktycznych na mapach;
- usprawnienie pracy zespołu autorskiego nad opracowaniem założeń i metodyki prowadzenia ćwiczenia;
- wspomaganie procesu opracowywania ćwiczeń i gier wojennych /wypracowanie zamiaru, koncepcji - scenariusza rozegrania działań bojowych/;
- usprawnienie kierowania przebiegiem ćwiczenia i wzbogacenie rozgrywanych sytuacji o elementy zbliżone do rzeczywistych procesów walki;
- prezentację /demonstrowanie/ zasad dowodzenia, głównie w aspekcie uwarunkowań informacyjno-czasowych pomiędzy poszczególnymi ogniwami i fazami procesu podejmowania decyzji;
- bieżące reagowanie przez uczestników KGW na przebieg symulowanych działań bojowych;

- sprawdzenie znajomości zasad dowodzenia oraz sztuki wojennej;
- ocenę wpływu stopnia trafności podejmowania decyzji na efektywność działań bojowych;
- nauczanie wielostronne tzn. niejako równocześnie z rozwiązywaniem założonych problemów decyzyjnych pojawiających się w procesie przebiegu KGW, jej uczestnicy zapoznają się z osiągnięciami, przedmiotem, pojęciami, a niekiedy i metodami badawczymi takich dyscyplin jak cybernetyka, informatyka, modelowanie matematyczne, psychologia itd.;
- indywidualizację nauczania, tzn. uczenie się w rytmie i w formie odpowiedniej do możliwości percepcyjnych i intelektualnych uczącego się;
- nauczanie myślenia w kategoriach systemowych, co uzyskuje się przez odwzorowanie w symulacyjnych programach komputerowych takiej ilości elementów i takiego obszaru zjawisk oraz procesów modelowanego systemu walki, którego dokładna analiza i ocena funkcjonowania możliwa jest przy stosowaniu reguł myślenia systemowego;
- nauczanie myślenia alternatywnego, co uzyskuje się przez "przegrywanie" przez uczestników KGW wielu wariantów podejmowanych decyzji, często diametralnie różnych, których skutki /stan systemu/ trudne do przewidzenia bez przeprowadzenia symulacyjnych eksperymentów growych;
- nauczanie praktycznego posługiwania się wybranymi technicznymi środkami informatyki, co sprzyja z jednej strony pokonywaniu istniejących u wielu uczestników KGW barier psychologicznych, które uwarunkowane są innowacyjnym charakterem gry i nieznaną jakością metod i środków informatyki, z drugiej zaś przyczynia się do kształtowania wysokiej kultury technicznej;
- uczenie się przez "przewidywanie", a nie przez "szok" po skutkach błędnie podjętych decyzji;
- kształcenie w duchu innowacji i nieszablonowości;
- nauczanie poprawnego toku rozumowania przez możliwość bieżącego obserwowania wpływu podejmowanych decyzji na przebieg symulowanych działań bojowych;
- inicjowanie takiego działania uczestników KGW, które wyzwala ich aktywność w stopniu nieporównywalnie większym niż to ma miejsce w innych metodach nauczania;
- głębsze poznanie zjawisk i procesów walki, przez fakt, że KGW angażuje intelektualnie i emocjonalnie uczestników gry w stopniu znacznie większym niż inne metody aktywnego nauczania;
- inicjowanie u uczestników symulacyjnej rozgrywki nowych pomysłów, idei, a także nowych problemów, co uzyskuje się przez stworzenie warunków /bieżące dostarczanie różnorodnych informacji o przebiegu symulo-

wanych działań bojowych/ do wnikliwej analizy zjawisk i procesów pola walki;

- wielokrotne wykorzystanie opracowanej gry dla różnych scenariuszy i danych wejściowych o modelowanym systemie walki i jego otoczeniu;

b/ zastosowania naukowo-badawcze:

- ocenę wpływu na przebieg i skuteczność działań bojowych między innymi:

1/ struktury organizacyjnej wojsk;

2/ struktury uzbrojenia wojsk;

3/ struktury ugrupowania bojowego pododdziałów i oddziałów;

4/ terenu, stosunku sił, skuteczności oddziaływania ogniowego pododdziałów i oddziałów poszczególnych rodzajów;

5/ dowodzenie wojskami;

- prognozowanie rozwoju struktury organizacyjnej i uzbrojenia oraz przebiegu przewidywanych działań bojowych pododdziałów i oddziałów poszczególnych rodzajów wojsk;

- badanie wzajemnych uwarunkowań i zależności informacyjnych, organizacyjnych, funkcjonalnych i decyzyjnych systemu walki będącego przedmiotem gry;

- prowadzenie kompleksowych badań systemu będącego przedmiotem gry w założonych warunkach hipotetycznych, a związanych zarówno z szeroko rozumianą strukturą systemu, jak i jego otoczeniem;

- odwzorowanie dynamiki funkcjonowania systemu działań bojowych będącego przedmiotem KGW w szerokim zakresie zmian warunków i parametrów opisujących jego funkcjonowanie;

- symulowanie określonych sytuacji problemowych w celu przeprowadzenia badań związanych między innymi z określeniem zakresu i treści współdziałania decydentów /uczestników KGW/ sposobu kształtowania się rzeczywistego przywództwa i wyrabiania autorytetu wśród uczestników eksperymentu growego oraz z określeniem np. czynników warunkujących kształtowanie się kolektywów growych.

Komputerowa gra wojenna w obszarze zastosowań naukowo-badawczych spełniać może oprócz swojej podstawowej funkcji poznawczej także funkcję weryfikacyjną i formalizacyjną.

Poznawcza funkcja KGW ujawnia się z całą siłą w procesie jej projektowania. Nigdy bowiem stan wiedzy o modelowym systemie nie jest taki, aby zespół projektowy znał całą specyfikę funkcjonowania systemu. Poznawcze funkcje komputerowej gry wojennej oceniane są często wyżej niż praktyczne rezultaty jej wykorzystania.

Weryfikacyjna funkcja KGW ujawnia się szczególnie w procesie eksperymentu symulacyjnego, kiedy to ścierają się różne koncepcje i hipotezy

"wkomponowane" w mechanizm gry, jak i formułowane przez jej uczestników. Funkcję tę spełnia KGW szczególnie wówczas, kiedy jej integralnym elementem jest moduł oceny /optymalizator/ podejmowanych przez uczestników gry decyzji.

Wyniki projektowania komputerowej gry wojennej oraz spostrzeżenia uzyskane przez jej uczestników umożliwiają często także formalny opis wybranych obszarów funkcjonowania systemu walki będącego przedmiotem gry, jak również pozwalają na formalny opis postępowania uczestników KGW przy rozwiązywaniu złożonych problemów decyzyjnych w złożonych sytuacjach operacyjno-taktycznych.

Pytania kontrolne

1. Podać definicję komputerowej gry wojennej.
2. Scharakteryzować treść i istotę komputerowej gry wojennej.
3. Scharakteryzować podstawowe elementy komputerowej gry wojennej.
4. Omówić sposób funkcjonowania komputerowej gry wojennej.
5. Określić możliwości wykorzystania komputerowych gier wojennych w dydaktyce.
6. Określić możliwości wykorzystania komputerowych gier wojennych w działalności naukowo-badawczej.

Wykaz literatury

1. A.Barczak, Komputerowa gra wojenna ogólnowojskowego związku taktycznego - podstawy projektowania i wykorzystania. ASG WP, Warszawa 1984.
2. A.Barczak, Komputerowe gry wojenne. Materiały kolokwium nt. "Inżynieria systemów w rozwoju społeczno-ekonomicznym i obronnym kraju". ASG WP, PAN, Warszawa 1985.
3. A.Barczak, Simulation Game as a Tool of Modern Control. Proceedings of the Fifth International Symposium. System-Modelling-Control, Zakopane, October 6-12. 1986.
4. W.Filar, A.Barczak, Symulacja i gry komputerowe w zastosowaniach wojskowych. SG WP, Warszawa 1985.
5. W.Filar, Modelowanie i symulacja komputerowa w procesie dowodzenia wojskami. Myśl wojskowa nr 5/84.
6. P.Sienkiewicz, Komputerowa gra wojenna jako urządzenie analizy systemowej procesów walki. Materiały I Symposium Zastosowania Modelowania i Symulacji Komputerowej w Wojsku. ASG WP, Warszawa 1982.

X. KIERUNKI ROZWOJU WSPÓŁCZESNYCH METOD BADAWCZYCH

Dokonany przegląd metod naukowych - użytecznych, zdaniem autorów, w badaniach wojskowych - ani nie wyczerpuje problematyki, ani nie zawiera sformułowań stanowiących ostateczną dyrektywę metodologiczną.

Każda z przedstawionych metod ma pewne wady i zalety, zależnie od celu i przedmiotu badań. Nie istnieje jedna i "jedynie słuszna" metoda rozwiązywania dowolnych problemów poznawczych i praktycznych. Istnieje natomiast wiele różnych metod i technik badawczych o zróżnicowanych cechach, takich jak: stopień ogólności /szczegółowości/, stopień sformalizowania procedur, stopień niezawodności uzyskiwanych rezultatów itp.

Dobór metody nie jest łatwym zadaniem i wymaga niewątpliwie doświadczenia, ale przede wszystkim wymaga znajomości współczesnego instrumentarium badawczego. Zarówno tego, które wiąże się z "technologią badań" /technicznym wspomaganie/, jak i tego, które należy łączyć z "metodologią badań". Nietrudno wykazać, jak ściśle związane są z sobą te dwie dziedziny i jakże bliskie są wszystkim, którzy podejmują określone działania poznawcze.

Kończąc prezentację wybranych współczesnych metod wojskowych badań naukowych warto podjąć refleksję nad kierunkami rozwoju metod wojskowych badań naukowych warto podjąć refleksję nad kierunkami rozwoju metod badawczych. Wszelkie prognozy obciążone są niepewnością, wynikającą z niepełnej znajomości wszystkich cech przedmiotu przewidywania /a także wzajemnych sprzężeń tego przedmiotu i jego otoczenia/ oraz subiektywnością poglądów ocen i wyborów dokonywanych przez uczestników tych działań. A jak przewidywać rozwój metod, który odbywa się "skokowo" i ma charakter wybitnie jakościowy?

Pewnych danych może dostarczyć w tym zakresie swoista "konfrontacja" potrzeb badawczych oraz obserwowanych poszukiwań nowych metod i technik. Inne źródło informacji może stanowić analiza współczesnych koncepcji nauki, sporów pomiędzy przedstawicielami różnych nurtów w filozofii nauki.

Być może podstawową opozycją filozofii nauki jest spór pomiędzy pozytywizmem a hipotetyzmem^{1/}. Zgodnie z pozytywizmem, sensem działalności poznawczej jest zwiększanie pewności, natomiast wedle hipotetyzmu - redukcja niepewności, z jaką akceptować mamy prawo nasze sądy. Każda metoda naukowa ma: stadium abstrakcji /idealizacji/ i stadium konkretyzacji. Warto ponadto zwrócić uwagę na dwie drogi postępowania, wyrażające różnice między fizyką Arystotelesa a fizyką Galileusza.

Pierwsza operuje zdroworozsądkowymi uogólnieniami codziennych obserwacji, druga oparta jest na założeniu, że nie wszystko, co jest, jest ważne po trochu, lecz są w rzeczywistości czynniki zasadnicze i uboczne.^{2/} Dodajmy, że te dwie postawy dostrzegane są także na gruncie metodologii wojskowych badań naukowych. Podkreślić natomiast należy, że bliższa metodzie naukowej we współczesnym jej ujęciu, jest z pewnością druga z wymienionych wyżej postaw, tzn. postawa "galilejska".

Bez względu na przyjętą postawę, w działalności poznawczej sięga się niekiedy nawet po bardzo różne metody i techniki. Niektóre z nich można utożsamiać z indukcyjnym, zaś inne - z dedukcyjnym ujęciem przedmiotu badań. Jedne z ujęciem redukcjonistycznym /kartezjańskim/, a drugie - z ujęciem holistycznym /systemowym/.

Pomimo tak znacznego zróżnicowania i, w istocie nieuporządkowanego obszaru ogólnej refleksji metodologicznej można wyróżnić czynniki, dzięki którym nabierze sensu próba określenia kierunków rozwoju metod badawczych.

Oto ogólne wnioski dotyczące rozwoju metod w obszarze wojskowych badań naukowych:

- 1/ w badaniach indukcja towarzyszyć będzie dedukcji /lub odwrotnie/;
- 2/ analiza będzie "wspomagać" syntezę;
- 3/ tradycyjne /konwencjonalne/ metody i techniki badawcze będą rozwijane i stosowane obok metod "nowoczesnych";
- 4/ procedury algorytmiczne będą stosowane wraz z procedurami heurystycznymi;
- 5/ decydujący wpływ na wybór konkretnych technik i procedur mieć będzie zapewne rozwój informatyki.

Jeśli chodzi o sposoby rozwiązywania problemów /sytuacji/ decyzyjnych, to powinno nastąpić większe niż dotychczas zainteresowanie istniejącymi już metodami i technikami optymalizacji. Dotychczasowe zainteresowanie nimi należy określić jako umiarkowane. Wynika to m.in. stąd, że stosowane modele nie ujmują złożonych i mających duży wpływ na działanie sys-

1/ L.Nowak, U podstaw dialektyki marksistowskiej. PWN, Warszawa 1977.

2/ L.Nowak, Wstęp do idealizacyjnej teorii nauki. PWN, Warszawa 1977.

temów różnych czynników subiektywnych i niemierzalnych /bądź trudnierzalnych/, a ponadto dotychczasowe systemy informacyjne nie zapewniały pełnych, aktualnych i niezawodnych danych wejściowych dla modeli decyzyjnych /optymalizacyjnych/.

Obecnie wspomniane trudności są już znacznie mniejsze, dzięki nowej technice informatycznej oraz nowym metodom pomiaru i statystycznej analizie danych. Niekiedy podnoszony był zarzut, iż stosowane metody wymagają danych reprezentowanych przez ściśle i dokładne wartości, gdy tymczasem wiele wielkości charakteryzujących modelowane zjawiska nie można wyrazić w sposób precyzyjny. Mamy w tych przypadkach do czynienia ze zmiennymi lingwistycznymi, wielkościami nieprecyzyjnymi, rozmytymi itp.

Warto zatem zwrócić uwagę na fakt, iż w ciągu ostatnich kilkunastu lat rozwinęła się teoria zbiorów rozmytych, znajdując zastosowania w tak rozmaitych dziedzinach, jak taksonomia, topologia, lingwistyka, teoria automatów, logika, teoria sterowania, teoria gier, teoria informacji, analiza decyzji, teoria systemów, informatyka.

Celem teorii zbiorów rozmytych jest dostarczenie podstawy pojęciowej dla logiki rozmytej i tego, co można by nazwać rozumowaniem przybliżonym, czyli takim rodzajem rozumowania, który nie jest bardzo ścisły ani bardzo nieścisły. Rozumowanie takie odgrywa podstawową rolę w podejmowaniu decyzji przez ludzi, ponieważ określa pewien sposób postępowania, gdy problemy są zbyt złożone, by można było je rozwiązywać ściśle.^{3/}

Znane są także przykłady zastosowań teorii zbiorów rozmytych w tzw. inżynierii wiedzy lub bazach wiedzy, czy systemach ekspertowych. Ten natomiast obszar nowoczesnych badań identyfikowany jest z ważną dziedziną cybernetyki i informatyki, a mianowicie z tzw. sztuczną inteligencją^{4/}. Warto o tej dziedzinie w tym miejscu wspomnieć, gdyż z jej rozwojem wiązały się poszukiwania nowych metod rozwiązywania problemów^{5/}.

Natomiast w dziedzinie modeli i metod decyzyjnych należy oczekiwać dalszego postępu w komputerowych systemach dialogowej /interaktywnej/ optymalizacji.

Pewny jest w zasadzie dalszy postęp w dziedzinie symulacji procesów ciągłych i dyskretnych, co może wyrażać się w rozszerzeniu zakresu zastosowań firmowych "pakietów" modeli symulacyjnych.

3/ Przykładem wojskowego zastosowania teorii zbiorów rozmytych może być opracowanie A.Sowy, zamieszczone w pracy zbiorowej: P.Sienkiewicz /red./ "Metody optymalizacji w systemach dowodzenia", ASG WP, 1986.

4/ Np. P.Sienkiewicz, "Golem i autonom a problemy sztucznej inteligencji". PTC, Warszawa 1986.

5/ Np. zbiorowa praca pt. "Realność i prognozy iskusstwiennogo intelektu". Moskwa, Mir 1987.

Już obecnie swoistą syntezą metod optymalizacji, symulacji komputerowej oraz sztucznej inteligencji są tzw. systemy wspomaganie decyzji^{6/}.

Niekwestionowaną pozycję wśród rozwijających się metod zajmuje analiza systemowa wraz z technikami oceny efektywności systemów^{7/} i analiz wielowariantowych^{8/}. Jej znaczenie będzie zapewne rosło wraz z rozwojem ekonomicznych, politycznych i wojskowych zastosowań analizy systemowej. Z tym z kolei łączy się rozwój tzw. modelowania globalnego, pozwalającego na symulacyjne analizy zachowania się wielkich systemów rzeczywistych w różnych warunkach rozwojowych.

W niniejszym podsumowaniu poruszono siłą rzeczy tylko niektóre wybrane zagadnienia, zwłaszcza te, które wynikają z postępu w dziedzinie metodologii badań systemowych.

Na zakończenie nie od rzeczy będzie wspomnieć o nader trafnych i lakonicznych uwagach Tadeusza Kotarbińskiego o dwóch - przejawiających się także w opracowaniu postawach metodologicznych: o redukcjonizmie nieopozytywistów i holizmie "systemowców". O pierwszym profesor powiedział: "tu jasno, ale płytko", natomiast o drugim wyraził się następująco: "tu głęboko, ale ciemno".

Z tych myśli wynika, że droga do prawdy wytyczona będzie przez redukcjonizm, bez którego nie ma postępu, oraz holizm /"systemowość"/, bez którego człowiek nauki ma zbyt zawężone horyzonty.

6/ DSS, ang. Decision Support Systems.

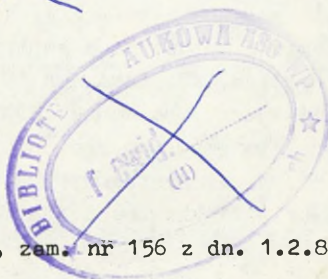
7/ Np. P.Sienkiewicz, Teoria efektywności systemów. Ossolineum, Wrocław 1987.

8/ P.Sienkiewicz, Analiza systemów, KiW, Warszawa 1988.

BIBLIOGRAFIA

1. K.A. Jędrzejewicz, Zarzys logiki. PZWS, Warszawa 1957.
2. A. Barczak, Komputerowa gra wojenna ogólnowojskowego związku taktycznego - podstawy projektowania i wykorzystania. ASG WP, Warszawa 1984.
3. A. Barczak, Komputerowe gry wojenne. Materiały kolokwium nt. "Inżynieria systemów w rozwoju społeczno-ekonomicznym i obronnym kraju. ASG WP, PAN, Warszawa 1985.
4. J. Benjamin, C. Cornell, Rachunek prawdopodobieństwa, statystyka matematyczna i teoria decyzji dla inżynierów. WNT, Warszawa 1977.
5. W. Bojarski, Podstawy analizy i inżynierii systemów. PWN, Warszawa 1984.
6. A. Chojnacki, Modelowanie matematyczne. WAT, Warszawa 1986.
7. J. Czujew, Badania operacji w wojsku. MON, Warszawa 1972.
8. W. Filar, A. Barczak, Symulacja i gry komputerowe w zastosowaniach wojskowych. SG, WP, Warszawa 1985.
9. W. Filar, Modelowanie i symulacja komputerowa w procesie dowodzenia wojskami. Myśl Wojskowa nr 5/84.
10. W. Findeisen /red./, Analiza systemowa. Podstawy i zastosowania. PWN, Warszawa 1985.
11. G. Fishman, Symulacja komputerowa. Pojęcia i metody. PWE, Warszawa 1981.
12. J. Gutenbaum, Modelowanie matematyczne systemów. PWN, Warszawa 1987.
13. J. Kacprzyk, Zbiory rozmyte w analizie systemowej. PWN, Warszawa 1986.
14. J. Konieczny, Cybernetyka walki. PWN, Warszawa 1970.
15. J. Konieczny, Inżynieria systemów działania. WNT, Warszawa 1983.
16. B. Korzan, Elementy teorii grafów i sieci. WNT, Warszawa 1978.
17. J. Kozielecki, Psychologiczna teoria decyzji. PWN, Warszawa 1977.
18. L. Kuleszyński, Dowodzenie wojskami a cybernetyka. MON, Warszawa 1967.
19. R. Łukaszewicz, Dynamika systemów zarządzania. PWN, Warszawa 1975.
20. Mała encyklopedia logiki. Ossolineum, Wrocław-Warszawa-Kraków 1970.
21. Mały słownik cybernetyczny /red. M. Kempisty/. WP, Warszawa 1973.
22. M. Mazur, Cybernetyka i charakter. PIW, Warszawa 1975.
23. S. Pabis, Metodologia i metody nauk empirycznych. PWN, Warszawa 1985.
24. J. Piaget, Strukturalizm. WP, Warszawa 1972.
25. Rachunek probabilistyczny, poradnik. MON, Warszawa 1973.
26. A. Rogucki, Analiza systemów w planowaniu obrony. MON, Warszawa 1975.
27. P. Sienkiewicz, Inżynieria systemów. MON, Warszawa 1983.
28. P. Sienkiewicz, Teoria efektywności systemów. Ossolineum, Wrocław 1987.

29. P.Sienkiewicz, Inżynieria systemów kierowania. PWE, Warszawa 1988.
30. P.Sienkiewicz, Poszukiwanie Golema, czyli o cybernetyce i cybernetykach. KAW, Warszawa 1988.
31. P.Sienkiewicz, Analiza systemów. KiW, Warszawa 1989.
32. P.Sienkiewicz, M.Szczepaniak, W.Więckowski, Dowodzenie z komputerem. Realia i perspektywy. MON, Warszawa 1984.
33. T.Tyszką, Analiza decyzyjna i psychologia decyzji. PWN, Warszawa 1986.
34. H.Wagner, Badania operacyjne. Zastosowania w zarządzaniu. PWE, Warszawa 1980.
35. E.Wiśniewski, K.Jagleńo, J.Nowakowski, Metodyka wojskowych badań naukowych. ASG WP, Warszawa 1983.
36. S.Ziemba, W.Jarominek, R.Stanisławski, Problemy teorii systemów. Ossolineum, Wrocław 1980.



Druk. ASG WP-WKP/N-XXIV-114, zam. nr 156 z dn. 1.2.89 r.