

Do
użytku
wewnętrznego

Prof. dr Marian Mazur

C Y B E R N E T Y K A
a
Z A R Z A D Z A N I E

Wojewódzka i Miejska
Biblioteka Publiczna w Rzeszowie

A-28042



001-0032622-00

MINISTERSTWO SPRAW WEWNĘTRZNYCH
DEPARTAMENT SZKOLENIA I WYDAWNICTW
Warszawa 1969

Redaktor M. STĘPNIAK

Korektor A. SKRZYDŁO

Wydanie I. Ark. druk. 11,5. Ark. wyd. 12. Oddano do składania
w kwietniu 1968 r. Druk ukończono w lutym 1969 r.

Rzeszowskie Zakłady Graficzne w Rzeszowie, ul. Marchlewskiego 19
Zam. 2641 z dnia 9. IV. 1968 r. XXX—24 M-3-14

S P I S T R E S C I

	Strona
OD REDAKCJI	5
ROZDZIAŁ PIERWSZY	
O cybernetyce	7
1.1. Zarys historyczny	7
1.2. Definicja cybernetyki	9
ROZDZIAŁ DRUGI	
Sprzężenie	11
2.1. Pojęcie sprzężenia	11
2.2. Rodzaje sprzężeń zwrotnych	12
2.3. Zastosowanie teorii sprzężeń	24
ROZDZIAŁ TRZECI	
Informacja	29
3.1. Zarys historyczny	29
3.2. Ilość informacji	31
3.3. Pojęcie informacji	36
3.4. Przetwarzanie komunikatów	39
3.5. Przenoszenie informacji	41
3.6. Przetwarzanie informacji	48
3.7. Rodzaje informacji	51
3.8. Przelotność informacyjna	53
ROZDZIAŁ CZWARTY	
Sterowanie	56

ROZDZIAŁ PIĄTY

	Strona
Podstawy cybernetycznej teorii myślenia	65
5.1. Zagadnienie myślenia	65
5.2. Układ samodzielny	67
5.3. Korelacja	71
5.4. Cybernetyczna interpretacja procesów psychicznych	78

ROZDZIAŁ SZÓSTY

Prakseologia	82
6.1. Zarys historyczny	82
6.2. Zasady prakseologii	83
6.3. Prakseologia a cybernetyka	89

ROZDZIAŁ SIÓDMY

Podejmowanie decyzji	97
7.1. Pojęcie decyzji	97
7.2. Decyzje samorodne	99
7.3. Decyzje prognostyczne	103
7.4. Decyzje probiercze	107
7.5. Decyzje optymalizacyjne	114

ROZDZIAŁ ÓSMY

Kierownictwo	160
BIBLIOGRAFIA	177
SKOROWIDZ RZECZOWY	179

OD REDAKCJI

W rozwoju współczesnej wiedzy obserwujemy dwie tendencje: specjalistyczną i integracyjną. Tendencja specjalistyczna wyraża się w powstawaniu wysoko wyspecjalizowanych dziedzin, np. chemii makromolekularnej, teorii maszyn elektrycznych czy lingwistyki matematycznej, w których stosuje się specyficzne metody badawcze. Tendencja integracyjna wiąże się z powstaniem takich dziedzin wiedzy, jak na przykład cybernetyka, operująca metodami i pojęciami, które można stosować w różnych dziedzinach nauki i praktyki. Z tych też względów zainteresowanie cybernetyką jest ogromne, mówi się nawet o modzie na cybernetykę.

Cybernetykę można stosować w biologii, psychologii, kryminalistyce, prawie, socjologii, w naukach technicznych. Można ją również stosować i w działalności naszego resortu. Jednakże, aby można było z tej nauki osiągnąć praktyczne korzyści, należy znać jej przedmiot i metody badawcze. Książka prof. M. Mazura ma właśnie taki cel: zapoznać Czytelnika z podstawowymi pojęciami cybernetyki oraz z niektórymi jej działami. Znajdzie w niej Czytelnik definicję cybernetyki, rodzaje sterowania i sprzężeń, najważniejsze zagadnienia teorii informacji, oryginalną koncepcję układu samo-sterownego (model myślenia) oraz duży dział poświęcony decyzjom i problematyce kierownictwa.

Książka napisana jest jasno i przejrzystie. Wymaga jednak od Czytelnika minimum wiedzy z zakresu szkolnej algebry oraz umiejętności śledzenia wywodu matematycznego. Licząc się z tym, że nie wszystkich może interesować matematyczna strona rozważań, określone fragmenty tekstu zostały wydrukowane mniejszą czcionką. Nie oznacza to, iż są to fragmenty mało istotne, są jednak nieco trudniejsze do zrozumienia — zwłaszcza dla Czytelnika słabo wdrożonego do myślenia matematycznego.

Ze względu na możliwość praktycznych zastosowań cybernetyki, chcielibyśmy zwrócić uwagę na rozdziały poświęcone prakseologii, decyzjom i kierownictwu. Omawia się w nich różne formy podejmowania decyzji, łącznie z decyzjami optymalnymi oraz problematykę kierowania ludźmi w aspekcie przekazywania informacji.

Należy przy tym uczynić uwagę, że rozwój dotyczący zjawisk społecznych, szczególnie w rozdziałach traktujących o kierowaniu ludźmi i innych formach działania ludzkiego, autor przedstawił za pomocą schematów idealnych, koniecznych w rozważaniach o charakterze matematycznym. Jest to pewne uproszczenie, toteż wskazania oparte na takich rozważaniach nie dają się przenosić bezpośrednio do praktyki społecznej. Wartość ich polega na okazaniu ogólnych zasad odgrywających istotną rolę w funkcjonowaniu społeczeństw z punktu widzenia procesów sterowania

Jest to pierwsza nasza publikacja książkowa poświęcona tej nielatwej, ale ogromnie użytecznej dyscyplinie nauki. Następne pozycje, które obecnie znajdują się w przygotowaniu, będą dotyczyć zagadnień praktycznych, wiążących się z działalnością naszego resortu.

ROZDZIAŁ PIERWSZY

O CYBERNETYCE

1.1. ZARYS HISTORYCZNY

Wyraz **cybernetyka** pochodzi ze starogreckiego *kybernetiken* — umiejętność kierowania (*kybernetes* *) — sternik okrętu). Jak podaje Platon (w „Gorgiaszu”) wyrazu tego miał użyć Sokrates w zdaniu: „*Cybernetyka chroni od największych niebezpieczeństw nie tylko dusze, lecz również ciała i dobytek*”.

Ampère w swoim „Eseju o filozofii nauki” z 1834 r. nazywa cybernetyką tę część polityki, która zajmuje się metodami rządzenia.

W tym samym znaczeniu użył tego wyrazu Trentowski w pracy „Stosunek filozofii do cybernetyki”.

Jak widać, już od dawna starano się traktować procesy zarządzania w sposób naukowy. Może się przy tym wydawać zadziwiające, że idea ta, znana już starożytnym Grekom, nie była kontynuowana przez dwa tysiące lat i dopiero przed stu laty została na nowo podjęta, a obecnie stała się przedmiotem obszernych opracowań.

Najprawdopodobniej złożyły się na to następujące przyczyny. Rozkwit nauki w starożytnej Grecji przypadał na czasy demokracji, toteż obywatele mieli możliwość domagania się, żeby na czele państwa stali ludzie mający umiejętność rządzenia, stąd zaś wynikała potrzeba sformułowania zasad tej umiejętności i wyodrębnienia dziedziny, która by się zajmowała ich opracowywaniem. Natomiast w starożytnym Rzymie nauka zaczęła się rozwijać dopiero w epoce cezarów, im zaś umiejętność zarządzania, prowadząca do dobrobytu obywateli, nie była potrzebna. Autokrata nie pyta, czy obywatele są z jego rządów zadowoleni — za jego błędy zapłacą oni wbrew swojej woli.

*) Od tego pochodzą też takie nazwy, jak *gouvernator*, fr. *gouvernement* (rząd) itp.

Nic dziwnego, że Rzymianie, przejmując dorobek kulturalny Greków, nie zainteresowali się już ich *cybernetyką*. Autokratyzm rządów średniowiecza sprawił, że nie nawiązano do tej sprawy nawet w epoce Odrodzenia. Uczyniono to dopiero w początkach nowożytnej demokracji, tj. po rewolucji francuskiej. Do tego czasu problematykę zarządzania zajmowało się tylko z punktu widzenia metod zdobywania i utrzymywania władzy; reprezentatywnym autorem tego kierunku był Machiavelli. Wiedzę na ten temat traktowano jako wiedzę dla wtajemniczonych, tj. dla władców i dla kandydatów na władców.

Jest paradoksalne, że chociaż Grecy *cybernetykę* nazywali tylko umiejętność zarządzania, to przy obecnym nawiązywaniu do tej idei wyraz ten jest używany w znacznie szerszym znaczeniu. Stało się to dzięki temu, że amerykański matematyk Norbert Wiener (1894–1964) wydał koncepcję wyodrębnienia dziedziny nauki, której przedmiotem byłyby wszelkie procesy sterowania (nie tylko w społecznościach, lecz także w organizmach i maszynach), i naukę tę nazwał *cybernetyką*, rozszerzając w ten sposób pierwotne znaczenie tego wyrazu. Jest to widoczne w tytule książki Wienera na ten temat: „Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine” (Cybernetyka czyli sterowanie i komunikacja*) w zwierzęciu i maszynie). Rok 1948, w którym książka ta się ukazała, jest uważany za początek cybernetyki w jej nowoczesnym znaczeniu, a sam Wiener za twórcę tej nauki.

Idea łącznego traktowania różnych procesów sterowania zaczęła się krystalizować jeszcze przed Wienerem. Jej prekursorami byli Kartezjusz (1596–1650) i Condillac (1715–1780). Zaczęła ona dojrzewać w bieżącym stuleciu, co znalazło wyraz w pracach wielu autorów, jak np. Laffitte „Rozważania o nauce o maszynach” (1932), Couffignal „Maszyny myślące” (1938), Rashevsky „Biologia matematyczna” (1938), Craik (analogia między układem nerwowym a maszyną matematyczną), Shannon (zastosowanie logiki matematycznej w technice komunikacji), Ashby (stany równowagi funkcjonalnej w organizmach i maszynach), i wielu innych.

Zasługą Wienera było to, że jego propozycja wyodrębnienia cybernetyki jako nauki poświęconej wszelkim procesom sterowania ujawniła wielką potrzebę takiej nauki i zapoczątkowała jej żywiołowy rozwój. W ciągu niespełna dwudziestu lat, które od tego czasu upłynęły, powstała rozległa, licząca tysiące publikacji literatura cybernetyczna, czasopisma publikujące artykuły na tematy cybernetyczne oraz organizacje zajmujące się badaniami cybernetycznymi, organizowaniem zjazdów międzynarodowych, sympozjów itp.

*) Wyraz *komunikacja* jest tu użyty w znaczeniu: przekazywanie informacji, porozumiewanie się, łączność. Należy on do rozległej rodziny terminologicznej takich wyrazów z zakresu procesów informacyjnych, jak: komunikować, komunikat, komunikatywny, telekomunikacja itp. Odmienne niż w innych językach wyraz *komunikacja* zakorzenił się u nas w znaczeniu: przewóz, transport.

1.2. DEFINICJA CYBERNETYKI

Za definicję cybernetyki można by uważać tytuł książki Wienera, gdyby nie to, że tytuł ten zawiera kilka zbędnych szczegółów.

Wskazując na to, że sterowanie zachodzi w *zwierzęciu i maszynie*, Wiener chciał podkreślić, że chodzi o wszelkiego rodzaju sterowanie, tj. zarówno w tworach ożywionych, jak i nieożywionych, co przy formułowaniu definicji nie wymaga podkreślenia.

Podobnie zbędna jest wzmianka o *komunikacji*, gdyż nie istnieje sterowanie bez przekazywania informacji, a przekazywanie informacji służy wyłącznie do sterowania.

Po tych uproszczeniach można powiedzieć po prostu, że *cybernetyka jest to nauka o sterowaniu**).

Z definicji tej wynika, że wszystko, co jest sterowaniem, wchodzi w zakres cybernetyki.

Pomimo tak wyjątkowo prostej definicji cybernetyki toczą się do dziś spory o jej zakres.

Rzecz w tym, że spory o zakres cybernetyki nie mają charakteru naukowego, lecz doktrynalny, i dotyczą tylko jednej sprawy, a mianowicie traktowania człowieka. Chodzi o to, że w ujęciu cybernetycznym zachowanie się człowieka jest procesem sterowniczym podobnie jak zachowanie się zwierząt, rośliny czy maszyny, i w związku z tym może być opisywane wzorami matematycznymi, modelowane itp. Takie zestawianie człowieka na równi z innymi tworami koliduje z doktrynami filozoficznymi uważającymi człowieka za jakąś nadzwyczajną istotę we wszechświecie.

Z kręgów wyznawców rozmaitych doktryn filozoficznych podnioszono niegdyś protesty przeciw stworzonej przez Darwina teorii ewolucji. Z czasem pogodzili się oni z poglądem uznającym pokrewieństwo między człowiekiem a światem zwierzęcym.

Z kolei pojawienie się cybernetyki wywołało falę oburzenia na dopatrywanie się podobieństw między człowiekiem a maszynami.

Tego rodzaju oburzenie obserwuje się przede wszystkim u wyznawców doktryn religijnych. Czują się oni zagrożeni przez cybernetykę w swoich poglądach na myślenie jako *niematerialny przejaw działania nieśmiertelnej duszy* itp.

Użyteczności cybernetyki nikt w nauce nie kwestionuje. Tu i ówdzie można się co najwyżej spotkać z wypowiedziami przedstawicieli niektórych dziedzin nauki, że cybernetyka jest nauką *pomocniczą* innych nauk, np. ekonomii, automatyki, prakseologii itp. (zależnie od tego, którą z nich uprawia mówiący).

*) Ashby w książce: *Wstęp do cybernetyki* pisał, że cybernetyka jest to nauka o sterowaniu w ogólności.

W rzeczywistości, doniosłość cybernetyki wynika z okoliczności, że procesy sterowania występują niemal we wszystkich zjawiskach, i polega na tym, że w postępującej od tysiącleci atomizacji nauki na coraz węższe specjalności cybernetyka przywróciła jedność nauki i umożliwiła naukowcom porozumiewanie się wspólnym językiem. Stało się tak dzięki temu, że cybernetyka nie zajmuje się konstrukcjami (z czego coś jest zrobione) lecz funkcjami (jak coś działa).

Tak więc, cybernetyka, która niegdyś była tym samym co nauka o zarządzaniu, objęła tak szeroką problematykę, że zarządzanie stało się dla niej tylko jednym z problemów. Dzięki temu jednak cybernetyka zdobyła metody, którymi dziś może zapewnić zarządzaniu o wiele większą skuteczność.

Metody te opierają się na dwóch podstawowych pojęciach, a mianowicie na pojęciu *sprzężenia* i na pojęciu *informacji*. Omówieniu tych pojęć poświęcimy następne dwa rozdziały.

R O Z D Z I A Ł D R U G I

S P R Z E Ż E N I E

2.1. POJĘCIE SPRZEŻENIA

Teoretycznie każda zmiana zachodząca w jakimkolwiek punkcie przestrzeni powoduje zmiany we wszystkich innych punktach.

Praktycznie wpływ ten jest w wielu punktach znikomo mały i może być pominięty. Dzięki temu, bez szkody dla ścisłości rozważań, można wyodrębnić pewne obiekty i zajmować się ich oddziaływaniem na określone obiekty, z pominięciem pozostałych. W najprostszym przypadku będą wchodzić w grę tylko oddziaływanie między dwoma określonymi obiektami.

Oddziaływanie między dwoma obiektami nosi nazwę s p r z e ż e n i a.

Sprzężenie, w którym jeden obiekt oddziałuje na drugi, jest s p r z e ż e n i e m p r o s t y m.

Na rys. 1 występuje tylko oddziaływanie obiektu *B* na obiekt *C*, jest to więc sprzężenie proste.

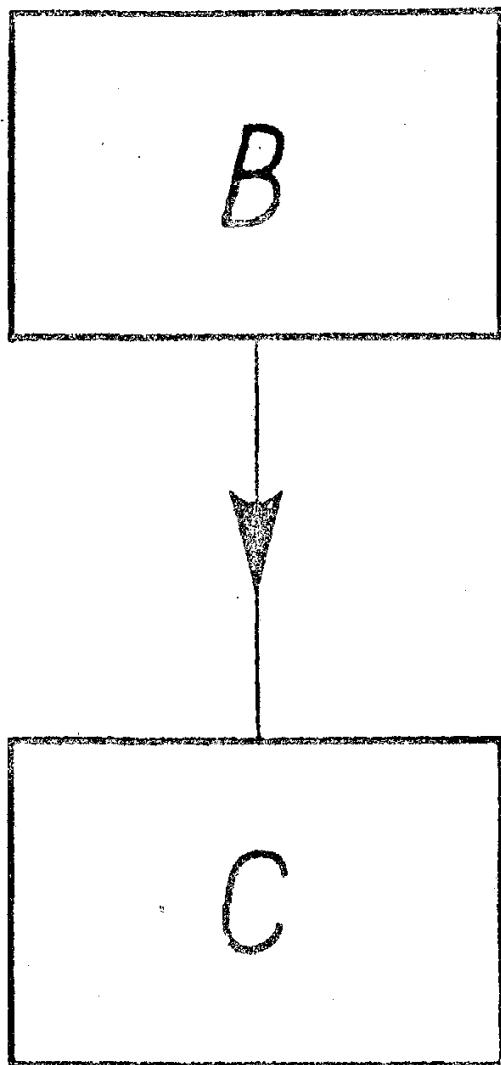
Sprzężenie, w którym jeden obiekt oddziałuje na drugi, a drugi obiekt oddziałuje na pierwszy, jest s p r z e ż e n i e m z w r o t n y m.

Sprzężenie zwrotne składa się więc z dwóch sprzężeń prostych przeciwnie skierowanych.

Na rys. 2 występuje sprzężenie zwrotne między obiektami *B* i *C*, gdyż obiekt *B* oddziałuje na obiekt *C*, a obiekt *C* oddziałuje na obiekt *B*. Jak widać, sprzężenie zwrotne stanowi zamknięty obieg oddziaływań.

Ogólnie można określić sprzężenie proste jako oddziaływanie przyczyny na skutek. Sprzężenie proste staje się sprzężeniem zwrotnym, jeżeli nie tylko przyczyna oddziałuje na skutek, lecz również skutek oddziałuje na przyczynę, sprawiając w ten sposób, że przyczyna — za pośrednictwem skutku — oddziałuje na siebie samą.

Chociaż sprzężenie zwrotne było znane przed pojawiением się cybernetyki, to jednak dopiero cybernetyka uwydatniła niezmierną doinosłość tego pojęcia okazując, że wszelkiego rodzaju zjawiska są na nim oparte. W szczególności dotyczy to również procesów zarządzania.



Rys. 1

2.2. RODZAJE SPRZEŻEŃ ZWROTNYCH

Każde oddziaływanie można określić za pomocą wielkości fizycznych. Posługując się oznaczeniami z rys. 2 można powiedzieć, że oddziaływanie obiektu B na obiekt C polega na tym, że pewna wielkość y jest wielkością wyjściową obiektu B , a zarazem wielkością wejściową obiektu C . Podobnie można powiedzieć, że oddziaływanie obiektu C na obiekt B polega na tym, że pewna wielkość x jest wielkością wyjściową obiektu C a zarazem wielkością wejściową obiektu B .

Wynika stąd, że obiekt B jest przetwornikiem przetwarzającym wielkość x w wielkość y , a obiekt C jest przetwornikiem przetwarzającym wielkość y w wielkość x .

Przetworniki oddziaływań mogą być dwojakiego rodzaju. Przetworniki, w których wzrost wielkości wejściowej powoduje wzrost wielkości wyjściowej, będziemy nazywać affirmantami, a ich działanie affirmacją.

Przetworniki, w których wzrost wielkości wejściowej powoduje zmniejszenie wielkości wyjściowej, będziemy nazywać negantami, a ich działanie negacją.

Ogólnie biorąc, każdy z przetworników, między którymi występuje sprzężenie zwrotne, może być zarówno afirmantem, jak i negantem.

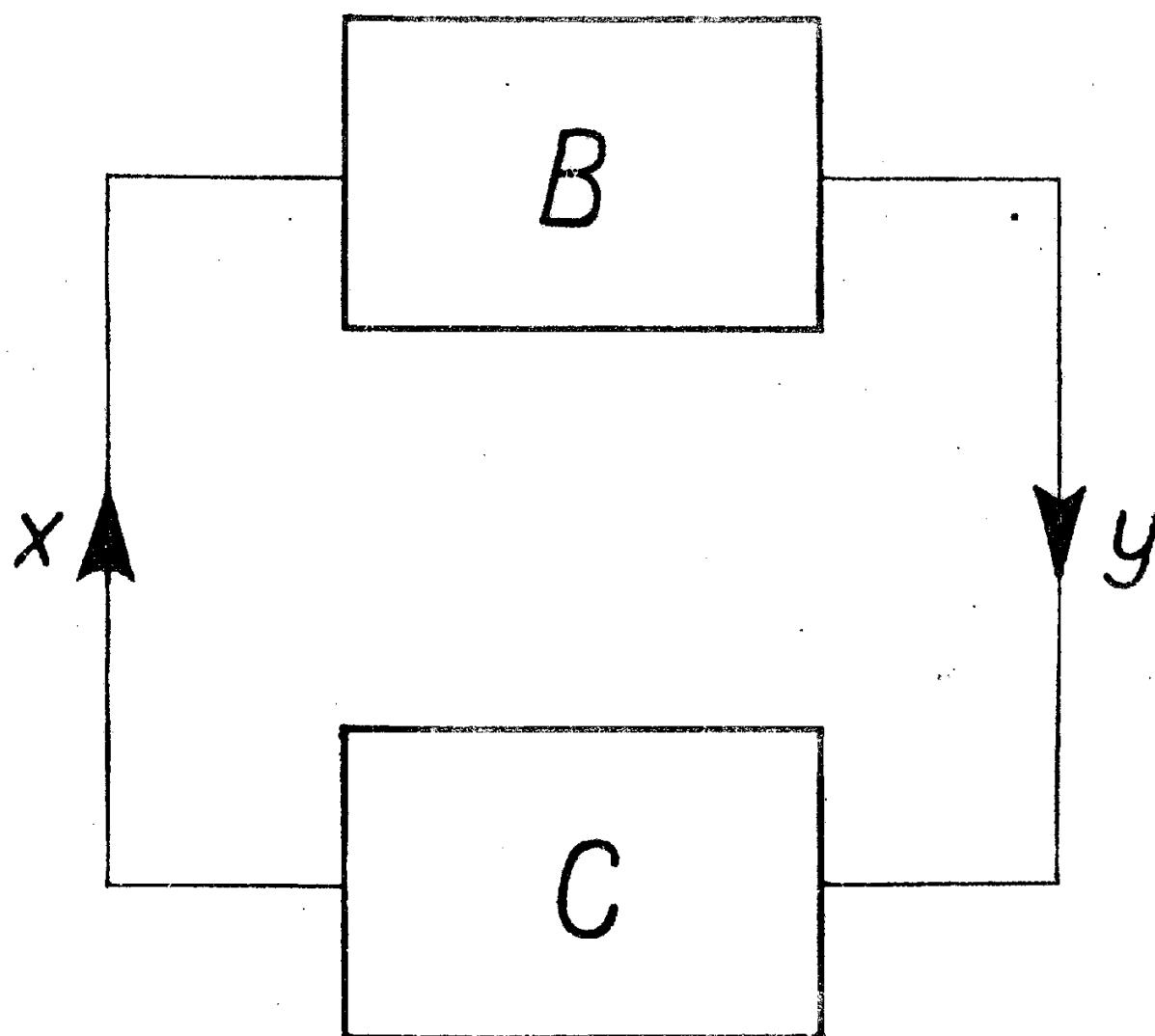
Daje to trzy następujące możliwości sprzężeń zwrotnych:

- 1) afirmant — afirmant,
- 2) negant — afirmant,
- 3) negant — negant.

*

Rozpatrzymy kolejno każdą z tych możliwości (rys. 2).

Rys. 2



1) Sprzężenie afirmant — afirmant

Jeżeli obiekt B , przetwarzający wielkość wejściową x w wielkość wyjściową y , jest afirmantem, to jego działanie (afirmację) można najprościej wyrazić równaniem

$$y = A + Bx \quad (2.1)$$

w którym A i B są pewnymi liczbami dodatnimi.

Równanie to istotnie wyraża afirmację, wynika bowiem z niego, że im większe będzie x , tym większe będzie y .

Podobnie, jeżeli obiekt C , przetwarzający wielkość wejściową y w wielkość wyjściową x , jest afirmantem, to jego działanie (afirmację) można wyrazić równaniem

$$x = D + Cy \quad (2.2)$$

w którym C i D są pewnymi liczbami dodatnimi.

Podstawiając y z równania (2.1) do równania (2.2) otrzymamy

$$x = D + AC + BCx \quad (2.3)$$

2) Sprzężenie negant — afirmant

Jeżeli tym razem obiekt B jest negantem, to jego działanie (negację) można wyrazić równaniem

$$y = A - Bx \quad (2.4)$$

Istotnie, wyraża ono negację, wynika bowiem z niego, że im większe będzie x , tym mniejsze będzie y .

Natomiast obiekt C pozostaje afirmantem, więc jego działanie (afirmacja) wyrazi się takim samym równaniem (2.2) jak poprzednio, czyli

$$x = D + Cy \quad (2.5)$$

Podstawiając y z równania (2.4) do równania (2.5) otrzymamy

$$x = D + AC - BCx \quad (2.6)$$

3) Sprzężenie negant — negant

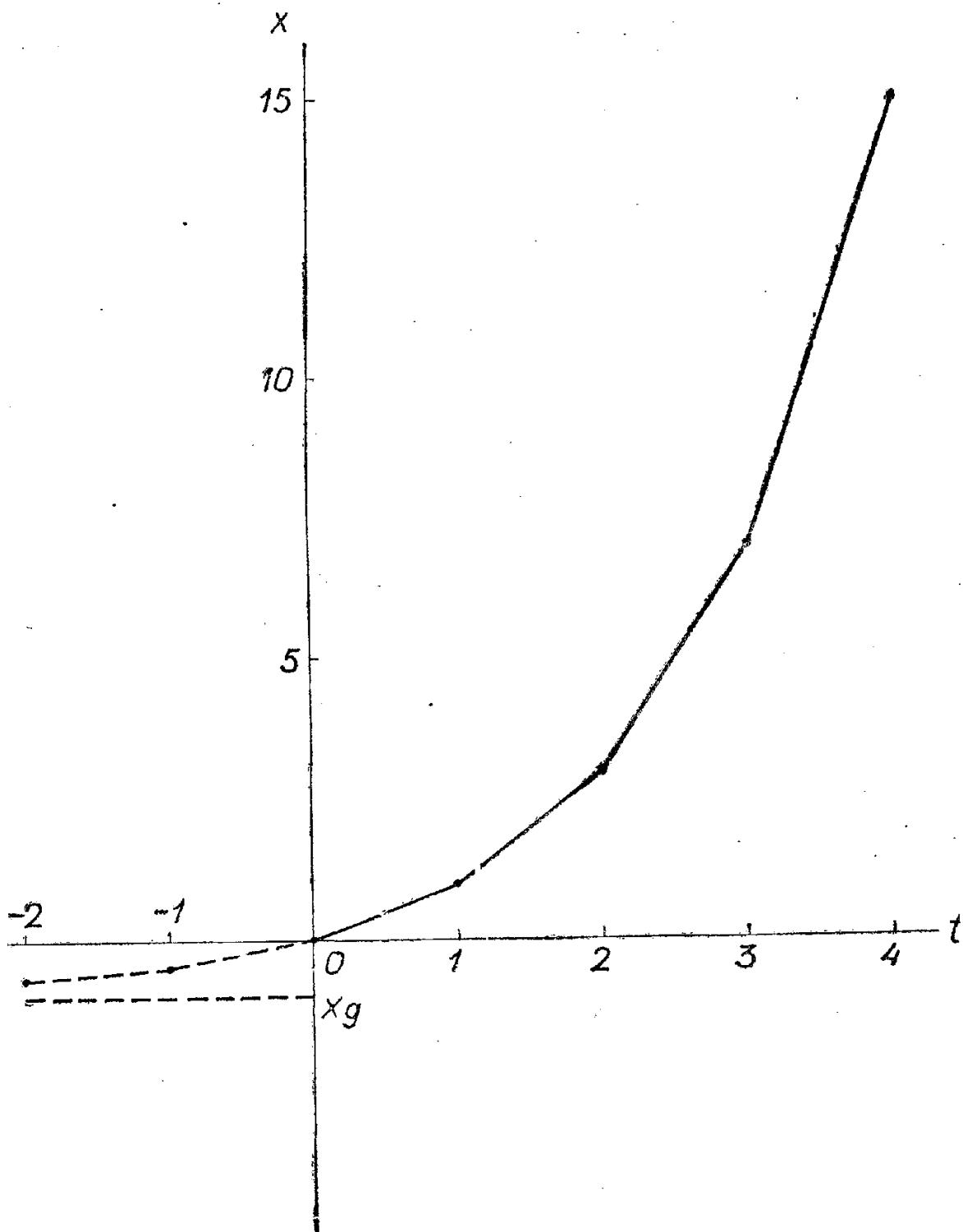
W tym przypadku działanie obiektu B wyrazi się równaniem identycznym z równaniem (2.4), czyli

$$y = A - Bx \quad (2.7)$$

Podobnie, działanie obiektu C wyrazi się równaniem

$$x = D - Cy \quad (2.8)$$

Podstawiając y z równania (2.7) do równania (2.8) otrzymamy



Rys. 3

$$x = D - AC + BCx \quad (2.9)$$

Z porównania równań (2.3) i (2.9) wynika, że różnią się one tylko wartościami członów stałych $D+AC$ oraz $D-AC$, niezależnych od x , a więc nie wpływających na charakter zależności. A zatem sprzężenie *negant — negant* nie różni się w sposób istotny od sprzężenia *afirmant — afirmant*, tj. nie stanowi odrębnego rodzaju sprzężeń i może być w rozważaniach na ten temat pominięte.

W rezultacie więc mamy tylko dwa rodzaje sprzężeń:

- 1) sprzężenie o działaniach zgodnych, czyli sprzężenie afirmant — afirmant;
- 2) sprzężenie o działaniach sprzecznych, czyli sprzężenie negant — afirmant.

Jak widać, w każdym z tych sprzężeń występuje obiekt działający jako afirmant. Pozostały obiekt może być afirmantem lub negantem.

Z porównania równań (2.3) i (2.6) wynika ponadto, że stały wyraz D , jako niezależny od x i tylko zwiększający w obu równaniach stałe człony AC , nie wpływa na charakter zależności i może być w dalszych rozważaniach pominięty.

Po tych uproszczeniach sprzężenie afirmant — afirmant wyrazi się układem równań

$$y = A + Bx \quad (2.10)$$

$$x = Cy \quad (2.11)$$

a sprzężenie negant — afirmant układem równań

$$y = A - Bx \quad (2.12)$$

$$x = Cy \quad (2.13)$$

Sprzężenie afirmant — afirmant nosi nazwę sprzężenia zwrotnego dodatniego (ze względu na znak plus w równaniu 2.10), a sprzężenie negant — afirmant nazwę sprzężenia zwrotnego ujemnego (ze względu na znak minus w równaniu 2.12).

Rozpatrzmy teraz, jaki jest przebieg zjawisk w każdym z tych sprzężeń. W tym celu będziemy rozpatrywać przebiegi cyklicznie, zakładając, że najpierw występuje przetwarzanie oddziaływań w jednym ze sprzężonych obiektów, potem w drugim, potem znów w pierwszym itd.

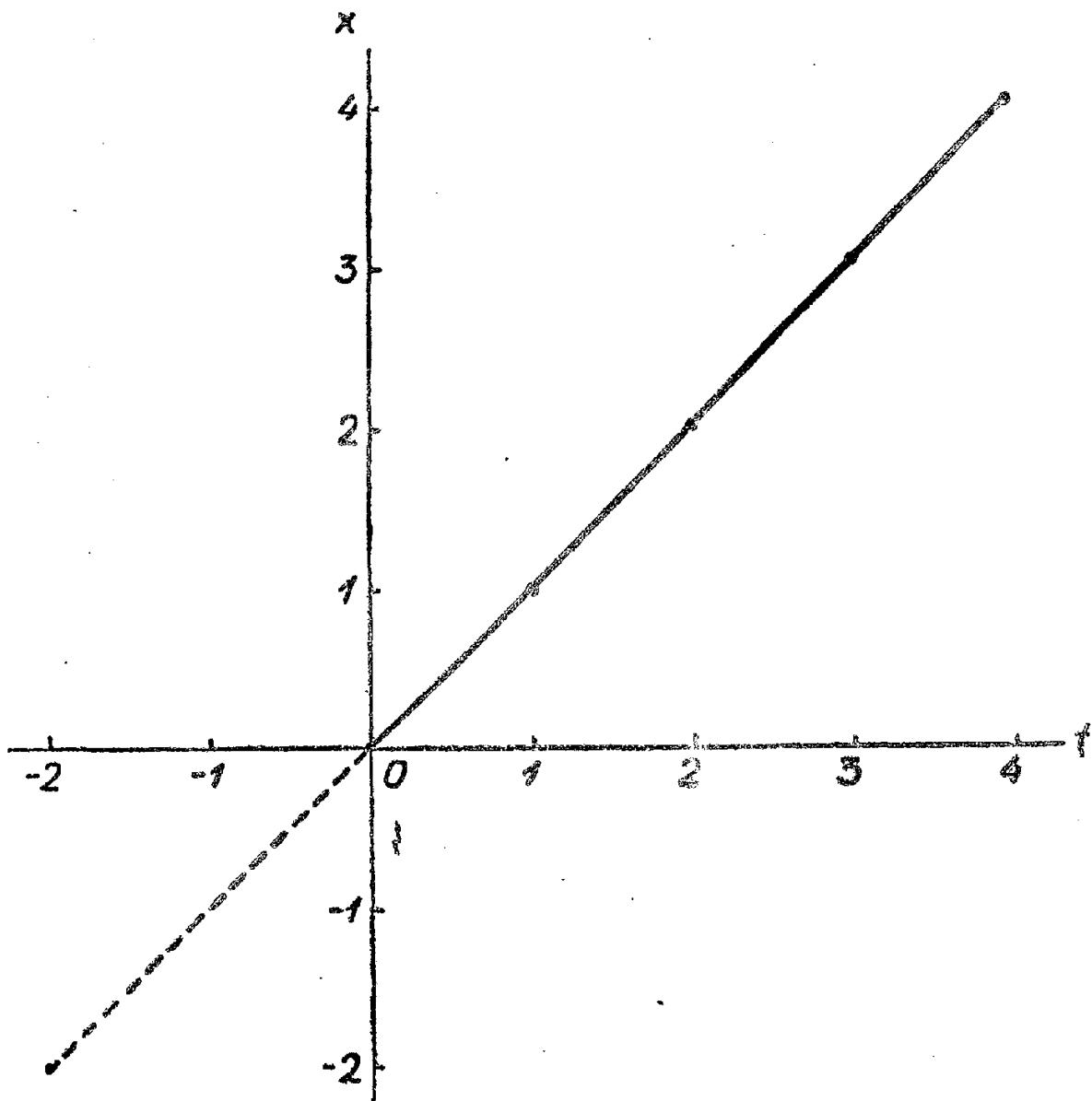
Dla sprzężenia zwrotnego dodatniego, wychodząc ze stanu początkowego $y_0 = 0$ i $x_0 = 0$, otrzymuje się ze wzoru (2.10) $y_1 = A$ a ze wzoru (2.11) $x_1 = AC$, potem ze wzoru (2.10) $y_2 = A(1+BC)$, a ze wzoru (2.11) $x_2 = AC(1+BC)$ itd. Na tej podstawie można wyznaczyć przebiegi oddziałujących wielkości w funkcji czasu (wyrazonego liczbą cykłów).

Ponieważ wielkości x i y różnią się między sobą, jak to widać z równań (2.10) i (2.11), tylko współczynnikiem C , więc do uwydatnienia charakteru przebiegów można się ograniczyć tylko do jednej z tych wielkości, np. do wielkości x .

Wówczas otrzymuje się dla sprzężenia zwrotnego dodatniego:

$$\begin{aligned} x_0 &= 0 \\ x_1 &= AC \\ x_2 &= AC(1+BC) \\ x_3 &= AC(1+BC+B^2C^2) \\ x_4 &= AC(1+BC+B^2C^2+B^3C^3) \text{ itd.} \end{aligned}$$

Granice, do której dąży x , można by wyznaczyć obliczając człon w nawiasie jako sumę postępu geometrycznego, można jednak dojść do tego prościej, podstawiając y z równania (2.10) do równania (2.11)



Rys. 4

$$x = AC + BCx \quad (2.14)$$

skąd szukana granica

$$x_g = \frac{AC}{1-BC} \quad (2.15)$$

Charakter przebiegów przy sprzężeniu zwrotnym dodatnim zależy od członu BC .

Jeżeli $BC > 1$, to takie sprzężenie nazywamy sprzężeniem zwrotnym dodatnim rozbieżnym.

Wielkość x wzrasta wówczas do nieskończoności.

Prześledzimy to na przykładzie liczbowym. Przypuśćmy, że $A = 1$, $B = 2$, $C = 1$. Wówczas równania (2.10) i (2.11) przybiorą postać:

$$y = 1 + 2x$$

$$x = y$$

Podstawiając wartości A , B i C do wzorów na x_1 , x_2 , x_3 itd. otrzymamy następujące wartości x dla kolejnych cykłów:

$$x_0 = 0$$

$$x_1 = 1$$

$$x_2 = 1 + 2 = 3$$

$$x_3 = 1 + 2 + 4 = 7$$

$$x_4 = 1 + 2 + 4 + 8 = 15 \text{ itd.}$$

Przebieg x w funkcji czasu t jest przedstawiony na rys. 3.

Graniczną wartość x otrzymuje się ze wzoru (2.15)

$$x_g = \frac{1}{1-2} = -1$$

Jest to wartość graniczna, od której x oddala się (x dążyłby do niej, gdyby czas się cofał, tj. dążyłby do minus nieskończoności), jak to zaznaczono na rys. 3.

Jeżeli $BC = 1$, to takie sprzężenie nazywamy sprzężeniem zворотnym dodatnim krytycznym.

Prześledzimy jego przebieg na przykładzie liczbowym, przyjmując $A = 1$, $B = 1$, $C = 1$. Wówczas równania (2.10) i (2.11) przybiorą postać:

$$y = 1 + x$$

$$x = y$$

Podstawiając wartości A , B i C do wzorów na x_1 , x_2 , x_3 itd., otrzymamy następujące wartości:

$$x_0 = 0$$

$$x_1 = 1$$

$$x_2 = 1 + 1 = 2$$

$$x_3 = 1 + 1 + 1 = 3$$

$$x_4 = 1 + 1 + 1 + 1 = 4 \text{ itd.}$$

Przebieg x w funkcji czasu t jest przedstawiony na rys. 4.

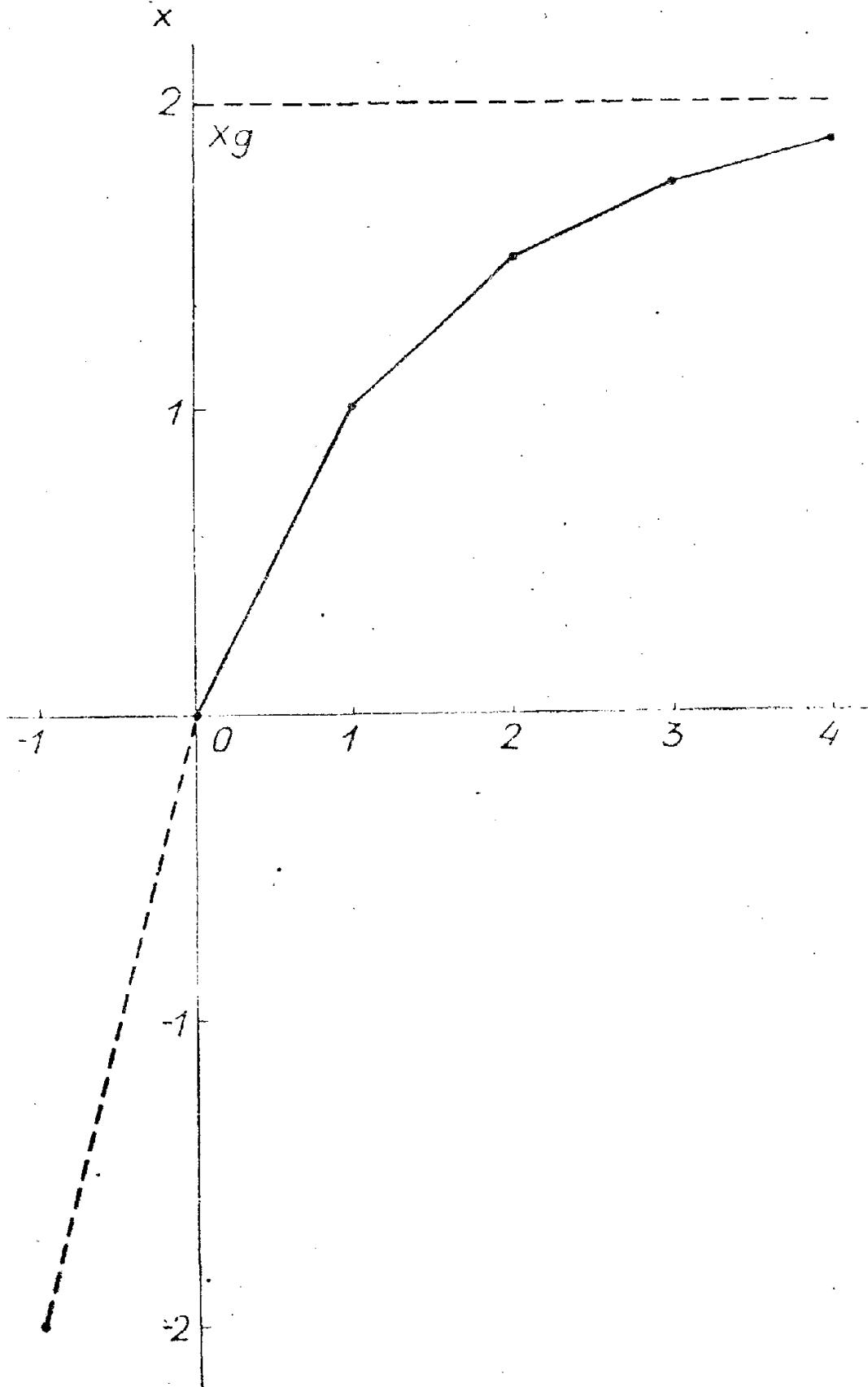
Przebieg ten nie ma granicy. Wielkość x dąży do nieskończoności (gdyby czas się cofał, x dążyłoby do minus nieskończoności), jak to widać na rys. 4.

Wynika to również ze wzoru (2.15). Gdy BC dąży do 1, to mianownik dąży do zera, a więc cały ułamek dąży do nieskończoności.

Jeżeli $BC < 1$, to takie sprzężenie nazywamy sprzężeniem zворотnym dodatnim zbiżonym.

Wielkość x wzrasta wówczas do określonej granicy.

Przypuśćmy dla przykładu, że $A = 1$, $B = 0,5$, $C = 1$. Wówczas równania (2.10) i (2.11) przybiorą postać:



Rys. 5

$$y = 1 + 0,5x$$

$$x = y$$

Podstawiając wartości A , B i C otrzymamy następujące wartości x :

$$x_0 = 0$$

$$x_1 = 1$$

$$x_2 = 1 + 0,5 = 1,5$$

$$x_3 = 1 + 0,5 + 0,25 = 1,75$$

$$x_4 = 1 + 0,5 + 0,25 + 0,125 = 1,875 \text{ itd.}$$

Przebieg wartości x w funkcji czasu t jest przedstawiony na rys. 5.

Wartość graniczną x otrzymuje się ze wzoru (2.15)

$$x_g = \frac{1}{1 - 0,5} = 2$$

Analogiczne równania przeprowadzimy dla sprzężenia zwrotnego ujemnego. Wychodząc ze stanu początkowego $y_0 = 0$ i $x_0 = 0$ otrzymuje się ze wzoru (2.12) $y_1 = A$, a ze wzoru (2.13) $x_1 = AC$, potem ze wzoru (2.12) $y_2 = A(1 - BC)$, a ze wzoru (2.13) $x_2 = AC(1 - BC)$ itd.

Ograniczając się, podobnie jak poprzednio, do wyznaczenia przebiegu wielkości x , otrzymujemy dla sprzężenia zwrotnego ujemnego:

$$x_0 = 0$$

$$x_1 = AC$$

$$x_2 = AC(1 - BC)$$

$$x_3 = AC(1 - BC - B^2C^2)$$

$$x_4 = AC(1 - BC + B^2C^2 - B^3C^3) \text{ itd.}$$

Granice, do której dąży x , można wyznaczyć podstawiając y z równania (2.12) do równania (2.13)

$$x = AC - BCx \quad (2.16)$$

skąd szukana granica

$$x_g = \frac{AC}{1 + BC} \quad (2.17)$$

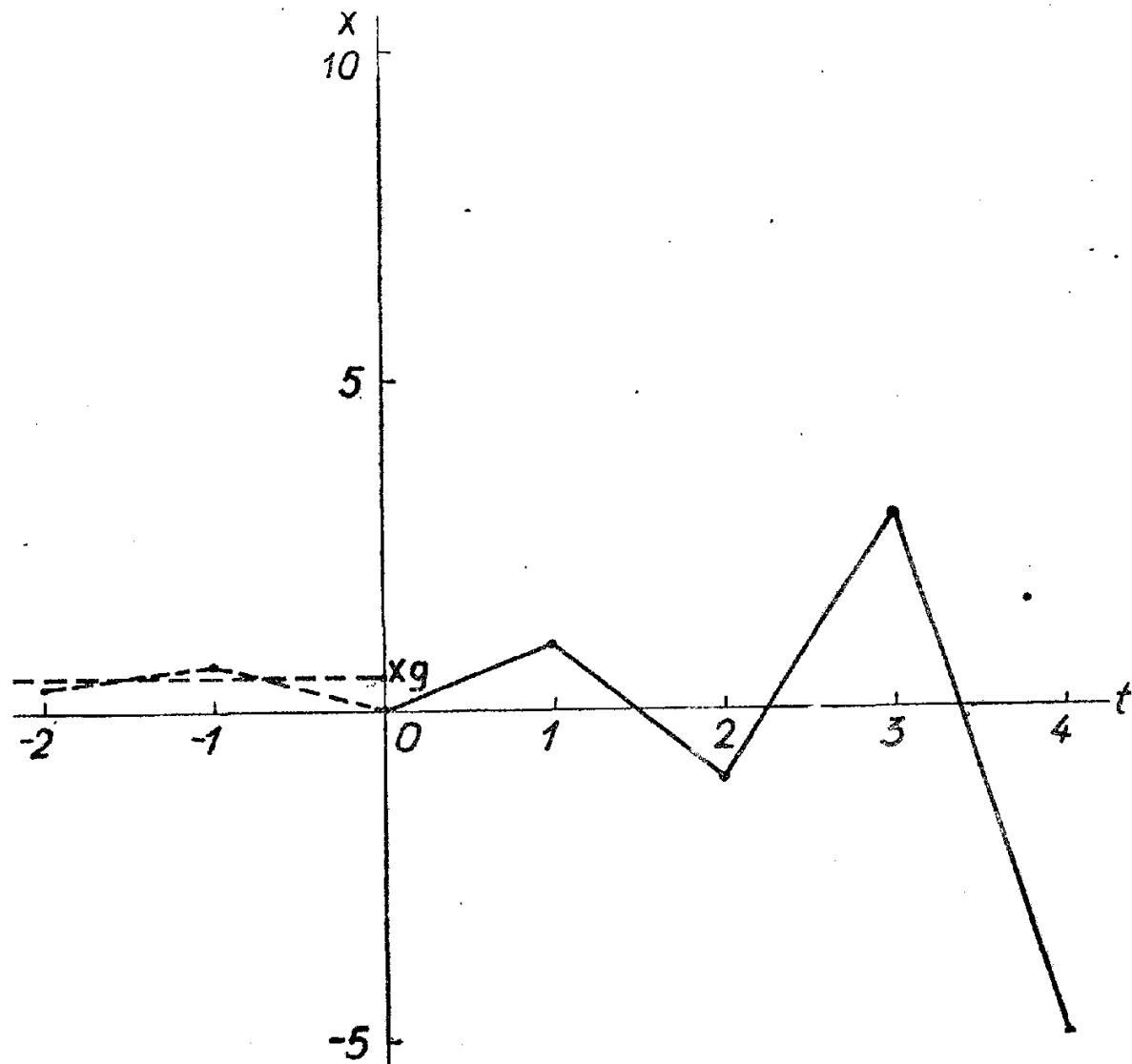
Podobnie jak przy sprzężeniu zwrotnym dodatnim, również i charakter przebiegów przy sprzężeniu zwrotnym zależy od członu BC .

Jeżeli $BC > 1$, to takie sprzężenie zazwyczajamy sprzężeniem zwrotnym ujemnym i rozbieżnym.

Rozpatrzmy przykład liczbowy przyjmując $A = 1$, $B = 2$, $C = 1$. Wówczas równania (2.12) i (2.13) przybiorą postać:

$$y = 1 - 2x$$

$$x = y$$



Rys. 6

Podstawiając wartości A , B i C do wzorów na x_1 , x_2 , x_3 itd., otrzymamy dla kolejnych cyklów

$$\begin{aligned}x_0 &= 0 \\x_1 &= 1 \\x_2 &= 1 - 2 = -1 \\x_3 &= 1 - 2 + 4 = 3 \\x_4 &= 1 - 2 + 4 - 8 = -5 \text{ itd.}\end{aligned}$$

Przebieg x w funkcji czasu t jest przedstawiony na rys. 6.
Graniczną wartość x otrzymuje się ze wzoru (2.17)

$$x_g = \frac{1}{1+2} = \frac{1}{3}$$

Jest to wartość graniczna, od której x oddala się (x dążyłoby do niej, gdyby czas się cofał do minus nieskończoności), tak to zaznaczono na rys. 6.

Jeżeli $BC = 1$, to takie sprzężenie nazywamy sprzężeniem zворотnym ujemnym krytycznym.

Prześledzimy jego przebieg na przykładzie liczbowym, przyjmując $A = 1$, $B = 1$, $C = 1$. Wówczas równania (2.12) i (2.13) przybiorą postać:

$$y = 1 - x$$

$$x = y$$

Podstawiając wartości A , B i C otrzymamy następujące wartości x :

$$x_0 = 0$$

$$x_1 = 1$$

$$x_2 = 1 - 1 = 0$$

$$x_3 = 1 - 1 + 1 = 1$$

$$x_4 = 1 - 1 + 1 - 1 = 0 \text{ itd.}$$

Przebieg x w funkcji czasu t jest przedstawiony na rys. 7.

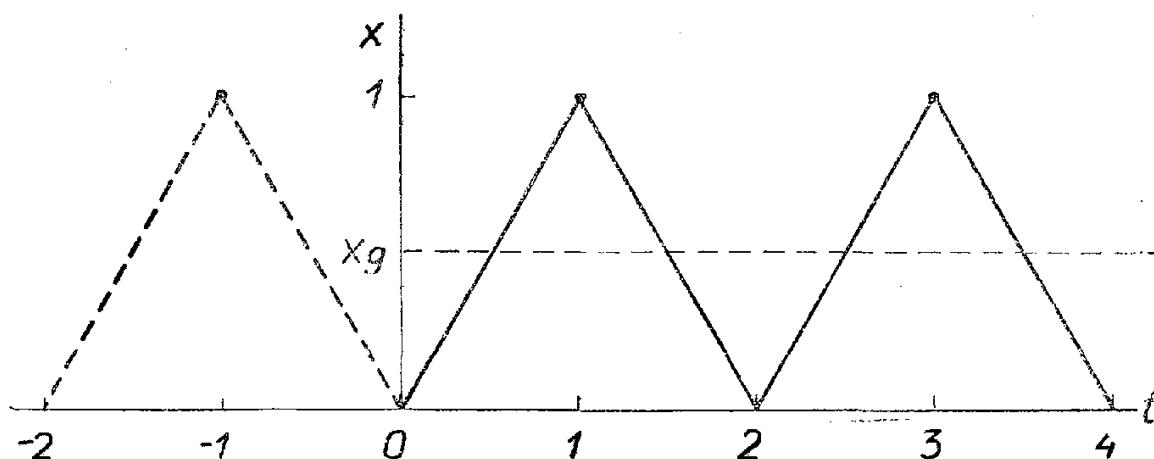
Ze wzoru (2.17) otrzymujemy wartość graniczną

$$x_g = \frac{1}{1+1} = 0,5$$

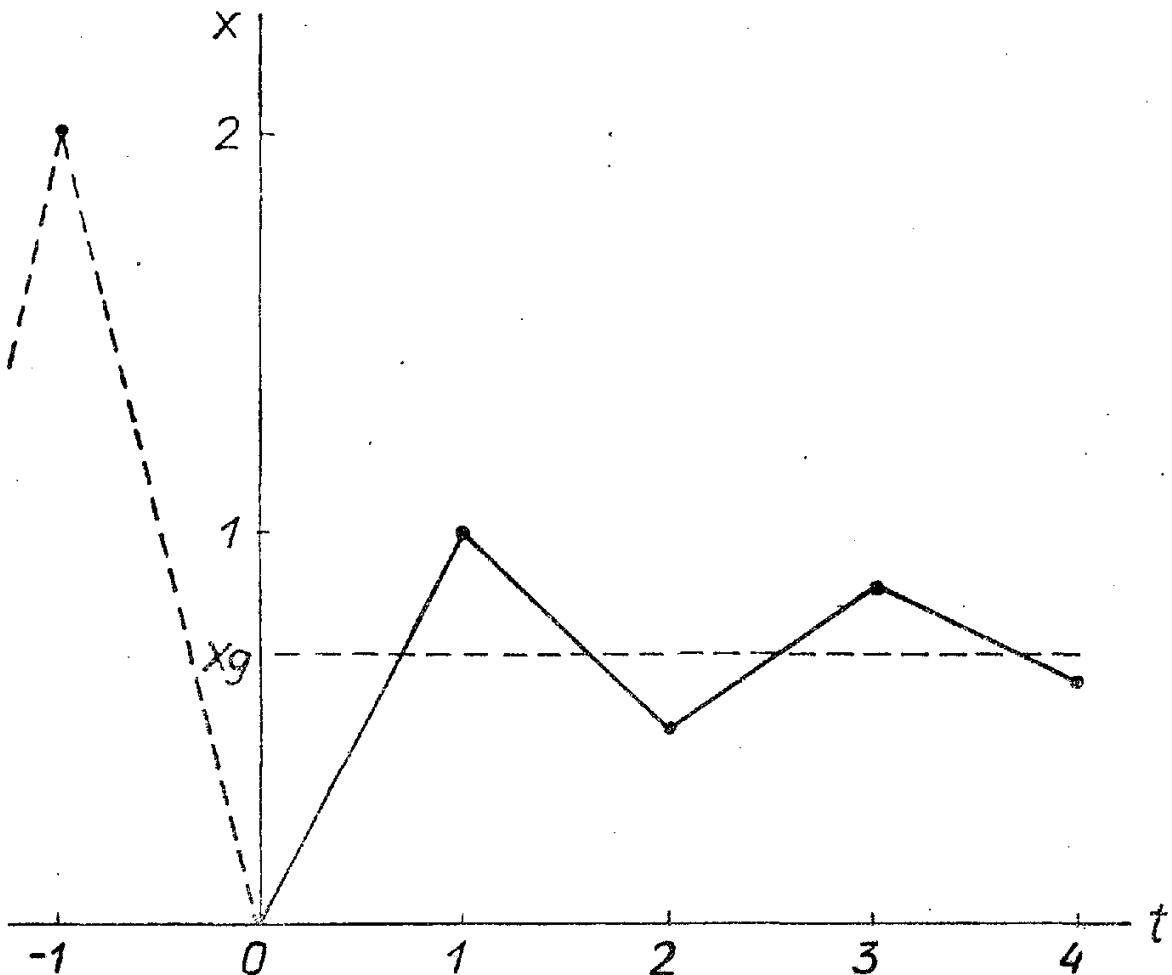
Jak widać na rys. 7, dążąc do tej wartości granicznej na przemian to z jednej to z drugiej strony wielkość x nie może jej osiągnąć, toteż otrzymuje się trwały przebieg oscylacyjny.

Jeżeli $BC < 1$, to takie sprzężenie nazywamy sprzężeniem zворотnym ujemnym zbieżnym.

Przypuśćmy dla przykładu, że $A = 1$, $B = 0,5$, $C = 1$. Wówczas równania (2.12) i (2.13) przybiorą postać:



Rys. 7



Rys. 8

$$y = 1 - 0,5x$$

$$x = y$$

Podstawiając wartości A , B i C otrzymamy:

$$x_0 = 0$$

$$x_1 = 1$$

$$x_2 = 1 - 0,5 = 0,5$$

$$x_3 = 1 - 0,5 + 0,25 = 0,75$$

$$x_4 = 1 - 0,5 + 0,25 - 0,125 = 0,625 \text{ itd.}$$

Przebieg x w funkcji czasu t jest przedstawiony na rys. 8.

Ze wzoru (2.17) otrzymujemy wartość graniczną

$$x_g = \frac{1}{1+0,5} = \frac{2}{3}$$

Z powyższych rozważań wynikają następujące wnioski.

W sprzężeniach rozbieżnych oddziaływanie wzrasta (jednokierunkowo w sprzężeniu dodatnim, a oscylacyjnie w sprzężeniu ujemnym) dając teoretycznie do nie-

skończości. Praktycznie jest to niemożliwe, gdyż wskutek wyczerpania się energii, zniszczenia substancji lub interwencji innych postronnych obiektów sprężenie musi wreszcie utracić charakter rozbieżny.

W sprężeniach zbieżnych oddziaływanie zmierza do określonej granicy.

Sprzężenia krytyczne stanowią przypadek szczególny, rozgraniczający sprężenia zbieżne i rozbieżne.

2.3. ZASTOSOWANIE TEORII SPRĘŻEŃ

Przypomnijmy, że podane w rozdz. 2.2. rodzaje sprężeń zostały przedstawione przy założeniu, że przebiegi oddziaływań między sprężonymi ze sobą obiektami odbywają się cyklicznie: najpierw działa jeden obiekt, a z drugim nic się wtedy nie dzieje, a później na odwrót, i w ten sposób następuje cykl za cyklem. Dlatego też na rysunkach 3... 8, otrzymaliśmy wykresy w postaci linii łamanych zamiast krzywych ciągłych.

W technice tego rodzaju przebiegi skokowe zdarzają się tylko w rzadkich przypadkach. Na ogół oddziaływanie sprężonych ze sobą obiektów mają tam przebiegi ciągłe. Można by je również przedstawić w sposób cykliczny, ale nie jest to potrzebne, gdyż dla przebiegów ciągłych opracowano ścisłe wzory matematyczne, których tu nie podajemy, gdyż zrozumienie ich wymagałoby od czytelnika głębszej znajomości matematyki. Poza tym, w zagadnieniach zarządzania mamy do czynienia głównie z przebiegami cyklicznymi, toteż przeprowadzone powyżej rozważania są do tych celów w zupełności wystarczające, a nawet bardziej odpowiednie, gdyż umożliwiają, w oparciu o użyte w nich pojęcia, rozpatrywanie sprężeń zwrotnych nawet bez żadnych operacji matematycznych. Okażemy to na kilku przykładach.

Wyobraźmy sobie statek, którego burta została tak wyszczerbiona, że woda wlewa się do wnętrza, wskutek czego statek się zanurza.

Z punktu widzenia sprężeń statek odgrywający rolę przetwornika szybkości wlewania się wody w szybkość zanurzenia się, jest afirmantem, gdyż ze wzrostem szybkości wlewania się wody wzrasta szybkość zanurzania. Również morze, odgrywające rolę przetwornika szybkości zanurzania się statku w szybkość wlewania się wody jest afirmantem, gdyż ze wzrostem szybkości zanurzania wzrasta szybkość wlewania się wody.

Z okoliczności, że mamy tu do czynienia ze wzajemnym oddziaływaniem dwóch afirmantów, wynika, że będzie to sprężenie zwrotne dodatnie. Ponadto biorąc pod uwagę, że przyrosty obu szybkości są coraz większe (co odpowiada warunkowi $BC > 1$), można przewidzieć, że będzie to sprężenie dodatnie rozbieżne, a więc oddziaływanie będą mieć przebiegi jak na rys. 3.

Istotnie, obserwacja tonących statków ujawnia, że proces ten, początkowo tak powolny, że trudno go nieraz dostrzec, staje się coraz szybszy, a w końcowej fazie ma przebieg katastrofalny. Szybkość zanurzania się wzrastałaby do nieskończoności, gdyby nie okoliczność, że statek ma skończone rozmiary. Z chwilą całkowitego zanurzenia się statku proces sprzężenia zwrotnego ustaje. Dalej odbywa się już zwykły proces fizyczny swobodnego spadania ciał cięższych od otaczającego je środowiska.

Przebieg tonienia statków znany jest każdemu, chociażby z filmów marynistycznych, toteż nie chodziło nam tu o jego opisywanie, lecz o wskazanie, że sama tylko znajomość rodzajów oddziaływań wystarczałaby do przewidzenia tego przebiegu.

A teraz wyobraźmy sobie człowieka stojącego w łodzi. Co się stanie z łodzią, jeżeli człowiek przechyli się w prawo? Oczywiście, również przechyli się ona w prawo (pod działaniem ciężaru człowieka). Wynika stąd, że łódź zachowa się jako afirmant. A co zrobi człowiek, jeżeli łódź przechyli się w prawo? Przechyli się on w lewo (aby utrzymać równowagę). A zatem człowiek zachowa się jako negant. Stwierdzenia te pozwalają przewidzieć, że w razie zakłócenia równowagi wystąpi sprzężenie zwrotne ujemne, tj. kołysanie się łodzi. Jeżeli znajdujący się w niej człowiek będzie starał się utrzymywać równowagę wykonując spokojne ruchy ($BC < 1$), to kołysanie będzie zwolna zanikać (sprzężenie ujemne zbieżne, rys. 8).

Przy silniejszych ruchach może się okazać ($BC = 1$), że kołysanie łodzi będzie trwać stale, nie wzrastając ani nie malejąc (sprzężenie ujemne krytyczne, rys. 7). I wreszcie przy raptownych ruchach człowieka ($BC > 1$) łódź będzie się coraz bardziej przechylać w lewo i w prawo (sprzężenie ujemne rozbieżne, rys. 6) przy czym proces ten wzmagałby się do nieskończoności gdyby nie to, że człowiek wreszcie wypadnie z łodzi.

Dwie coraz ostrzej wymyślające sobie przekupki (afirmant — afirmant) pozostają ze sobą w sprzężeniu zwrotnym dodatnim rozbieżnym (rys. 3). Wzmaganiu się kłótni do nieskończoności stanie na przeszkołdzie ochrypnienie kłóczących się dam lub interwencja milicjanta.

Nauczyciel wystawia uczniowi oceny odpowiadające jego postępowi, działa więc jako afirmant. Natomiast uczeń, uważający dobre oceny za oznakę, że można już mniej pracować, a złe oceny za sygnał, że trzeba się zabrać do roboty, działa jako negant. W wyniku powstaje sprzężenie zwrotne ujemne, które w szczególnym przypadku ($BC = 1$) może się okazać sprzężeniem krytycznym (rys. 7). Wówczas następują po sobie jednakowe cykle, w których uczeń na przemian przejawia okresy wzmożonej pilności i spoczywania na laurach.

Im lepiej aktor gra, tym większe otrzymuje brawa, publiczność jest więc afirmantem. Z drugiej strony, im większe są brawa, tym aktor lepiej gra, aktor jest więc również afirmantem. W wyniku pozostaje sprzę-

żenie zwrotne dodatnie. Jest ono zbieżne, gdyż i aktor i publiczność zbliżają się stopniowo do kresu swoich możliwości.

W technice pierwszym wykorzystaniem sprzężenia zwrotnego na szeroką skalę było wyposażenie silnika parowego w regulator Watt'a. Im większa jest szybkość dopływu pary, tym większa jest prędkość obrotowa silnika, a zatem silnik działa jako afirmant. Natomiast regulator sprawia, że im większa jest prędkość obrotowa silnika, tym mniejsza jest szybkość dopływu pary (ponieważ regulator przymyka dopływ pary), a więc regulator działa jako negant. W wyniku powstaje sprzężenie ujemne zbieżne (rys. 8) sprawiające, że silnik pracuje ze stałą prędkością obrotową.

Przykładem sprzężenia zwrotnego jest również pożar. Im wyższa jest temperatura drewna, tym więcej wydziela się z niego gazów palnych, a więc drewno zachowuje się w tym przypadku jako afirmant. Z kolei, im więcej gazów się wydziela, tym wyższa jest temperatura, a więc ogień zachowuje się również jako afirmant.

W wyniku musi powstać sprzężenie zwrotne dodatnie. Ponieważ przyrosty temperatury są coraz większe, a i gazów wydziela się coraz więcej ($BC > 1$), więc mamy tu do czynienia ze sprzężeniem dodatnim rozbieżnym (rys. 3). Dlatego też pożar, początkowo łatwy do ugaszenia, staje się zjawiskiem o przebiegu lawinowym, które coraz trudniej opanować.

Wzmaganie się pożaru nie trwa jednak do nieskończoności, gdyż wreszcie ilość gazów palnych ulegnie wyczerpaniu.

A oto przykład z dziedziny ekonomii. Jeżeli na rynku powstaje brak artykułów pierwszej potrzeby, to ceny ich wzrastają (w krajach, gdzie ceny są ustalane przez rząd, wzrost cen pojawia się na *czarnym rynku*). Jeżeli rząd, chcąc umożliwić ludności zakupy przy wyższych cenach, podwyższa wynagrodzenia, wypuszczając w tym celu dodatkowe emisje pieniędzy — to jak wiadomo — powstaje inflacja. Zjawisko to można by przewidzieć posługując się pojęciami z zakresu sprzężeń. Im więcej pieniędzy posiadają nabywcy, tym wyższe ceny chcą pobierać kupcy (legalni bądź nielegalni), działając więc oni jako afirmanty. Również rząd, zaopatrując nabywców w tym więcej pieniędzy — im wyższe są ceny — działa jako afirmant. Ponieważ kupcy chcą pobierać wyższe ceny, niż pozwala na to ilość pieniędzy na rynku ($BC > 1$), więc musi to wytworzyć sprzężenie zwrotne dodatnie rozbieżne, przejawiające się jako lawinowy wzrost cen i ilości emitowanych pieniędzy. Natomiast rząd, który zamiast emitować dodatkowe ilości pieniędzy, zacznie ściągać pieniądze z rynku przez wstrzymanie kredytów i wzmożone egzekwowanie podatków, działa jako negant, czego wynikiem jest sprzężenie zwrotne ujemne zbieżne. Jest to stan wymuszonej stabilizacji cen, zwany deflacją.

Jako przykład sprzężenia zwrotnego dodatniego rozbieżnego można przytoczyć pieniactwo.

Każda z poważnionych stron dochodzi swojej racji z tym większym natężeniem, im większy jest upór drugiej strony (afirmanty), nie cofając się przed ponoszeniem coraz większych kosztów ($BC > 1$). Sprawa kończy się dopiero po zupełnym wyczerpaniu się zasobów materialnych jednej ze stron.

Według sprzężenia zwrotnego dodatniego rozbieżnego przebiegają również wojny i rewolucje. Zaciekleść walczących stron coraz bardziej wzrasta, walka staje się coraz bardziej okrutna i niszcząca, kończąc się załamaniem jednej ze stron.

Z punktu widzenia techniki zarządzania godne uwagi są dwie typowe sytuacje zachodzące między zwierzchnikiem a podwładnym. Wyobraźmy sobie następujący tok rozmyślań obu kontrahentów.

Sytuacja pierwsza.

Kierownik: Kowalski nie wytęża się zbytnio w pracy, ale trzeba mu dać jakąś niewielką nagrodę, może go to zachęci.

Kowalski: Kierownik to morowy chłop, nie pominął mnie w nagrodach, chociaż nie uważam, że bym na to zasługiwał. Trzeba się podciągnąć, żeby tego nie żałował, i po co inni mają gadać, że mnie faworyzuje.

Kierownik: Kowalski bardzo się poprawił, następnym razem trzeba mu będzie dać więcej.

Kowalski: Kierownik umie jednak ocenić pracę, nie mogę się teraz opuszczać, bo mi na drugi raz nic nie da.

Kierownik: Okazuje się, że znam się na ludziach, wiedziałem, że z Kowalskiego jeszcze coś będzie. Trzeba będzie pomyśleć o podwyżce dla niego.

Sytuacja druga.

Kierownik: Kowalski nie wytęża się zbytnio w pracy, nie dam mu nagrody, bo nie ma za co.

Kowalski: Co on sobie myśli, że ja za takie pieniądze będę mu lepiej pracował? Nie ma głupich.

Kierownik: Kowalski jeszcze bardziej się opuścił, trzeba mu dać gorszą pracę, może go to nauczy rozumu.

Kowalski: A to drań, uwziął się na mnie. Myśli, że tym co zwojuje? Będzie widział u mnie pracę.

Kierownik: Okazuje się, że znam się na ludziach, od razu wiedziałem, że z Kowalskiego nic nie będzie. Trzeba go będzie chyba zwolnić.

Jest widoczne, że w obu opisanych sytuacjach występuje sprzężenie zwrotne dodatnie — obie strony wzmagają swoje oddziaływanie, zachowują się więc jako afirmanty. A jednak sprzężenia te daly wręcz przeciwnie wyniki, pozytyczny w pierwszej sytuacji, szkodliwy w drugiej.

Sprzężenie występujące w pierwszej sytuacji można by nazwać *konstruktywnym*, w drugiej zaś *destruktywnym*.

Różnica skutków wyniknęła z różnicy przyczyn. W pierwszej sytuacji kierownik zaczął od oddziaływanego zgodnego z interesem podwładnego, w drugiej zaś od oddziaływania sprzecznego z jego interesem. Podwładny w obu sytuacjach zareagował w kierunku narzuconym przez swojego zwierzchnika.

Zauważmy, że w obu sytuacjach obie strony mają uzasadnienie dla swojego postępowania, a zwłaszcza kapitalne jest to, że w obu przypadkach kierownik mógł w końcu pochwalić się umiejętnością przewidywania. Nie przyszło mu na myśl, że to nie żadne przewidywanie, lecz że poprostu doczekał się tego, co sam wywołał.

Tego rodzaju sytuacje wynikają często między ludźmi zdanymi na dłuższe współżycie, np. między niedobranymi małżonkami, wspólnikami ciasnego mieszkania, itp. Godzenie poważnych jest utrudnione tym, że każda strona może przytoczyć na swoje usprawiedliwienie mnóstwo postępów drugiej strony, a zatargi trwają zwykle od tak dawna, że nie sposób nawet dociec, kto *zaczął*.

Można zaryzykować twierdzenie, że umiejętność postępowania z ludźmi polega głównie na robieniu właściwego *pierwszego kroku*, od tego bowiem będzie zależeć, czy powstanie spiętrzenie konstruktywne czy destruktywne. W razie powstania spiętrzenia destruktynego ktoś musi pierwszy dokonać przerzutu na sprzężenie konstruktywne (mówiąc językiem potocznym *odplacić dobrym za złe*), przy czym im wcześniej to nastąpi, tym lepiej. Gdy sprawy pójdu za daleko, dla żadnej strony nie ma przeważnie już odwrotu.

Oczywiście, może się zdarzyć, że zamiast sprzężenia dodatniego (afirmant-afirmant) wystąpi sprzężenie ujemne (afirmant — negant).

Na przykład, w pierwszej z opisanych sytuacji podwładny mógł sobie pomyśleć, że skoro nagrodę dostaje się za nic, to tym bardziej nie warto pracować, a w drugiej, że wobec nieotrzymania nagrody należy starać się na nią zasłużyć. W obu tych przypadkach nastąpiłaby stabilizacja, podobna do opisanej w przykładzie z nauczycielem i uczniem.

Nie wynika z tego bynajmniej, że jest obojętne, jaki się zrobi pierwszy krok, bo przecież nie wiadomo, jak druga strona zareaguje. Może nas o tym przekonać bardzo prosta analiza.

Na pozytywny bodziec może nastąpić reakcja pozytywna (sprzężenie konstruktywne) albo negatywna (stabilizacja).

Na negatywny bodziec również może nastąpić reakcja pozytywna (stabilizacja) albo negatywna (sprzężenie destruktywne).

Inaczej mówiąc, dobry początek może dać wynik obojętny lub dobry, a zły początek może dać wynik obojętny lub zły. Wynika stąd oczywisty wniosek, że przynajmniej na początku opłaca się być dobrym.

ROZDZIAŁ TRZECI

I N F O R M A C J A

3.1. ZARYS HISTORYCZNY

Niemal do naszych czasów przetrwało przeświadczenie, że procesy informacyjne są czymś zgoła odrębnym nie tylko od zjawisk fizycznych występujących w przyrodzie nieożywionej lecz nawet od procesów fizjologicznych.

Myślenie jako proces wytwarzania informacji uważano za zjawisko niematerialne, które w jakiś niezrozumiałym, cudownym sposobie ma siebie w mózgu, ale nie jest procesem fizjologicznym lecz *duchowym*, przy czym nikt nie potrafił wyjaśnić, co by to miało znaczyć.

Poglądowi temu zdawał się przeczytać fakt, że zwierzęta, np. psy, konie itp., rozumieją wiele informacji otrzymywanych od człowieka i same go informują, ale tę trudność starano się ominąć wyjaśnieniem, że u tych zwierząt jest to tylko wynik tresury ze strony człowieka. Coraz częściej stwierdzano przejawy porozumiewania się zwierząt (z całą pewnością nie tresowanych) między sobą, jak np. niedawno odkryte zjawisko informowania się pszczół o położeniu kwiatów obfitujących w substancje dające się przetwarzać w miód objaśniano działaniem bliżej nieokreślonego *instynktu*.

Obecnie nikogo nie razi, że informują się nawet maszyny (automaty).

Jednakże sprawa nie jest bynajmniej prosta. Od dawna bowiem odczuwano potrzebę odróżniania dwóch składników w procesach informacyjnych, przy czym do jednego z nich (*fizycznego*) zaliczano przedmioty (listy, telegramy, książki itp.), zjawiska energetyczne (sygnały świetlne, barwy, dźwięki itp.) i umowne znaki (litery, cyfry, symbole itp.), jednym słowem wszystko to, co zawierając lub przenosząc informacje, daje się wykryć zmysłami, zmierzyć i ewentualnie utrwalic, a do drugiego (*psychicznego*) same informacje, wiadomości i w ogóle to, co można tylko *rozumieć*. Czym innym są sygnały czerwone i zielone na skrzyżowaniach ulic, a czym innym znaczenie, jakie im się przypisuje.

To samo zagadnienie występowało w wieloletnich sporach na temat rozróżniania *formy i treści*, np. w sztuce.

Istotny postęp do tych zagadnień wniosła dopiero cybernetyka, a w szczególności teoria informacji.

Twórcą teorii informacji jest teleelektryk amerykański C. E. Shannon. Jego zasługą jest wprowadzenie pojęcia *ilości informacji*, opracowanie sposobu jej wyznaczania oraz przeprowadzenie rozległych badań na temat ilościowych zagadnień przekazywania informacji. Traktowanie informacji w sposób matematyczny pozwoliło na uściślenie wielu niejasnych dotychczas pojęć.

O ilości informacji będzie mowa na innym miejscu. Obecnie zajmujemy się wskazaniem zagadnień, które u Shannona i jego kontynuatorów nie znalazły rozwiązania.

Oto co pisze sam Shannon*) na temat zakresu zadań, jakie sobie postawił:

„Podstawowym zadaniem komunikacji jest odtworzyć w pewnym miejscu, w sposób dokładny lub przybliżony, komunikat, który w innym miejscu został wybrany do przekazania. Często komunikaty mają znaczenie, tj. odnoszą się do jakiegoś układu mającego określoną fizyczną lub umysłową treść, bądź pozostającą w odpowiedniości z jakimś układem. Te semantyczne aspekty nie dotyczą technicznej strony zagadnienia. Istotne jest tylko to, że przekazywany komunikat jest komunikatem wybranym z jakiegoś zbioru możliwych komunikatów”.

Jak widać, Shannon zajmuje się tylko pierwszym z omawianych powyżej składników, wyraźnie odcinając się od zajmowania drugim.

Matematyk francuski L. Couffignal**) ujmuje sprawę w następujący sposób:

„Aby rozróżnić terminologicznie działanie fizyczne i działanie psychiczne jako składniki informacji oraz sprecyzować użycie samego wyrazu „informacja” będziemy używać następujących terminów:

- informacja jest to zespół nośnika i semantyki;*
- semantyka informacji jest to skutek psychiczny informacji;*
- nośnik informacji jest to zjawisko fizyczne skojarzone z semantyką w celu utworzenia informacji”.*

Powyższym definicjom można wiele zarzucić z punktu widzenia logiki. Okazuje się, że aby zrozumieć, co to jest *informacja*, trzeba wiezieć, co to jest *nośnik informacji* oraz *semantyka informacji*, ale obydwa te pojęcia są zdefiniowane przy użyciu wyrazu *informacja*, powstaje więc błędne koło.

*) C. E. Shannon *A Mathematical Theory of Communication*, Bell System Techn. J. 27(1948), nr 3.

**) L. Couffignal *La cybernétique*, Presses Universitaires de France, Paris 1963.

Najistotniejsze jest jednak to, że i Couffignal sprawę treści informacji przerzuca na zjawiska psychiczne.

U angielskiego neurofizjologa Ashby'ego*) znajdujemy zdanie:
„*Tak więc komunikacja wymaga koniecznie istnienia zbioru przekazywanych komunikatów. Co więcej, informacja przekazywana w postaci pewnego konkretnego komunikatu zależy od zbioru, z którego ten komunikat pochodzi*”.

A więc, w ujęciu Ashby'ego informacja jest postacią komunikatu.

Można też spotkać autorów utożsamiających informację z ilością informacji.

Jak widać, i u samych cybernetyków sprawa budzi rozmaite wątpliwości. W każdym jednak razie można stwierdzić, że z zagadnienia związku między komunikatem a informacją zajęli się oni przynajmniej komunikatami i w tym zakresie przyczynili się do znacznego postępu.

Natomiast co do pojęcia informacji pozostawili sprawę otwartą. Pomimo że we wszystkich publikacjach z zakresu teorii informacji powtarzają się po wiele razy takie wyrażenia, jak *ilość informacji, przenoszenie informacji, przetwarzanie informacji* itp., samo pojęcie *informacji* pozostaje nieokreślone.

Zanim przedstawimy rozwiązań tego zagadnienia, postaramy się przedstawić główne osiągnięcia teorii informacji.

3.2. ILOŚĆ INFORMACJI

Ile informacji otrzymaliśmy słysząc zdanie: *teraz jest rok parzysty?*

Czytelnik nie przywykły do operowania pojęciami teorii informacji gotów by odpowiedzieć, że jedną.

Tymczasem w rzeczywistości otrzymaliśmy 2 informacje, a mianowicie: 1) teraz jest rok parzysty, 2) teraz nie jest rok nieparzysty.

Zdanie: *teraz jest jesień* jest w istocie podaniem 4 informacji: 1) teraz nie jest wiosna, 2) teraz nie jest lato, 3) teraz jest jesień, 4) teraz nie jest zima.

Zdanie z pierwszego przykładu zawiera 2 informacje, gdyż możliwe są tylko 2 stanów: rok może być albo parzysty albo nieparzysty.

Zdanie z drugiego przykładu zawiera 4 informacje, gdyż istnieją tylko 4 pory roku.

Jak widać, ilość informacji zawartych w jakimkolwiek zdaniu można wyrazić liczbą możliwych stanów, z których jeden został w tym zdaniu wyróżniony.

Na tej podstawie czytelnik z łatwością odpowie, że zdanie *teraz jest sierpień*, zawiera 12 informacji, bo w zdaniu tym został stwierdzony

*) W. R. Ashby *Introduction to Cybernetics*, London 1958, Chapman. Zobacz również polski przekład: *Wstęp do cybernetyki* Warszawa 1961, PWN.

jeden z 12 możliwych stanów, co zarazem jest stwierdzeniem, że nie zachodzi żaden z pozostałych 11 stanów.

Ogólnie więc można powiedzieć, że wskazanie jednego stanu ze zbioru N możliwych stanów zawiera N informacji.

W przytoczonych powyżej przykładach operowaliśmy określonymi treściami — czym innym są pory roku — a czym innym miesiące — ale z punktu widzenia teorii informacji nie odgrywa to żadnej roli.

Zgodnie z przytoczoną wypowiedzią Shannona, możliwe stany są traktowane jako komunikaty (które dla kogoś może coś *znaczą*), przy czym istotne jest tylko to, że jeden z tych komunikatów został wybrany.

Czytelników może dziwić, dlaczego w teorii informacji taką wagę przywiązuje się do liczby możliwych komunikatów. Aby to wyjaśnić, wyobraźmy sobie, że na ziemi wylądował Marsjanin, przy czym okazało się, że używa on tylko dwóch słów: *hau* i *miau*. Czy za pośrednictwem tych słów moglibyśmy komukolwiek przekazać informację, jaki teraz jest miesiąc? Na to mógłby ktoś powiedzieć, że nie wiadomo, bo nie znamy marsjańskiego języka. Otóż nie moglibyśmy tej informacji przekazać dlatego, że miesięcy w roku jest dwanaście, a Marsjanin operuje tylko dwoma wyrazami.

Znajomość znaczeń tych wyrazów jest nam niepotrzebna, wystarczy samo stwierdzenie, że jest ich za mało.

Nie możemy zobaczyć zbyt drobnych szczegółów na ekranie telewizyjnym, ponieważ nie pozwala na to zbyt mała liczba punktów tworzących obraz. Z trudem rozpoznajemy głos osoby mówiącej do nas przez telefon, ponieważ ma on ograniczone pasmo częstotliwości drgań dźwiękowych.

Przy określaniu ilości informacji dogodniejsze od operowania liczbą N możliwych komunikatów okazało się operowanie logarytmem tej liczby przy podstawie 2.

Objaśniemy to w sposób bardziej przystępny.

Ilość informacji zawarta w komunikacie wybranym ze zbioru 2 komunikatów wynosi 2; liczbę tę można przedstawić w postaci 2^1 (dwa do potęgi pierwszej).

Ilość informacji zawarta w komunikacie wybranym ze zbioru 4 komunikatów wynosi 4 czyli 2^2 .

Ilość informacji zawarta w komunikacie wybranym ze zbioru 8 komunikatów wynosi 8 czyli 2^3 , itd.

Ogólnie można powiedzieć, że ilość informacji zawarta w komunikacie wybranym ze zbioru N komunikatów wynosi

$$N = 2^n \quad (3.1)$$

skąd po zlogarytmowaniu obu stron równania otrzymuje się

$$n = \lg_2 N \quad (3.2)$$

Za ilość informacji przyjęto uważać nie liczbę N , lecz liczbę n według powyższych wzorów.

Dogodność tego sposobu polega na tym, że w przypadkach, gdy zachodzi potrzeba mnożenia ilości informacji wyrażanych liczbami N komunikatów, można je zastąpić prostszym działaniem dodawania liczb n , czyli logarytmów liczb N . W przypadkach potęgowania następuje się je mnożeniem, co również jest znacznie prostsze.

Ponieważ przy zbiorze $N = 2$ komunikatów ilość informacji (w ujęciu logarytmicznym) wynosi $n = 1$, uznano ją za jednostkę ilości informacji i nadano jej nazwę bit.

Jest to wyraz skrócony utworzony z początkowych i końcowych liter angielskiego wyrażenia *binary digit* (co znaczy *cyfra dwójkowa*).

Posługując się tą jednostką można powiedzieć, że komunikat wybrany ze zbioru 4 komunikatów zawiera 2 bity informacji, komunikat wybrany ze zbioru 8 komunikatów zawiera 3 bity informacji, itp. Jak łatwo zauważać, każde podwojenie liczby komunikatów sprawia, że ilość informacji zawarta w wybranym komunikacie zwiększa się o 1 bit.

Posługiwanie się pojęciem ilości informacji jest przydatne do wielu celów.

Zilustrujemy to kilkoma prostymi przykładami:

Przypuśćmy, że z talii 32 kart została wyjęta dziewiątka pik, a zadanie nasze polega na jej wykryciu przez zadawanie pytań, na które odpowiedź może brzmieć *tak* lub *nie*. Ile pytań musimy zadać, aby dojść do celu?

Jeżeli będziemy zadawać pytania wyrywkowo (np. *czy to jest walet karo? Czy to jest as kier?* itp.), to w najlepszym razie trafimy za pierwszym razem, w najgorszym zaś będziemy musieli zadać 31 pytań (jeżeli żadne z tych pytań nie okaże się trafne, to nie musimy zadawać trzydziestego drugiego pytania, ponieważ i bez tego wiadomo będzie, jaka jest ostatnia pozostała karta). Wynika stąd, że przeciętnie trzeba zadać 16 pytań, aby wykryć poszukiwany komunikat ze zbioru 32 komunikatów, przy czym nie ma pewności, czy się to uda.

Tymczasem posługując się pojęciem ilości informacji można ten cel osiągnąć przez postawienie nie 16, lecz tylko 5 pytań, i nie przypuszczalnie lecz na pewno.

Pytania te są następujące:

1) *Czy to jest karta koloru czarnego?* Odpowiedź *tak* wyjaśnia sprawę. Gdybyśmy zadali pytanie *czy to jest karta koloru czerwonego?* wynik byłby taki sam, gdyż odpowiedź *nie* zorientowałaby nas, że chodzi o kartę koloru czarnego.

2) *Czy to jest trefl?* Z odpowiedzi *nie* wynika, że szukana karta jest pikowa. Tę samą informację otrzymalibyśmy z odpowiedzi *tak* na pytanie *czy to jest pik?*

3) *Czy to jest blotka?* Odpowiedź *tak* wyłącza z poszukiwań asa i figury.

4) Czy to jest siódemka lub ósemka? Z odpowiedzi *nie* wynika, że w grę może wchodzić tylko dziewiątka lub dziesiątka pik.

5) Czy to jest dziesiątka? Odpowiedź *nie* wskazuje, że szukaną kartą jest dziewiątka pik.

To, że do znalezienia jednego z 32 komunikatów wystarczy 5 pytań, mogliśmy z góry przewidzieć biorąc pod uwagę, że $32 = 2^5$ czyli że szukany komunikat zawiera 5 bitów informacji.

Stawiając pierwsze pytanie dokonaliśmy podziału całego zbioru komunikatów na dwie grupy (czerwony i czarny kolor kart). Otrzymana odpowiedź wyodrębniła jedną z tych grup, zawierała więc informację w ilości 1 bita.

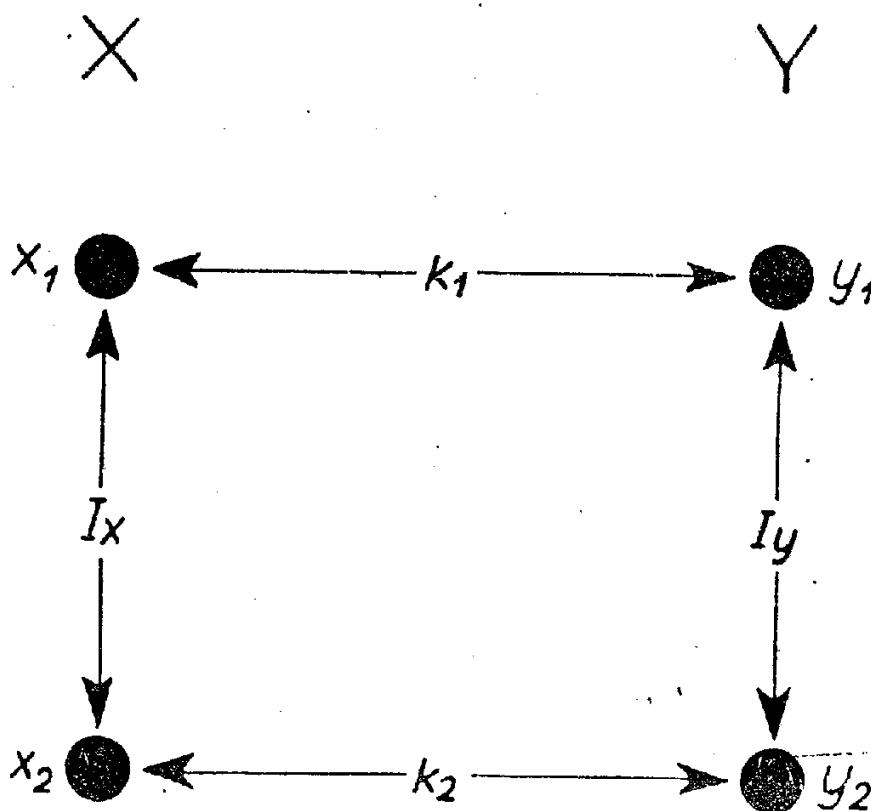
W drugim pytaniu podzieliliśmy z kolei tę grupę na dwie mniejsze grupy i znów otrzymaliśmy informację w ilości 1 bita.

Każde następne pytanie pozwoliło nam uzyskać informację w ilości 1 bita.

W rezultacie wystarczyło 5 pytań metodycznych, ażeby na pewno znaleźć szukaną informację, zamiast 16 pytań wyrywkowych, bez gwarancji jej znalezienia.

A zatem przy tym sposobie postępowania trzeba zadać tyle pytań, ile bitów informacji zawiera poszukiwany komunikat.

Wynika stąd ogólna wskazówka, że w poszukiwaniu jakichkolwiek informacji nie należy tego robić na chybił-trafił, lecz przede wszystkim ustalić, ile możliwości wchodzi w ogółie w grę, a następnie, dzieląc zbiór



Rys. 9

możliwości na dwie grupy, wyeliminować jedną z nich, a pozostałą znów podzielić na dwie grupy itd., aż wreszcie dojdzie się zbioru obejmującego tylko dwie możliwości, spośród których znajduje się szukaną.

Jak widzieliśmy na przykładzie, jest to metoda najkrótsza i najpewniejsza, a więc najskuteczniejsza. Jest ona tym bardziej opłacalna, im większa jest liczba możliwych komunikatów, jak to wynika z następującego zestawienia:

Liczba komunikatów w zbiorze	Prawdopodobna liczba pytań wyrywkowych potrzebnych do znalezienia szukanego komunikatu	Liczba pytań metodycznych zapewniająca znalezienie szukanego komunikatu
2	1	1
4	2	2
8	4	3
16	8	4
32	16	5
64	32	6
128	64	7
256	128	8
512	256	9
1024	512	10
2048	1024	11
4096	2048	12
8192	4096	13
16384	8192	14
32768	16384	15
65536	32768	16
131072	65536	17
262144	131072	18
524288	262144	19
1048576	524288	20

Przy szukaniu jednego z 2 komunikatów zawsze musimy zadać 1 pytanie (obojętnie które).

Przy wyrywkowym szukaniu jednego z 4 komunikatów trzeba zadać co najmniej 1 pytanie, a co najwyżej 2 pytania, czyli przeciętnie 2 pytania. Postępując metodycznie również musimy zadać 2 pytania, ale mamy pewność, że to wystarczy.

Przy coraz większej liczbie komunikatów w zbiorze, postępowanie metodyczne daje nie tylko pewność, ale przy tym wymaga znacznie mniejszej liczby pytań. Na przykład, do wykrycia jednego z miliona komunikatów potrzeba byłoby przeciętnie około pół miliona pytań wyrywkowych, podczas gdy przy stosowaniu kolejnych podziałów w zupełności wystarcza 20 pytań.

Obecnie rozpatrzmy inny pouczający przykład zastosowania pojęcia ilości informacji.

Znany jest rodzaj teleturniejów, w którym chodzi o odgadnięcie przedmiotu przez zadawanie pytań, na które odpowiedź może brzmieć tylko *tak* lub *nie*, przy czym nie można zadać więcej niż 20 pytań.

Jest zrozumiałe, że rozwiązujący nie zadawali pytań wyrywkowych, lecz postępowali metodycznie, dzieląc kolejno coraz to mniejsze zbiory na dwie grupy, podobnie jak to robiliśmy w przykładzie z wykrywaniem dziewiątki pik.

Za pomocą 20 pytań można wykryć jedną z miliona możliwości, ale różnych przedmiotów istnieje na świecie o wiele więcej niż milion, wobec czego nawet 20 pytań może nie wystarczyć.

Pewna grupa rozwiązujących chwyciła się następującego sposobu. Każdy przedmiot ma nazwę, a nazwa składa się z liter. Alfabet polski składa się z niespełna trzydziestu liter, wobec czego każda litera zawiera nieco mniej niż 5 bitów informacji. A zatem zadając 5 pytań (np. czy nazwa szukanego przedmiotu zaczyna się na literę znajdującej się w pierwszej połowie alfabetu, tj. od *a* do *l*?) można znaleźć pierwszą literę nazwy szukanego przedmiotu. Za pomocą następnych 5 pytań można znaleźć drugą literę tej nazwy. Znając pierwsze litery i mając jeszcze 10 pytań w rezerwie, nie trudno już znaleźć całą nazwę.

Z tego rozrywkowego przykładu wynika wskazówka, że jeżeli szukana informacja jest zawarta w kilku zbiorach komunikatów, to należy jej szukać w zbiorze mającym najmniejszą liczbę komunikatów. Komunikaty z tego zbioru zawierają najmniejszą ilość informacji (najmniej bitów), a więc do wykrycia szukanego komunikatu trzeba zadać najmniej pytań.

3.3. POJĘCIE INFORMACJI

Pomimo swojej niewątpliwej użyteczności pojęcie ilości informacji ma zastosowanie ograniczone do tych przypadków, w których liczba możliwych komunikatów może być określona. Jest ono nieprzydatne w przypadkach nieograniczonej liczby komunikatów.

Tak na przykład, nie wiadomo jaką ilość informacji zawiera zdanie: *teraz jest rok 1968*, gdyż nie podobna określić z jakiego zbioru możliwych lat rok ten został wybrany.

A przecież zdanie to niewątpliwie zawiera wyraźnie określona informację.

Gdy rozpatrując jakieś zadanie geometryczne stwierdzimy, że „*odcinek *b* ma długość 3 razy większą niż odcinek *c**”, to zawarta w tym zdaniu informacja jest wyraźna, ale ilość informacji jest nieokreślona, bo oprócz liczby 3 mogłoby wchodzić w grę dowolnie wiele innych liczb.

Nikt nie ma wątpliwości, że źródłem wielu informacji jest mapa, ale na podstawie teorii informacji nie można określić, jaką ilość informacji mapa zawiera.

W przytoczonych przykładach mamy do czynienia z informacjami, pomimo że pojęcie ilości informacji nie ma w nich zastosowania.

*

Wskazuje to na konieczność objaśnienia samego pojęcia informacji. W tym celu przeprowadzimy następujące rozumowanie.

Rozpatrzmy następujące dwa zbiorze komunikatów: pewien zbiór X składający się z komunikatów x_1, x_2, x_3 itd., oraz zbiór Y składający się z komunikatów y_1, y_2, y_3 itd.

Komunikaty w zbiorze X są stanami fizycznymi dającymi się bezpośrednio wykorzystać do sterowania. Komunikaty te będziemy nazywać o r y g i n a ła m i.

Komunikaty w zbiorze Y są stanami dającymi się wykorzystać do sterowania tylko pod warunkiem, że mają one takie cechy, dzięki którym zbiór X daje się wykorzystać bezpośrednio do sterowania. Komunikaty takiego zbioru Y będziemy nazywać o b r a z a m i.

Za informacje będziemy uważać te właśnie cechy, dzięki którym do sterowania możemy, zamiast oryginałów, wykorzystywać ich obrazy.

Dla przejrzystości przyjmujemy, że zbiorze oryginałów X i obrazów Y zawierają tylko po dwa komunikaty, tj. dwa oryginały x_1 i x_2 oraz dwa obrazy y_1 i y_2 (rys. 9).

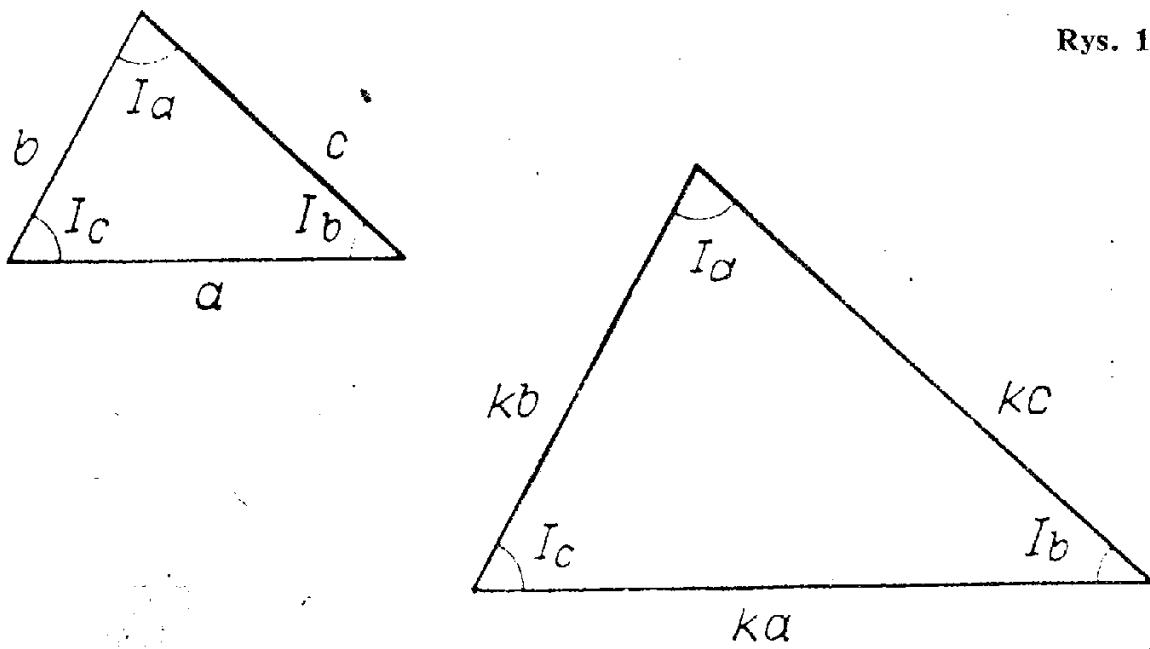
Jeżeli komunikaty ze zbioru Y mają być obrazami komunikatów ze zbioru X jako oryginałów, to muszą istnieć między nimi jakieś związki. Przypuśćmy, że są to związki następujące:

$$y_1 = k_1 x_1 \quad (3.3)$$

$$y_2 = k_2 x_2 \quad (3.4)$$

gdzie k_1 i k_2 są współczynnikami liczbowymi.

Rys. 10



Oprócz tego istnieją związki między oryginałami i związki między obrazami. Przypuśćmy, że są to związki następujące:

$$x_2 = I_x \cdot x_1 \quad (3.5)$$

$$y_2 = I_y \cdot y_1 \quad (3.6)$$

Podstawiając wyrażenia y_1 i y_2 ze wzorów (3.3) i (3.4) do wzoru (3.6) otrzymamy

$$k_2 x_2 = I_y \cdot k_1 x_1 \quad (3.7)$$

Jeżeli współczynniki k_1 i k_2 są jednakowe

$$k_1 = k_2 = k \quad (3.8)$$

to równanie (3.7) przybierze postać

$$x_2 = I_y \cdot x_1 \quad (3.10)$$

Z porównania wzorów (3.5) i (3.10) wynika, że współczynniki I_x i I_y przy powyższych założeniach muszą być jednakowe, czyli

$$I_x = I_y = I \quad (3.11)$$

co oznacza, że związek między oryginałami jest taki sam jak związek między obrazami.

Gdybyśmy więc chcieli wykorzystać związek między oryginałami wyrażony w procesie sterowania współczynnikiem I , to do tego celu wystarczą nam obrazy, gdyż między nimi zachodzi związek wyrażony takim samym współczynnikiem I . Związek ten jest właśnie wspomnianą powyżej cechą, dzięki której zamiast oryginałów możemy do sterowania wykorzystać obrazy, czyli informację.

*

A zatem, informacja jest to związek między komunikatami tego samego zbioru. Może to być związek między oryginałami lub między obrazami.

Zgodnie z tym, wyrażenie, że komunikaty zawierają pewne informacje, oznacza, że między tymi komunikatami występują określone związki.

Natomiast nie można mówić, że jakiś komunikat (jeden!) zawiera informacje, potrzeba bowiem co najmniej dwóch komunikatów, ażeby można było mówić o związku między komunikatami.

Pozostaje to w zgodzie z pojęciem ilości informacji, ze wzoru (3.1) wynika bowiem, że gdy liczba komunikatów $N = 1$, to ilość informacji $n = 0$ (jako że logarytm jedności równa się zeru).

W świetle tych objaśnień staje się zrozumiałe, że w przytoczonym poprzednio zdaniu: *teraz jest rok 1968*, informacją jest związek między podanym rokiem a jednostką czasu 1 rok. Inaczej mówiąc, zdanie to zawiera informację, że od początku naszej ery upłynął czas 1968 razy dłuższy niż 1 rok.

Podobnie w zdaniu, że jakiś odcinek ma długość 3 m, informacją jest związek między długością danego odcinka a jednostką długości.

Jest to informacja, że dany odcinek jest 3 razy dłuższy od 1 metra.

Związki między oryginałami a obrazami będziemy nazywać kodami.

W przytoczonych rozważaniach kodami były związki wyrażone współczynnikami k_1 i k_2 .

Ze wzorów (3.3) i (3.4) wynika, że znając oryginały i kody można otrzymać obrazy. Proces ten jest kodowaniem.

Natomiast znając obrazy i kody można otrzymać oryginały. Proces ten jest dekodowaniem.

I wreszcie, znając oryginały i obrazy można otrzymać kody. Proces ten jest wycrywaniem kodów.

3.4. PRZETWARZANIE KOMUNIKATÓW

Rozróżnienie między oryginałami a obrazami jest umowne. W poszukiwaniu informacji zbiorem obrazów nazywamy zwykle zbiór komunikatów, którym dysponujemy, a zbiorem oryginałów zbiór komunikatów, którego nam brakuje. Inaczej mówiąc, z braku oryginałów posługujemy się obrazami. Na obrazach możemy poprzestać, jeżeli wystarczają nam zawarte w nich informacje. Jeżeli jednak chcemy dojść do samych oryginałów, musimy obrazy zdekodować.

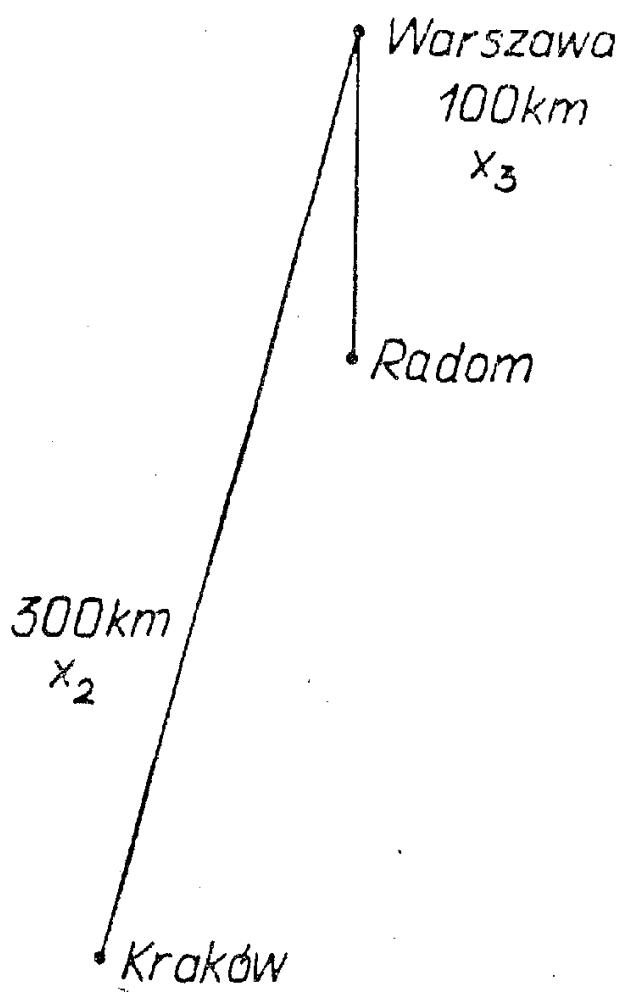
Zdarza się wprawdzie, że mając oryginały staramy się wytworzyć również obrazy, tj. zakodować oryginały, ale robimy to w celu przekazania tych obrazów jakiemuś odbiorcy informacji (z braku możliwości udostępnienia mu samych oryginałów), a więc dla tego odbiorcy tylko obrazy będą dostępne.

W związku z umownością rozróżnienia, oryginały nie muszą być najmniej być wcześniejsze od obrazów. Mogą one równie dobrze występować równocześnie z obrazami, a nawet później.

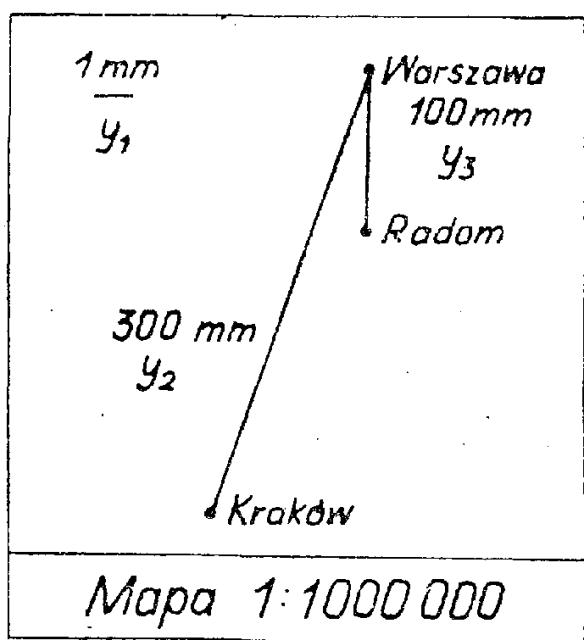
Przykładem sytuacji, gdy oryginały występują przed obrazami, jest praca archeologów starających się z wykopalisk wnioskować o dawnych dziejach, odczytywanie listu opisującego jakieś zdarzenia, badanie miejsca zbrodni w celu zrekonstruowania jej przebiegu itp. Jest to rekonstrukcja przeszłości.

Równoczesność oryginałów i obrazów zachodzi np. gdy z barwy płomienia wnosi się o jego temperaturze, gdy z zachowania się świadka wnosi się czy mówi on prawdę, gdy z objawów wnosi się o stanie wewnętrznych organów chorego, itp. Jest to rozpoznanie zjawisk na podstawie ich objawów.

I wreszcie, przykładem sytuacji, gdy oryginały występują po obrazach, jest wszelkie przewidywanie przyszłych zjawisk na podstawie ich



Rys. 11



aktualnego stanu, np. przewidywanie pogody, urodzaju, wyników głosowania, itp.

Gdy oryginały i obrazy występują niejednocześnie, przejście od jednych do drugich wymaga ciągu wielu pośrednich zbiorów komunikatów. Każdy z nich może być uważany za zbiór obrazów dla poprzedniego zbioru komunikatów, a za zbiór oryginałów dla następnego. Tak na przykład, przy przesyłaniu telegramów można wymienić następujące kolejne zbiory komunikatów: tekst napisany przez nadawcę, impulsy mechaniczne w nadawczym aparacie telegraficznym, impulsy elektryczne w linii telegraficznej, impulsy mechaniczne w odbiorczym aparacie telegraficznym, tekst otrzymany przez odbiorcę.

Znając kod możemy przejść od razu od początkowych oryginałów do końcowych obrazów, co jednak nie zmienia faktu istnienia pośrednich zbiorów komunikatów. A zatem, przekazywanie informacji od oryginałów do obrazów wymaga **przetwarzania komunikatów**.

Jeżeli wszystkie komunikaty tego samego zbioru są stanami zjawiska tego samego rodzaju, to taki rodzaj zjawiska jest **nośnikiem informacji**.

W związku z tym, przetwarzaniu komunikatów towarzyszy przetwarzanie nośnika informacji. Na przykład, przy przesyłaniu telegramów jednym z pośrednich nośników informacji są zjawiska mechaniczne, które zostają przetworzone w zjawiska elektryczne, te zaś z kolei znów w zjawiska mechaniczne.

Ciąg zbiorów komunikatów, zaczynający się na oryginałach, a kończący na obrazach, stanowi **tor informacyjny**. Początkowy zbiór oryginałów jest **źródłem informacji**, a końcowy zbiór obrazów **odbiornikiem informacji**.

Każde przekazywanie informacji od źródła do odbiornika wymaga przetwarzania komunikatów. Poniżej omówimy dwa rodzaje przekazywania informacji, a mianowicie przenoszenie informacji i przetwarzanie informacji.

3.5. PRZENOSZENIE INFORMACJI

Przenoszenie informacji jest to takie przetwarzanie komunikatów, w którym każdy zbiór komunikatów toru informacyjnego zawiera te same informacje.

Jak to wynika z rozważań w rozdz. 3.3, oryginały i obrazy zawierają te same informacje tylko wtedy, gdy każda para oryginał-obraz ma taki sam kod, zgodnie ze wzorem (3.8). Ponadto musi to być taki rodzaj kodu, którego znajomość nie jest potrzebna do tego, żeby z informacji zawartych w obrazach wnosić o informacjach zawartych w oryginałach. Do tego rodzaju kodów należą współczynniki, i dzięki temu właśnie

mogliśmy przejść od wzoru (3.9) do wzoru (3.10), pomijając kod k .

Przykładem geometrycznym przenoszenia informacji jest budowanie trójkątów podobnych, tzn. mających boki proporcjonalne (rys. 10).

Jeżeli boki pierwszego z tych trójkątów traktować jako oryginały, a boki drugiego jako obrazy, to współczynnik proporcjonalności k będzie kodem.

Jak wiadomo, w trójkątach podobnych kąty naprzeciw odpowiadających sobie boków są jednakowe. Tak na przykład, naprzeciw boku a pierwszego trójkąta jest taki sam kąt Ia , jak naprzeciw boku ka drugiego trójkąta itd.

A zatem, w trójkątach podobnych boki odgrywają rolę komunikatorów, kąty zaś rolę informacji. Budując więc trójkąt podobny do innego trójkąta sprawiliśmy, że jako zbiór obrazów zawiera on takie same informacje, jakie zawiera zbiór oryginałów, czyli że informacje zawarte w zbiorze oryginałów znalazły się teraz także w zbiorze obrazów. W taki sposób należy rozumieć proces przenoszenia informacji.

Gdyby do jakiegoś procesu sterowania miały być wykorzystane kąty pierwszego trójkąta, to trójkąt ten nie byłby nam potrzebny, gdybyśmy mieli do dyspozycji drugi trójkąt, pod warunkiem, że byłby on geometrycznie podobny do pierwszego trójkąta. Oznacza to, że niepotrzebna jest znajomość współczynnika proporcjonalności k , a wystarczy tylko wiedzieć, że współczynnik ten jest dla wszystkich par boków jednakowy. Wówczas możemy wykorzystać kąty drugiego trójkąta, mając pewność, że są one takie same jak kąty pierwszego trójkąta.

Inna byłaby sytuacja, gdyby do procesu sterowania miały być wykorzystane boki pierwszego trójkąta. Wówczas nie wystarczyłoby mieć zamiast niego inny trójkąt podobny. Musielibyśmy ponadto znać współczynnik proporcjonalności k . Dzieląc boki drugiego trójkąta (obrazy) przez współczynnik (kod) otrzymalibyśmy boki pierwszego trójkąta (oryginały).

Innym przykładem przenoszenia informacji jest sporządzanie map. W procesie tym teren jest zbiorem oryginałów, mapa jest zbiorem obrazów, podziałka zaś kodem (rys. 11).

*

Znając w terenie następujące oryginały: jednostkę długości $x_1 = 1 \text{ km}$, odległość Warszawa—Kraków $x_2 = 300 \text{ km}$ i odległość Warszawa—Radom $x_3 = 100 \text{ km}$, oraz podziałkę $k = 0,000001$, w której chcemy sporządzić mapę terenu, otrzymamy na mapie obrazy: jednostkę długości $y_1 = kx_1 = 0,000001 \cdot 1 = 0,000001 \text{ km} = 1 \text{ mm}$, odległość Warszawa—Kraków $y_2 = kx_2 = 0,000001 \cdot 300 = 0,0003 \text{ km} = 300 \text{ mm}$ oraz odległość Warszawa—Radom $y_3 = kx_3 = 0,000001 \cdot 100 = 0,0001 \text{ km} = 100 \text{ mm}$.

Nasuwa się pytanie: *jakie informacje zawiera ta mapa?*

Zgodnie ze wzorem (3.6) możemy napisać

$$0,0003 \text{ km} = I_y \cdot 0,000001 \text{ km}$$

skąd

$$I_y = \frac{0,0003}{0,000001} = 300.$$

Dla terenu, zgodnie ze wzorem (3.5) możemy napisać:

$$300 \text{ km} = I_x \cdot 1 \text{ km}$$

skąd

$$I_x = \frac{300}{1} = 300.$$

A więc jak widać, mapa zawiera taką samą informację, jaką zawiera teren, a mianowicie $I_y = I_x = I = 300$. Jest to informacja, że stosunek odległości Warszawa—Kraków na mapie do jednostki długości na mapie jest taki sam jak stosunek odległości Warszawa—Kraków w terenie, do jednostki długości w terenie i wyraża się liczbą 300. Jest ona tym, co mapa i teren mają wspólnego.

Należy tu podkreślić, że znaną na mapie informacją jest wyłącznie liczba 300, a nie 300 km. O tym, że są to kilometry, dowiadujemy się nie z mapy (obrazu), lecz z podziałki (kodu). Analogicznie bowiem do wzoru (3.4) możemy napisać $y_2 = kx_2$, skąd

$$x_2 = \frac{y_2}{k} = \frac{0,0003 \text{ km}}{0,000001} = 300 \text{ km}$$

A zatem jeżeli z mapy szukamy komunikatów, a mianowicie odległości w terenie (oryginałów), to musimy znać odpowiednie odległości na mapie (obrazy) i podziałkę (kod).

Natomiast jeżeli z mapy szukamy informacji, tj. stosunków odległości w terenie (związków między oryginałami), to musimy znać stosunki odpowiednich odległości na mapie (związki między obrazami). Podziałka (kod) jest do tego niepotrzebna.

Na przykład, aby znaleźć, ile razy w terenie odległość Warszawa—Kraków jest większa od odległości Warszawa—Radom, wystarczy znaleźć stosunek obrazów tych odległości na mapie, gdyż

$$\frac{y_2}{y_3} = \frac{kx_2}{kx_3} = \frac{x_2}{x_3}$$

a więc jeśli

$$\frac{y_2}{y_3} = \frac{300}{100} = 3$$

to również

$$\frac{x_2}{x_3} = 3$$

Liczba 3, oznaczająca, że odległość Warszawa—Kraków jest 3 razy większa od odległości Warszawa—Radom, jest informacją otrzymaną z mapy, bez konieczności korzystania z podziałki (kodu).

*

W dotychczasowych rozważaniach ograniczaliśmy się do przypadków, gdy informacja jest związkiem między dwoma stanami zbioru (między dwoma oryginałami x_1 i x_2 bądź między dwoma obrazami y_1 i y_2). Jest to informacja elementarna.

W przypadku, gdy ze zbioru obejmującego wiele oryginałów x_1 , x_2 , x_3 itd. został wyróżniony pewien oryginał x , informacjami elementarnymi I_1 , I_2 , I_3 , itd. są związki tego oryginału x z wszystkimi oryginałami zbioru:

$$\begin{aligned}x &= I_1(x_1) \\x &= I_2(x_2) \\x &= I_3(x_3) \quad \text{itd.}\end{aligned}$$

co można zapisać w postaci

$$x = I(X)$$

oznaczającej, że I jest informacją złożoną z informacji elementarnych oryginału x w zbiorze X .

Podobnie dla zbioru obrazów Y_1 , Y_2 , Y_3 itd. otrzymanych w procesie przenoszenia informacji, informacjami elementarnymi I_1 , I_2 , I_3 itd., są związki obrazu y (odpowiadającemu oryginałowi x) z wszystkimi obrazami zbioru:

$$\begin{aligned}y &= I_1(y_1) \\y &= I_2(y_2) \\y &= I_3(y_3) \quad \text{itd.},\end{aligned}$$

co można zapisać w postaci

$$y = I(Y)$$

oznaczającej, że I jest informacją złożoną z informacji elementarnych obrazu y w zbiorze Y .

Występująca w powyższych wzorach jednakowość informacji złożonej I dla oryginału x i obrazu y jest stwierdzeniem, że pewien oryginał x odgrywa taką samą rolę w zbiorze oryginałów, jaką jego obraz y odgrywa w zbiorze obrazów.

Na przykład, okoliczność, że w alfabetie Morse'a *kropka* oznacza literę e można wyrazić zapisem:

litera $e = I$ (alfabet łaciński)

kropka · = I (alfabet Morse'a)

oznaczającym, że *kropka* odgrywa w alfabetie Morse'a taką samą rolę, jaką litera *e* odgrywa w alfabetie łacińskim. Tylko na tym polega informacja zawarta w literze *e* i w znaku telegraficznym mającym postać *kropki*.

Tym, co jest wspólnego w polskim wyrazie *stół* i angielskim wyrazie *table*, czyli zawartą w nich informacją, jest okoliczność, że wyraz *stół* odgrywa taką samą rolę w języku polskim, jaką wyraz *table* odgrywa w języku angielskim.

Okoliczność, że słysząc wyraz *stół* wyobrażamy sobie mebel określany tym wyrazem, dotyczy związku między językiem polskim a wyobrażeniami osób znających ten język, nie dotyczy natomiast związku między językiem polskim a jakimkolwiek innym językiem. Inaczej mówiąc, z samych słowników nie dowiadujemy się, co jakiś wyraz *znaczy* a tylko jaką odgrywa rolę w danym języku. Natomiast *znaczenie* jakiegoś wyrazu jest stwierdzeniem, że wyraz ten odgrywa taką samą rolę wobec innych wyrazów danego języka, jaką wyobrażenie wywoływanie tym wyrazem odgrywa wobec wyobrażeń wywoływanych innymi wyrazami tego języka.

Łatwo to okazać na przykładzie fikcyjnego słownika alańsko-belańskiego. Gdybyśmy w nim znaleźli, że alańskie *asol* to po belańsku *besol*, to z tego nie dowiedzielibyśmy się przecież co te wyrazy *znaczą*, lecz tylko, że sobie odpowiadają w językach alańskim i belańskim.

Przy przenoszeniu informacji z liczniego zbioru oryginałów do liczniego zbioru obrazów rzadko zdarza się, żeby wszystkie pary oryginał-obraz miały jednakowy kod. W tak licznych zbiorach, jakimi są języki, jednakowość kodu występuje co najwyżej w niektórych grupach komunikatów, np. w końcówkach gramatycznych. Poza takimi przypadkami każda para wyrazów z dwóch różnych języków ma osobny kod. Każdy słownik dwujęzyczny jest w istocie zbiorem takich kodów.

Do tego rodzaju przenoszenia informacji należy czytanie na głos (przetwarzanie tekstu w mowę), pisanie pod dyktando (przetwarzanie mowy w tekst), gra z nut (przetwarzanie zapisu nutowego w dźwięki) wierne tłumaczenie z jednego języka na inny, itp.

Pisanie listów anonimowych zmienionym charakterem pisma lub przez naklejanie liter wyciętych z gazet jest przenoszeniem informacji z przetwarzaniem komunikatów w sposób utrudniający zidentyfikowanie nadawcy (w tym celu stara się on wytworzyć obrazy nie mające indywidualnych cech oryginałów).

Przekazywanie wiadomości szyfrowych jest przenoszeniem informacji przy użyciu szyfru, tj. kodu trudnego do wykrycia przez niepozwańnych. Nadawca znający szyfr przetwarza oryginały w obrazy niezrozumiałe dla postronnych, lecz dające się zdekodować na oryginały przez znajdującego się szyfr odbiorcę.

Szyfrem najłatwiejszym do wykrycia jest kod jednakowy dla wszystkich par oryginał-obraz (np. kod polegający na zastępowaniu liter przez ich kolejne numery w alfabetie), toteż kody tego rodzaju bywają używane jedynie w pensjonarskich pamiętnikach. W służbie wywiadowczej dąży się do szyfrowania każdej pary oryginał-obraz innym kodem, co jednak ma tę niedogodność, że wtajemniczonym trudno zapamiętać taki zbiór kodów, a w razie sporządzenia zapisu, narażają się na jego wykradzenie; często starano się uniknąć tej trudności przez oparcie zbioru kodów na fragmencie tekstu jakiejś książki, przy czym tylko wtajemniczeni wiedzieli — której. Niemniej, nawet taki zbiór kodów daje się wcześniej czy później wykryć (*złamanie szyfru*) metodą statystyczną opartą na założeniu, że najczęściej powtarzające się obrazy odpowiadają najczęściej powtarzającym się oryginałom (samogłoskom i niektórym spółgłoskom). Praktycznie *nie do złamania* są szyfry o kodach zmiennych tj. takich, w których takim samym oryginałom odpowiadają różne obrazy, przy czym tylko wtajemniczeni znają zasadę przeходzenia w tym samym dokumencie od jednego zbioru kodów do innego.

W ostatnich latach coraz szersze zastosowanie znajdują cyfrowe maszyny matematyczne, w których występuje przenoszenie informacji polegające na przetwarzaniu komunikatów w dziesiętnym układzie liczb w komunikaty w dwójkowym układzie liczb.

Jak wiadomo, w dziesiętnym układzie liczb uważa się, że ostatnia cyfra oznacza liczbę jedynek (czyli dziesiątek w potędze 0), przedostatnia cyfra — liczbę dziesiątek (czyli dziesiątek w potędze 1), trzecia cyfra od końca — liczbę setek (czyli dziesiątek w potędze 2), czwarta cyfra od końca — liczbę tysięcy (czyli dziesiątek w potędze 3) itd.

Na przykład, zapis liczby

237

znaczy tyleż, co

$$200 + 30 + 7$$

czyli

$$2 \cdot 100 + 3 \cdot 10 + 7 \cdot 1$$

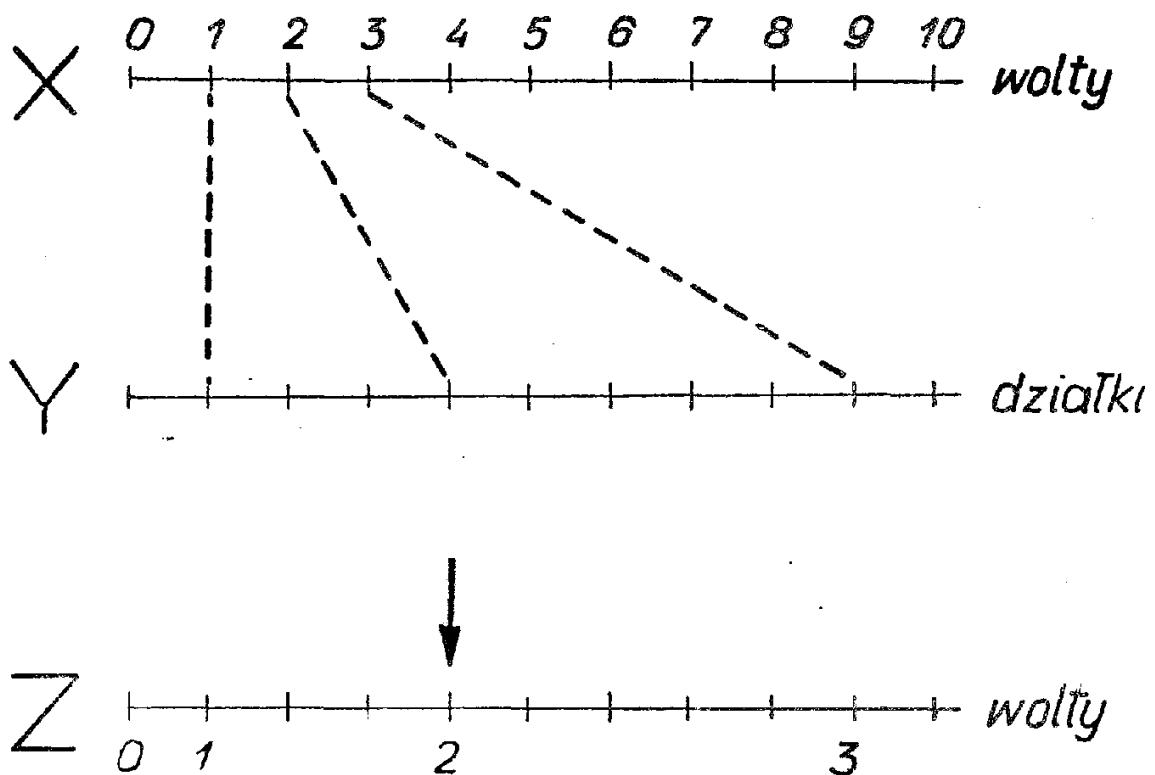
lub

$$2 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^1 + 7 \cdot 10^0.$$

Natomiast w liczbach napisanych w układzie dwójkowym występuje liczba 2 w rozmaitych potęgach. Na przykład, liczba 237 *) w układzie dziesiętnym, przedstawia się jako liczba

11101101.

*) Liczbę 237 możemy również przedstawić w systemie dwójkowym w następujący sposób: 237 118 59 29 14 7 3 1 czyli 237 dzielimy na połowę i resztę (1)
1 0 1 1 0 1 1,



Rys. 12

Istotnie, zapis ten bowiem w układzie dwójkowym znaczy tyleż, co w układzie dziesiętnym suma

$$1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$$

czyli

$$128 + 64 + 32 + 8 + 4 + 1 = 237.$$

W odróżnieniu od układu dziesiętnego, wymagającego dziesięciu cyfr (od 0 do 9), dwójkowy układ liczb wymaga jedynie dwóch cyfr (0 i 1). Wprawdzie zapisy w dwójkowym układzie liczb wymagają więcej miejsc cyfrowych niż odpowiadające im zapisy w układzie dziesiętnym,

zapisujemy pod liczbą 237. Postępujemy kolejno w ten sam sposób z następnymi liczbami, a resztę (0 lub 1) zapisujemy pod dzielonymi liczbami. Następnie idąc od prawej strony spisujemy otrzymane reszty: 1 lub 0. Wynik będzie nastepujący: 11101101. Otrzymaną liczbę w układzie dwójkowym możemy przedstawić w systemie dziesiętnym w sposób nastepujący. Załóżmy, że będzie to liczba 11101101. Bierzemy pierwszą liczbę (w tym wypadku 1 i mnożymy ją przez 2 i dodajemy 1. Wynik zapisujemy pod nastepną liczbą. Otrzymaną liczbę mnożymy nastepnie przez 2 i dodajemy tę liczbę, pod którą wpisujemy wynik mnożenia, itd. Ostatnia liczba (237) jest liczbą w układzie dziesiętnym np. 1 1 1 0 1 1 0 1

$$\begin{array}{r} 3\ 7\ 14\ 29\ 59\ 118\ 237 \\ \hline \end{array}$$

(Przypis Redakcji)

ale mają wiele poważnych zalet. Rozróżnienie między cyframi 1 i 0 można traktować tak samo jak rozróżnienie między dwoma możliwymi stanami (np. *tak* i *nie*, *jest* i *nie ma*, *zamknięte* i *otwarte*, itp.). W szczególności dwójkowy układ liczb umożliwił konstruowanie maszyn matematycznych z wykorzystaniem zjawisk przepływu prądu elektrycznego (stan, gdy prąd płynie można uważać za cyfrę 1, a stan, gdy prąd nie płynie, można uważać za cyfrę 0).

Każda cyfra w zapisie liczby w układzie dwójkowym stanowi odpowiedź na pytanie, który z dwóch możliwych stanów zachodzi (stan 1 czy stan 0), jest więc komunikatem zawierającym 1 bit informacji. Wobec tego liczba wielocyfrowa w układzie dwójkowym jest komunikatem zawierającym tyle bitów informacji, z ilu miejsc cyfrowych składa się ta liczba (np. liczba 11101101, jako ośmiocyfrowa, zawiera ilość informacji 8 bitów).

Dzięki temu maszyny matematyczne okazały się przydatne nie tylko do operacji obliczeniowych, lecz i do operacji nad informacjami zawartymi we wszelkich komunikatach, np. językowych, po przetworzeniu ich w komunikaty liczbowe.

Na przykład, jeżeli przyjąć oznaczenia:

- 1 — zwierzchnik
- 0 — podwładny
- 1 — fabryka
- 0 — sklep
- 1 — kobieta
- 0 — mężczyzna

to komunikat 101 znaczy *kierowniczka sklepu*.

Na tej zasadzie wykorzystuje się maszyny matematyczne np. do tłumaczenia tekstów — z jednego języka na inny.

3.6. PRZETWARZANIE INFORMACJI

Przetwarzaniem informacji jest takie przetwarzanie komunikatów, w którym informacje ulegają zmianie.

*

Objaśnimy to bliżej za pomocą następującego rozumowania.

W rozdz. 3.3. kodem był pewien współczynnik k , przez który trzeba było mnożyć oryginały, aby otrzymać obrazy. Obecnie przyjmujemy, że kod jest wykładnikiem potęgi, do której należy podnieść oryginały, aby otrzymać obrazy

$$y = x^k \quad (3.12)$$

wobec czego możemy napisać

$$y_1 = x_1^k \quad (3.13)$$

$$y_2 = x_2^k \quad (3.14)$$

Związek między oryginałami i związek między obrazami możemy przedstawić jak poprzednio (wzory 3.5 i 3.6):

$$x_2 = I_x \cdot x_1 \quad (3.15)$$

$$y_2 = I_y \cdot y_1 \quad (3.16)$$

Podstawiając wyrażenia y_1 i y_2 ze wzorów (3.13) i (3.14) do wzoru (3.16) otrzymamy

$$x_k = I_y \cdot x_1^k \quad (3.17)$$

skąd

$$I_2 = \sqrt[k]{I_y \cdot x_1} \quad (3.18)$$

Z porównania wzorów (3.15) i (3.18) wynika

$$I_x = \sqrt[k]{I_y} \quad (3.19)$$

skąd

$$I_y = I_x^k \quad (3.20)$$

Tym razem okazuje się, że informacja I_y zawarta w zbiorze obrazów nie jest identyczna z informacją I_x zawartą w zbiorze oryginałów. A zatem w omawianym procesie przetwarzania komunikatów (przetwarzania oryginałów X w obrazy Y) występuje przetwarzanie informacji I_x w informacje I_x^k .

O ile w procesie przenoszenia informacji wystarcza mieć obrazy, ażeby z nich uzyskać informację zawartą w oryginałach, to w procesie przetwarzania informacji konieczna ponadto okazuje się znajomość kodu.

Potraktujmy teraz zbiór Y jako oryginały i wprowadźmy trzeci zbiór komunikatów Z , traktowanych jako obrazy komunikatów Y , przyjmując tym razem, że kod k jest wykładnikiem pierwiastka

$$z = \sqrt[k]{y} \quad (3.21)$$

wobec czego możemy napisać

$$z_1 = \sqrt[k]{y_1} \quad (3.22)$$

$$z_2 = \sqrt[k]{y_2} \quad (3.23)$$

Analogicznie do wzorów (3.15) i (3.16) możemy przedstawić związek między oryginałami Y i związek między obrazami Z :

$$y_2 = I_y \cdot y_1 \quad (3.24)$$

$$z_2 = I_z \cdot z_1 \quad (3.25)$$

Podstawiając wyrażenia z_1 i z_2 ze wzorów (3.22) i (3.23) do wzoru (3.25) otrzymamy

$$\sqrt[k]{y_2} = I_z \cdot \sqrt[k]{y_1} \quad (3.26)$$

skąd

$$y_2 = I_z^k \cdot y_1 \quad (3.27)$$

Z porównania wzorów (3.24) i (3.27) wynika

$$I_y = I_z^k \quad (3.28)$$

skąd

$$I_z = \sqrt[k]{I_y} \quad (3.29)$$

Z kolei, z porównania wzorów (3.19) i (3.29) wynika

$$I_z = I_x \quad (3.30)$$

Okazuje się, że gdy proces przetwarzania komunikatów X w komunikaty Y uzupełniliśmy procesem przetwarzania komunikatów Y w komunikaty Z , to informacja I_z zawarta w obrazach Z jest taka sama jak informacja I_x zawarta w oryginałach X . Stało się to możliwe dzięki temu, że w drugim procesie przetwarzania komunikatów zastosowaliśmy kod odwrotny do kodu z pierwszego procesu przetwarzania komunikatów, tj. po zakodowaniu zastosowaliśmy dekodowanie. W obu tych procesach mieliśmy do czynienia z przetwarzaniem informacji, ale zniekształcenie informacji spowodowane pierwszym z tych procesów zostało anulowane przez zniekształcenie informacji spowodowane drugim procesem.

Wynika stąd, że dwa przeciwnie procesy przetwarzania informacji (kodowanie i dekodowanie) dają taki sam wynik, jaki zamiast nich dałby proces przenoszenia informacji.

Zilustrujemy to prostym przykładem technicznym. Stosowane do pomiarów napięcia elektrycznego woltomierze miewają konstrukcję sprawiającą, że wychylenia wskazówki (obrazy Y) nie są proporcjonalne do mierzonych napięć (oryginałów X) lecz do kwadratu napięć

$$y = x^2$$

Wskutek tego, gdy mierzone napięcia wynoszą: $x_1 = 1$ wolty, $x_2 = 2$ wolty, $x_3 = 3$ wolty, itd. (rys. 12), to wychylenia wskazówki woltomierza (w działkach kątowych) wynoszą: $y_1 = 1$ działka, $y_2 = 4$ działa, $y_3 = 9$ działa, itd.

Wychylenia wskazówki zawierają informacje odmienne od zawartych w mierzonych napięciach. Na przykład, z faktu że wskazówka przesunęła się z pierwszej działki na czwartą nie można wnosić, że i napięcie wzrosło czterokrotnie, gdyż w rzeczywistości wzrosło ono tylko dwukrotnie. Mamy tu więc do czynienia z przetwarzaniem informacji, a nie z przenoszeniem informacji.

Aby z położenia wskazówk otrzymywać rzeczywiste informacje o mierzonych napięciach, trzeba wprowadzić jeszcze jeden proces przetwarzania informacji, przedstawny poprzedniemu, tj. dekodowanie.

W tym celu wprowadza się trzeci zbiór komunikatów Z , mający postać oznaczeń cyfrowych, przy czym

$$z = \sqrt[k]{y}$$

Wówczas wychylenia wskazówk (traktowane tym razem jako oryginały): $y_1 = 1$ działka, $y_2 = 4$ działki, $y_3 = 9$ działek, itd. są przetwarzane w oznaczenia cyfrowe (obrazy): $z_1 = \sqrt[1]{1} = 1$ wolt, $z_2 = \sqrt[4]{4} = 2$ wolty, $z_3 = \sqrt[9]{9} = 3$ wolty itd. Na przykład, gdy mierzone napięcie wynosi $x = 2$ wolty, to wskazówka woltomierza ustala się w położeniu $y = 4$ działki, ale w położeniu tym znajduje się oznaczenie $z = 2$ wolty, dające prawidłową informację.

Jako przykłady przetwarzania informacji można przytoczyć opowiadanie przeczytanych tekstów własnymi słowami, składanie niedokładnych lub kłamliwych zeznań, itp.

3.7. RODZAJE INFORMACJI

Zgodnie z definicją informacji podaną w rozdz. 3.3, zbiór komunikatów zawiera tyle informacji, ile możliwych jest związków między poszczególnymi komunikatami tego zbioru.

Na przykład, w zbiorze komunikatów mających postać ciągu liczb:

$$x_1 = 2, \quad x_2 = 4, \quad x_3 = 6, \quad x_4 = 8 \quad \text{itd.}$$

można zauważyc następujące związki:

$$x_2 = 2x_1, \quad x_3 = 3x_1, \quad x_4 = 4x_1 \quad \text{itd.}$$

albo

$$x_2 = x_1^2, \quad x_3 = 1,5x_1^2, \quad x_4 = 2x_1^2 \quad \text{itd.}$$

albo też

$$x_2 = 2x_1, \quad x_3 = 1,5x_2, \quad x_4 = \frac{4}{3}x_3 \quad \text{itd.}$$

Ogólnie biorąc, informacje służą do przeprowadzania procesów sterowania. W konkretnych jednak przypadkach, do różnych procesów sterowania potrzebne są różne informacje. Informacje potrzebne do określonego procesu sterowania noszą nazwę **informacji użytecznych**.

Na przykład, jeżeli komunikaty w podanym powyżej zbiorze są numerami domów przy jakiejś ulicy, to dla przechodnia szukającego określonego adresu żadne z przytoczonych przez nas związków nie są użyteczne. Dla niego interesujące są związki następujące:

$$x_2 = x_1 + 2, \quad x_3 = x_2 + 2, \quad x_4 = x_3 + 2 \quad \text{itd.},$$

ponieważ składnik 2 stanowi informację o zasadzie numeracji domów (wśród domów stojących po jednej stronie ulicy każdy następny dom ma numer większy o 2 od numeru poprzedniego domu). Dzięki tej informacji będzie on mógł bez straty czasu i energii znaleźć szukany dom.

Przykładami informacji użytecznych mogą być kwoty wypisane na czekach i pokwitowaniach, daty ważnych zdarzeń, ceny towarów, znaki drogowe, ból jako ostrzeżenie przed niebezpieczeństwem itp.

Istnieją również informacje przydatne do sterowania, ale niepotrzebne, gdyż są powtórzeniem informacji użytecznych, uzyskanych już skądinąd. Informacje będące powtórzeniem informacji użytecznych są *informacjami redundanckimi*, zwanyimi też krótko *redundancją* (rozwiązkowością).

Na przykład, gdyby ktoś, formułując zadanie z geometrii powiedział: *dany jest trójkąt prostokątny, w którym poszczególne kąty wynoszą 30, 60 i 90 stopni, przy czym suma wszystkich kątów wynosi 180 stopni*, to wiele informacji zawartych w tym zdaniu byłoby redundancją. I tak, redundancją jest informacja, że suma kątów w danym trójkącie wynosi 180 stopni, bo przecież zachodzi to w każdym trójkącie bez wyjątku.

Również redundancją jest informacja, że jeden z kątów wynosi 90 stopni, gdyż to jest już widoczne z użycia nazwy *trójkąt prostokątny*. I wreszcie, wystarczy podać kąt 30 stopni lub kąt 60 stopni, gdyż znajomość jednego z tych kątów wystarcza do znalezienia drugiego; podanie również drugiego z tych kątów jest redundancją.

Przykładami redundancji są również wyrażenia *w miesiącu maju* (wystarczy powiedzieć *w maju*, gdyż skądinąd wiadomo, że maj jest miesiącem), *w mieście Łodzi* (wystarczy powiedzieć *w Łodzi*, wiadomo bowiem, że Łódź jest miastem).

Gdyby w poszukiwaniu sprawcy jakiegoś przestępstwa stwierdzono, że jest to kobieta i ma na imię Irena, to w stwierdzeniu tym pierwsza informacja jest redundancją, gdyż z samego imienia wynika, że chodzi o kobietę.

I wreszcie, trzecim rodzajem informacji są informacje przeszkadzające w procesie sterowania; noszą one nazwę *szumu informacyjnego*.

Na przykład, szumem informacyjnym są trzaski w telefonie utrudniające zrozumienie rozmowy, plamy na dokumentach utrudniające odczytanie tekstu, niedokładności w zeznaniach świadków utrudniające rekonstrukcję zdarzeń itp.

Informacje użyteczne są pojęciami względnymi, gdyż te same informacje mogą być użyteczne do pewnych procesów sterowania, a nieprzydatne do innych. Tak samo to, co w pewnych przypadkach jest szumem informacyjnym, w innych może nim nie być.

Na przykład, reklamy świetlne dostarczają informacji użytkowych przechodniowi szukającemu potrzebnego mu sklepu, ale mogą być źródłem szumu informacyjnego dla automobilisty, utrudniając mu obserwację sygnałów świetlnych.

Dla urzędnika, uważnie słuchającego przemówienia swojego ministra, szepty sąsiadów są szumem informacyjnym, ale gdy się okaże, że sąsiad szepcze: *twoje mieszkanie się pali*, sytuacja natychmiast się odwraca — jest to informacja jak najbardziej użyteczna, a przemówienie ministra staje się szumem informacyjnym.

Jest godne uwagi, że jako środek do zwalczania szumu informacyjnego może być wykorzystywana redundancja.

Na przykład, przy wypisywaniu pokwitowań, czeków itp. podaje się kwotę nie tylko cyframi, lecz i słownie, co jest redundancją, służy ona jednak do zwalczania szumu informacyjnego w postaci znieksztalcień zapisu cyfrowego.

Z tego samego względu nazwiska o niewyraźnym brzmieniu literuje się (*B jak Barbara, A jak Adam* itp.) przy podawaniu ich przez telefon.

W dochodzeniach bada się różnych świadków na te same okoliczności, aby przez takie wprowadzenie redundancji usunąć indywidualne znieksztalcenia w zeznaniach.

Zastosowanie redundancji do zwalczania szumu informacyjnego jest szczególnie skuteczne, gdy polega na wprowadzaniu różnych zbiorów komunikatów, a nie na powtarzaniu tego samego zbioru. Wynika to z okoliczności, że takie same znieksztalcenia informacji mogłyby wystąpić również w powtórzonych komunikatach, podczas gdy w różnych zbiorach komunikatów jest to z reguły niemożliwe. Na przykład, jeżeli na pokwitowaniu liczba 10 jest napisana tak niewyraźnie, że nie wiadomo czy chodzi o dziesięć czy o szesnaście, to można by dla upewnienia się polecić kwitującemu napisanie tej liczby cyframi jeszcze raz, ale i wtedy zapis może się okazać niezbyt wyraźny, podczas gdy powtórzenie tej informacji słownie usuwa wszelkie wątpliwości. Ma to znaczenie zwłaszcza w przypadkach, gdy chodzi o uniemożliwienie świadomego sfałszowania zapisu.

3.8. PRZELOTNOŚĆ INFORMACYJNA

Największa ilość informacji, jaką w danej chwili może przenieść jakiś tor informacyjny jest określona liczbą dających się rozróżnić stanów tego toru. Nazywa się ona pojemnością informacyjną toru i wyraża się w bitach.

Na przykład, w telegrafie Morse'a może występować jeden z dwóch stanów, a mianowicie: pisak dotyka taśmy albo jej nie dotyka, tj. kreśli linię albo nie.

Oznacza to, że pojemność informacyjna telegrafu Morse'a wynosi 1 bit, czyli że w danej chwili telegraf Morse'a może przenieść informację w ilości nie przekraczającej 1 bita.

Można jednak przenieść ilość informacji większą od pojemności informacyjnej toru, wykorzystując tę pojemność nie tylko w jednej chwili, lecz również w następnych chwilach, czyli wprowadzając rozróżnienie względem czasu.

Na przykład, w telegrafie Morse'a uwzględnia się czas kreślenia linii rozróżniając odcinki krótsze (*kropki*) i dłuższe (*kreski*). Dzięki temu uzyskano więc możliwość rozróżniania 3 stanów: kropka, kreska i przerwa. Do dalszego zwiększenia przenoszonej ilości informacji wykorzystano kolejność kropek i kresek, co oczywiście również jest wykorzystaniem rozróżnień względem czasu. Przy 2 odstępach czasu daje to 4 możliwości: kropka-kropka, kropka-kreska, kreska-kropka, kreska-kreska. Wykorzystanie 3 odstępów czasu daje 8 możliwości, itd.

Jak widać, im większą ilość informacji chce się przenosić przy danej pojemności informacyjnej toru, tym więcej potrzeba na to czasu.

Dlatego też do porównywania różnych torów pod względem ich zdolności do przenoszenia informacji dogodne okazało się posługiwanie się pojęciem *przelotności informacyjnej*, tj. stosunku ilości informacji do czasu. Przelotność informacyjną wyraża się w bitach na sekundę (bit/s).

Do określania przelotności informacyjnej człowieka przy rozpoznawaniu stosuje się wzór

$$C = \frac{n \lg_2 N}{t} \quad (3.31)$$

w którym:

C — przelotność informacyjna, bit/s,

N — liczba elementów rozpoznawanego zbioru,

n — liczba elementów rozpoznanych,

t — czas rozpoznawania.

Doświadczalnie stwierdzono, że ze zbioru zawierającego 1000 elementów człowiek rozpoznaje w przybliżeniu 4 elementy na sekundę (np. 1 element przy rozpoznawaniu trwającym $\frac{1}{4}$ s, 2 elementy w ciągu $\frac{1}{2}$ s, itd.). Ponieważ rozpoznanie 1 elementu z 1000 elementów ma ilość informacji ok. 10 bitów (dokładnie 10 bitów byłoby przy 1024 elementach, por. rozdz. 3.2), więc ze wzoru (3.31) wynika, że przelotność informacyjna człowieka przy rozpoznawaniu wynosi ok. 40 bit/s.

Dla innych czynności informacyjnych człowieka znaleziono następujące przelotności informacyjne:

czytanie w myśli	45 bit/s
czytanie na głos	30 bit/s

pisanie na maszynie	16 bit/s
rachowanie	12 bit/s

O tym, że czas odbierania informacji zależy od ilości informacji, łatwo się przekonać na podstawie następującego prostego doświadczenia. Gdybyśmy komuś jednorazowo przeczytali następującą liczbę: 491625364964, to chyba nikt nie zdołałby jej zapamiętać.

Gdybyśmy jednak wyjaśnili, że liczba ta została utworzona przez podnoszenie do kwadratu ciągu liczb naturalnych: $2^2 = 4$, $3^3 = 9$, $4^2 = 16$, $5^2 = 25$ itd., to zapamiętanie tej liczby okazałoby się niezwykle łatwe. Różnica polega na tym, że przed objaśnieniem trzeba było zapamiętać 12 cyfr, natomiast po ujawnieniu zasady wystarczy zapamiętać tylko, że chodzi o kolejne liczby i podnoszenie ich do kwadratu.

Z braku zrozumienia tych spraw popełnia się wiele błędów w procesach zarządzania. Wszelkie nakazy i zakazy są łatwo przyswajalne, jeżeli mają postać prostych zasad. Natomiast jeśli są zbiorem nie powiązanych szczegółów i w dodatku ulegają częstym zmianom, to ustawodawstwo urasta do ogromnych rozmiarów, nie tylko pod względem liczby zadrukowanych stronnic, lecz przede wszystkim pod względem ilości zawartych w nich informacji (w znaczeniu przyjętym w teorii informacji).

Do jakiego takiego ich opanowania wytworzyły się u nas w przedsiębiorstwach specjalne stanowiska i zawody w postaci głównych księgowych i radców prawnych.

ROZDZIAŁ CZWARTY

S T E R O W A N I E

Definicja cybernetyki, jako nauki o sterowaniu, pomimo swojej zwięzłości i prostoty, może być zrozumiała tylko o tyle, o ile zrozumieli byście wyraz *sterowanie*.

Sterowanie jest to wywieranie pożądanego wpływu określonego zjawiska.

Jak na to wskazaliśmy przy omawianiu pochodzenia wyrazu *cybernetyka* (rozdz. 1), pojęcie sterowania jest od dawna znane z procesu zwanego sterowaniem okrętu*).

Z czasem pojęcie sterowania przyjęło się w technice, a zwłaszcza w elektronice i automatyce.

Pojawienie się cybernetyki uogólniło pojęcie sterowania na wszelkie dziedziny. Z cybernetycznego punktu widzenia sterowaniem jest naciśnięcie przycisku dzwonka elektrycznego, odkręcanie i zakręcanie kurka instalacji wodociągowej, prowadzenie samochodu, regulowanie ruchu ulicznego przez milicjanta, wydzielanie się hormonów w organizmie, podnoszenie i obniżanie podatków itp.

W definicji sterowania istotne jest wskazanie na wywieranie pożądanego wpływu. Jeśli turysta, trąciwszy nieostrożnie kamień, spowoduje nawet obsunięcie się całej ich lawiny, to proces taki nie jest sterowaniem.

Były to proces sterowania dopiero w przypadku, gdyby turysta trącił kamień w celu spowodowania lawiny. Proces sterowania wymaga więc istnienia celu, który w wyniku sterowania ma być osiągnięty.

W świetle tych wyjaśnień, procesem sterowania jest też zarządzanie, zresztą zgodnie z tym co powiedziano w rozdz. 1 na temat genezy wyrazu

*) W dotychczasowych przyczynieniach językowych czasownik *sterować* był używany w złożeniu *sterować czymś* (np. okrętem, balonem, procesem technologicznym itp.). Obecnie należy używać formy *sterować coś* (np. okręt, proces itp.), ponieważ z rozwojem nauki coraz częściej zachodzi potrzeba używania formy *sterować coś czymś*, gdzie *coś* wskazuje obiekt sterowany, a *czymś* — narzędzie sterowania. Dawna forma prowadziłaby do nieporozumień, np. czy w wyrażeniu *sterowanie maszyną matematyczną* sterowana jest maszyna czy też coś innego przy użyciu maszyny.

cybernetyka. Elementami tego procesu są nakazy (w celu osiągnięcia skutków pożądanych) i zakazy (w celu przeciwdziałania skutkom niepożądanym) oraz wszelkie postanowienia, jakimi rządzący chce zachęcić lub zniechęcić rządzących do określonego sposobu zachowania się.

W procesie sterowania trzeba wyróżniać przede wszystkim obiekt sterowania, tj. zjawisko, na które ma być wywierany wpływ.

Oddziaływanie, które polega na wywieraniu wpływu na obiekt sterowania, będziemy nazywać bodźcem S (oznaczenie to jest pierwszą literą łacińskiej nazwy bodźca *stimulus*).

Oddziaływanie obiektu sterowanego, spowodowane bodźcem, będącym nazywać reakcją R .

Miejsce, w którym występuje bodziec, nazywamy wejściem. Miejsce, w którym występuje reakcja, nazywamy wyjściem.

Obiekt sterowania, w którym wyróżnia się wejścia i wyjścia, nazywamy układem cybernetycznym lub krótko: układem. Najprostszy jest układ mający jedno wejście i jedno wyjście (rys. 13).

Wejściem może być wyodrębniony organ przeznaczony do odbierania bodźców, organ taki jest nazywany receptorem.

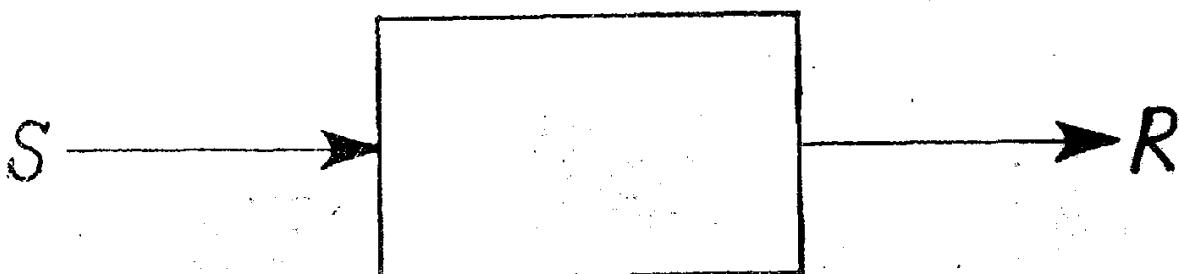
Wyjściem może być wyodrębniony organ przeznaczony do wydawania reakcji; organ taki jest nazywany efektorem.

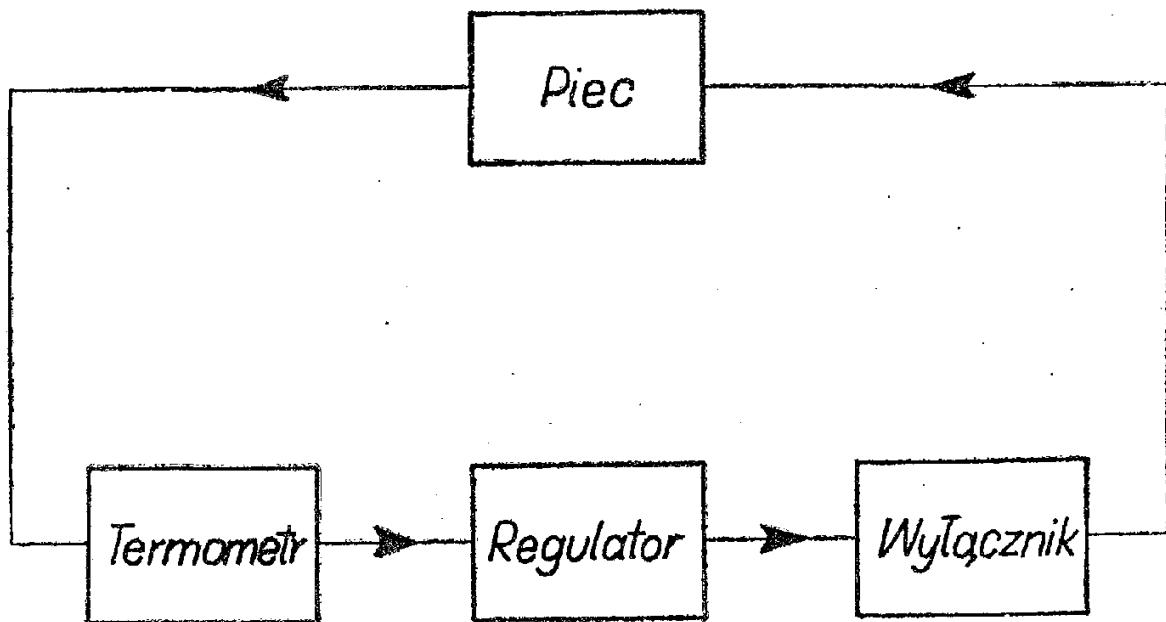
Dla zilustrowania tych pojęć rozpatrzmy kilka przykładów.

Rys. 14 przedstawia techniczny przykład sterowania. Przypuśćmy, że w przemysłowym piecu elektrycznym ma być utrzymywana stała temperatura. Cel ten można osiągnąć, gdy w razie nadmiernego wzrostu temperatury dopływ energii elektrycznej zasilającej piec i ulegającej w nim przemianie w energię cieplną, zostanie zmniejszony; w razie nadmiernego obniżenia się temperatury dopływ energii elektrycznej powinien zostać zwiększyony.

Aby było wiadomo, czy należy zwiększyć czy zmniejszyć dopływ energii, trzeba przedtem wiedzieć, czy temperatura wzrosła czy się obniżyła, a więc trzeba mieć możliwość wykrywania zmian temperatury. Do tego celu służy termometr umieszczony wewnątrz pieca. Gdy temperatura wzrośnie nadmiernie, termometr wykryje to i pobudzi do działania połączony z nim regulator temperatury, który z kolei spowoduje otwarcie wyłącznika przerywającego dopływ energii elektrycznej do pieca.

Rys. 13



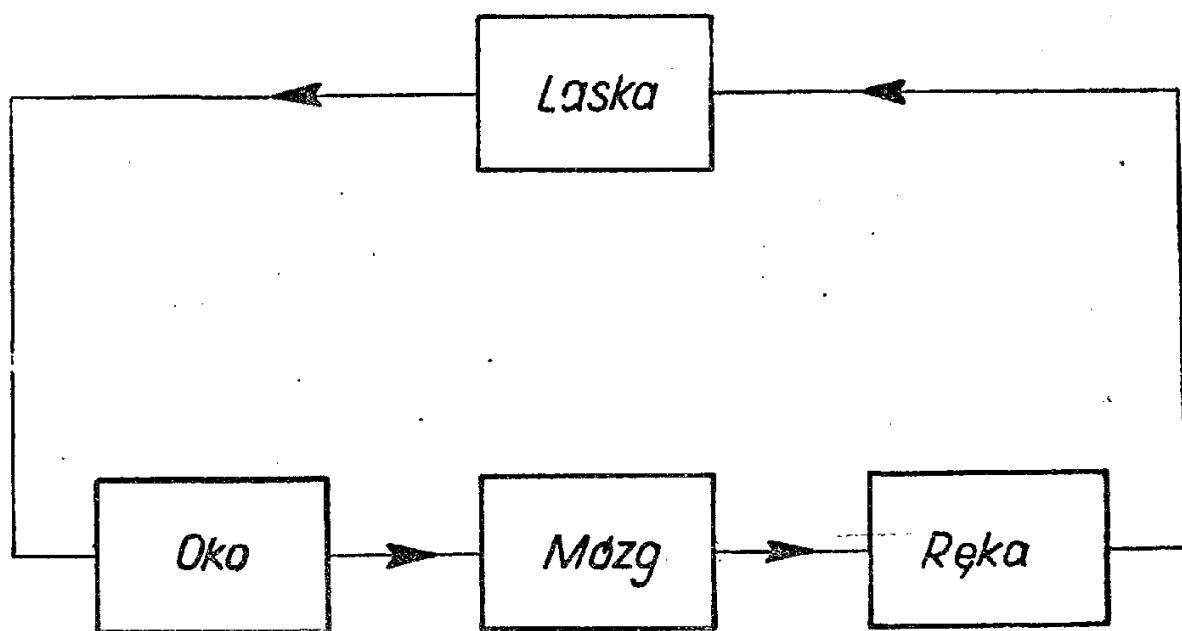


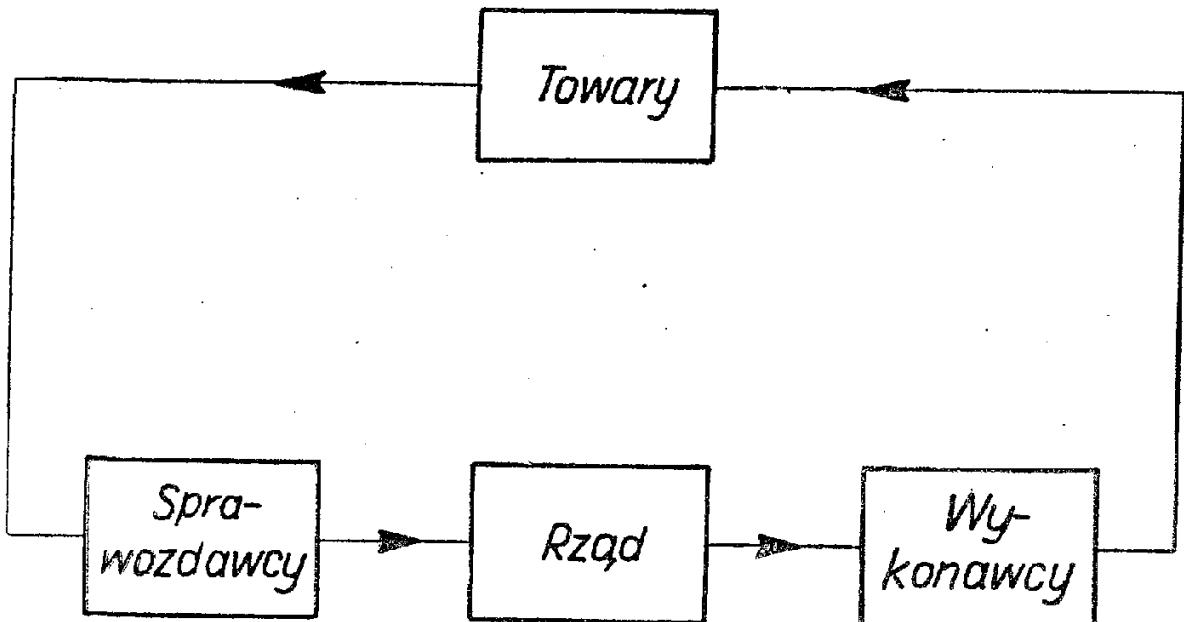
Rys. 14

Wskutek tego piec zaczyna stygnąć. Gdy temperatura w piecu obniży się nadmiernie, termometr pobudzi do działania regulator temperatury, który z kolei spowoduje zamknięcie wyłącznika i wznowienie dopływu energii, itd.

Rys. 15. przedstawia fizjologiczny przykład sterowania. Chcąc utrzymać w pionowym położeniu laskę, opartą jednym końcem na palcu, człowiek obserwuje drugi koniec laski. Odchylenia laski od pionu są

Rys. 15



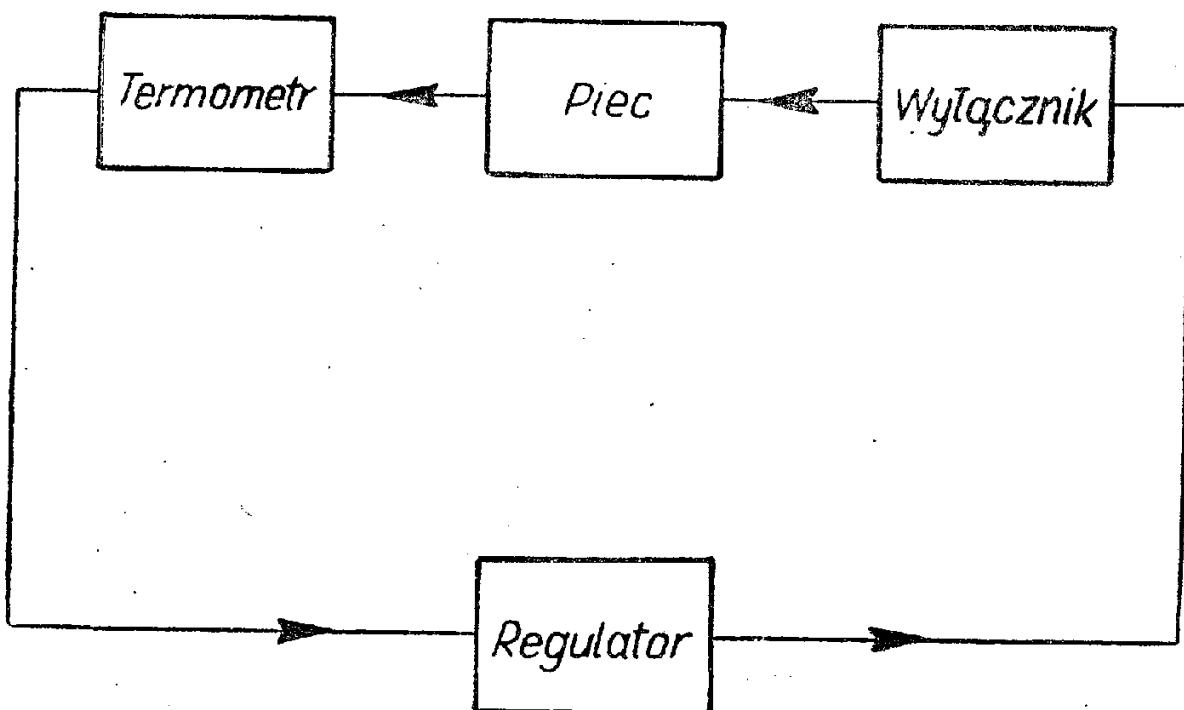


Rys. 16

spostrzegane przez oko, spostrzeżenia podlegają ocenie mózgu, w wyniku czego następuje ruch ręki zapobiegający nadmiernemu odchyleniu laski.

Rys. 16 przedstawia socjologiczny przykład sterowania. Przypuśćmy, że rząd jakiegoś kraju chce utrzymać obrót pewnych towarów w określonych granicach. Niepożądane odchylenia są obserwowane przez wyznaczonego sprawozdawcę, który informuje rząd o tym, ile towarów zostało sprzedanych. Rząd decyduje, jaką ilość towarów powinno być sprzedanych, i informuje wykonawców o tym, ile i kiedy dostarczyć towarów. Wykonawcy dostarczają towarów i informują rząd o tym, ile towarów zostało dostarczonych. Rząd może zatem porównać rzeczywisty obrót towarów z planowanym i podejmować odpowiednie działania, aby zapobiec nadmiernemu odchyleniu.

Rys. 17



czonych sprawozdawców, którzy komunikują wyniki obserwacji rządowi. Po dokonaniu oceny tych wyników rząd wydaje odpowiednie zarządzenia (np. co do podniesienia lub obniżenia ceny towarów), wprowadzane w życie przez wyznaczonych wykonawców.

Łatwo zauważyc, że między wszystkimi trzema przytoczonymi przykładami zachodzi daleko idące podobieństwo. W każdym z nich występuje układ sterowany (piec, laska, towary), na który oddziałuje określony bodziec (przerwanie lub wznowienie zasilania, ruchy ręki, czynności wykonawców) i który wydaje określoną reakcję (zmiany temperatury, odchylenia laski, zmiany obrotu towarowego).

Ponadto w każdym z tych przykładów występuje układ sterujący, sprzężony z układem sterowanym; na podstawie rozważań z rozdz. 2 czytelnik łatwo spostrzeże, że jest to sprzężenie zwrotne ujemne, gdyż każdy z wymienionych układów sterowanych jest afirmantem, każdy zaś z wymienionych układów sterujących jest negantem.

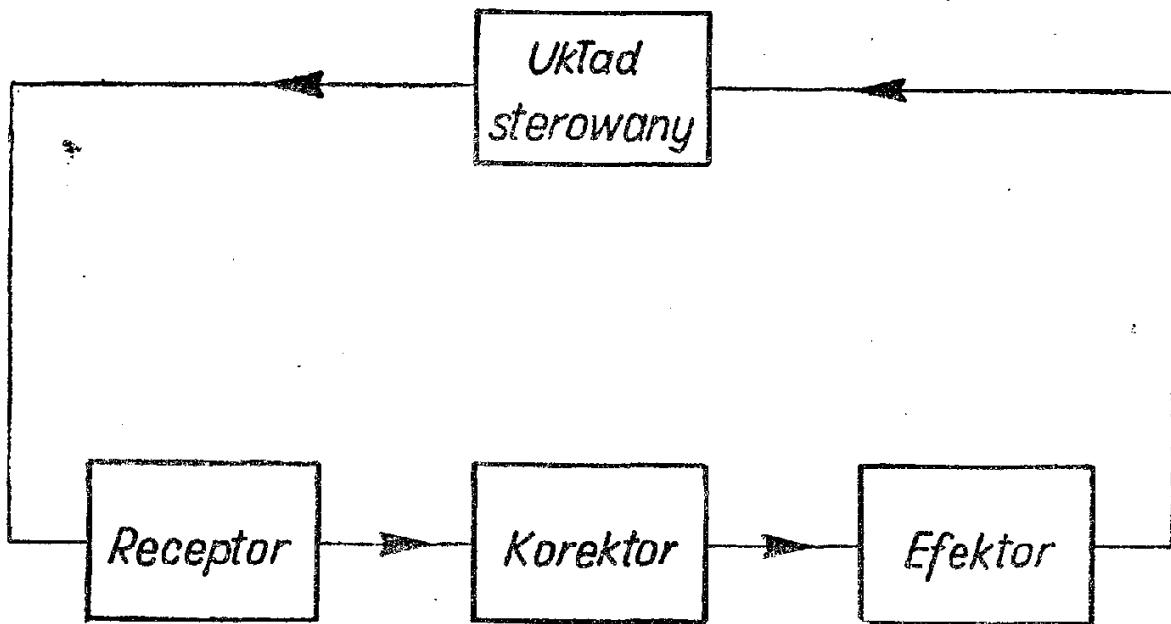
Aby wskazać, co w tych przykładach jest bodźcem i reakcją, wejściem i wyjściem, rozpatrzmy bliżej pierwszy z tych przykładów (rys. 14), ale na nieco inaczej narysowanym schemacie (rys. 17).

Jeżeli uważać zespół złożony z wyłącznika, pieca i termometru za układ sterowany, a regulator za układ sterujący (rys. 17), to oddziaływanie regulatora na piec można uważać za bodziec odbierany przez piec za pośrednictwem wyłącznika, tj. traktować wyłącznik jako receptor pieca. Podobnie oddziaływanie pieca na regulator można uważać za reakcję wydawaną przez piec za pośrednictwem termometru, tj. traktować termometr jako efektor pieca.

Natomiast jeżeli uważać piec za układ sterowany, a zespół złożony z termometru, regulatora i wyłącznika za układ sterujący (rys. 14), to oddziaływanie pieca na regulator można uważać za bodziec odbierany przez regulator za pośrednictwem termometru, tj. traktować termometr jako receptor regulatora. Podobnie oddziaływanie regulatora na piec można uważać za reakcję wydawaną przez regulator za pośrednictwem wyłącznika, tj. traktować wyłącznik jako efektor regulatora.

Znaczy to, że wyłącznik można równie dobrze uważać za receptor pieca jak i za efektor regulatora, a termometr można równie dobrze uważać za efektor pieca jak i za receptor regulatora.

W przykładzie drugim (rys. 15) można uważać, że w stosunku do mózgu oko jest receptorem, ręka zaś efektorem. Równie dobrze jednak można uważać, że w stosunku do laski ręka jest receptorem (odbierającym bodźce pochodzące od mózgu), oko zaś efektorem (wydającym reakcję do mózgu). To drugie ujęcie może się wydawać sztuczne, ale to tylko dlatego, że oko i ręka są z mózgiem konstrukcyjnie powiązane, nie mają zaś takiego powiązania z laską. Jednakże z cybernetycznego punktu widzenia konstrukcje są bez znaczenia, a istotną rolę odgrywają funkcje (działania), i dlatego obydwa sposoby traktowania wymienionych organów są dopuszczalne. W przykładzie technicznym (rys. 14 i 17)



Rys. 18

taka dwoistość ujęcia nie jest niczym niezwykłym także i pod względem konstrukcji, jako że termometr i wyłącznik można zainstalować na piecu albo zmontować wraz z regulatorem.

Podobnie w przykładzie trzecim (rys. 16) można uważać, że np. w sprzężeniu między rządem a przedsiębiorstwem handlowym kierownik przedsiębiorstwa jest dla rządu wykonawcą zarządzeń (efektorem) a dla przedsiębiorstwa odbiorcą zarządzeń (receptorem), jak również że sprawozdawca może informować rząd o sprawach przedsiębiorstwa jako delegat (efektor) tego przedsiębiorstwa, lub jako kontroler (receptor) ze strony rządu.

Ogólnie można powiedzieć, że jakiś organ może być receptorem układu sterującego a zarazem efektorem układu sterowanego, inny zaś organ może być efektorem układu sterującego a zarazem receptorem układu sterowanego. I nic dziwnego, bo przecież receptory i efektory pośredniczą w oddziaływaniach między układem sterującym a układem sterowanym, więc mogą być uważane za składnik jednego lub drugiego z nich, zależnie od przyjętego punktu widzenia.

Aby to unaocznić podamy jeszcze jeden przykład. Jeśli człowiek potrafią gałęzią jabłoni, aby jabłka spadały na ziemię, to czym jest ta gałąź: efektem człowieka czy receptorem jabłoni? Z konstrukcyjnego punktu widzenia byłibyśmy skłonni powiedzieć, że to drugie, bo przecież gałąź jest częścią drzewa. A gdy człowiek strąca jabłko ręką, to czym jest ręka: efektem człowieka czy receptorem jabłoni? Tym razem byłibyśmy skłonni opowiedzieć się za pierwszym z tych ujęć, bo ręka jest częścią człowieka. Taka konstrukcyjna podstawa rozróżniania zawiedzie nas jednak w przypadku, gdy człowiek strąca jabłko

kijem; żaden względ konstrukcyjny nie przemawia tu wyraźnie za przypisaniem kija człowiekowi a nie jabłoni, lub odwrotnie. W cybernetyce nie ma miejsca na tego rodzaju wątpliwości. Jeden i ten sam organ możemy nazywać receptorem bądź efektorem w zależności od tego, czym on jest dla tego układu, który jest w danej chwili przedmiotem rozważań, a mianowicie jaką spełnia funkcję: czy służy do odbierania bodźców (receptor) czy też do wydawania reakcji (efektor).

Organy przedstawione na rys. 14, 15 i 16 zostały przedstawione jako należące do układu sterującego (w odróżnieniu od rys. 17, gdzie zostały potraktowane jako należące do układu sterowanego).

Okoliczność, że organy te spełniają analogiczną rolę nie tylko w przytoczonych przykładach, lecz we wszystkich w ogóle przypadkach sterowania, nasunęła myśl, żeby uwolnić się od nieistotnych szczegółów związanych z poszczególnymi przypadkami sterowania i rozpatrywać tylko to, co jest istotne w każdym procesie sterowania. Do tego potrzebna jest cybernetyczna terminologia ogólna, pozwalająca analizować proces sterowania w ogólności, zamiast zajmowania się każdym procesem sterowania z osobna.

Idąc po tej drodze, zamiast wymieniania różnych obiektów sterowania mówimy ogólnie o układzie sterowanym, a proces sterowania opisujemy w oparciu o następujące trzy organy sterownicze: receptor tj. organy służące do wykrywania zmian w układzie sterowanym, korelator, tj. organ dokonujący przetwarzania informacji otrzymanych od receptorów, oraz efektor, tj. organy, które w wyniku przetwarzania informacji w korektorze wpływają na układ sterowany. Przy takim ujęciu otrzymuje się schemat sterowania, jaki przedstawiono na rysunku 18. Dzięki temu, zamiast mnóstwa schematów jakie można byłoby zestawić dla poszczególnych przypadków sterowania, mamy do czynienia z jednym tylko schematem ogólnym, odnoszącym się do wszelkich przypadków sterowania.

Receptormi są wszelkie przyrządy pomiarowe stosowane w technice, jak i narządy zmysłowe organizmów, czy też ludzie przeprowadzający obserwacje w określonej społeczności. Korelatorami są regulatory techniczne, mózg ludzki i zwierzęcy oraz kierownicy różnych społeczności. Efektorami są wszelkiego rodzaju zawory i mechanizmy napędowe w maszynach, organy ruchowe organizmów oraz ludzie wykonujący polecenia kierownictwa w społecznościach.

W technice przyjęło się rozróżnić *sterowanie otwarte*, zwane często *regulacją* i *sterowanie zamknięte*, zwane krótko *sterowaniem*. Ponieważ rozróżnienie to zaczyna się przenosić również do innych dziedzin, zasługuje ono na bliższe omówienie, zwłaszcza ze względu na jego związek z zarządzaniem.

Według tego rozróżnienia sterowanie jest *otwarte*, gdy polega na sprzężeniu prostym (rys. 1), *zamknięte* zaś, gdy polega na sprzężeniu zwotnym (rys. 2).

Często ilustruje się to następującym przykładem.

W celu utrzymywania stałej temperatury w jakimś pomieszczeniu ogrzewanym za pomocą grzejnika elektrycznego zaopatruje się grzejnik w regulator temperatury, połączony z termometrem umieszczonym wewnątrz pomieszczenia. Z obniżeniem temperatury zewnętrznejaczyna się obniżać również temperatura wewnątrz pomieszczenia, ale po wykryciu tej zmiany przez termometr, regulator zwiększa moc grzejnika, przeciwdziałając w ten sposób obniżeniu się temperatury pomieszczenia (w razie wzrostu temperatury zewnętrznej zacząłaby wzrastać temperatura pomieszczenia, jednak regulator przeciwdziałałby temu przez zmniejszenie mocy grzejnika). Jest to taki sam proces, jak omówiony już poprzednio w związku z rys. 14. Występuje tu sprzężenie zwrotne, gdyż temperatura pomieszczenia oddziałuje na moc grzejnika ale i moc grzejnika oddziałuje na temperaturę pomieszczenia. Sterowanie tworzy tu więc obieg zamknięty (sterowanie *zamknięte*).

Inny sposób utrzymywania stałej temperatury w pomieszczeniu polega na tym, że na zewnątrz pomieszczenia umieszcza się termometr, który przy obniżeniu się temperatury zewnętrznej spowoduje, za pomocą odpowiedniego organu sterowniczego łączącego termometr z grzejnikiem, zwiększenie dopływu energii elektrycznej, czyli zwiększenie mocy grzejnika, zapobiegając przez to obniżeniu się temperatury pomieszczenia (w razie wzrostu temperatury zewnętrznej nastąpi zmniejszenie mocy grzejnika, zapobiegając wzrostowi temperatury pomieszczenia). W przykładzie tym występuje sprzężenie proste, jakim jest oddziaływanie temperatury zewnętrznej na moc grzejnika, a więc sterowanie nie tworzy obiegu zamkniętego (sterowanie *otwarте*).

W rzeczywistości i ten proces polega na sprzężeniu zwrotnym. Ażeby organ sterowniczy łączący termometr z grzejnikiem mógł zapewniać utrzymywanie wymaganej temperatury w pomieszczeniu, konstruktor tego organu musiał znaleźć związek między mocą grzejnika a temperaturą pomieszczenia przy różnych temperaturach zewnętrznych, i w ten sposób utworzył sprzężenie zwrotne, zamykając przez siebie samego obieg sterowania. Okoliczność, że zrobił to wcześniej i jednorazowo, nie ma istotnego znaczenia.

W pojęciu *sterowania zamkniętego* używanym w technice chodzi o obieg sterowania utworzony wyłącznie z elementów technicznych. W *sterowaniu otwartym* elementy techniczne istotnie nie tworzą obiegu zamkniętego, niemniej jest on zamknięty, gdy uwzględnić w nim udział człowieka.

Na przykład, gdy rakieta jest sterowana przez automat, sterowanie takie odbywa się w obiegu zamkniętym. Jest ono technicznie sterowaniem *zamkniętym*, gdyż wszystkie elementy obiegu są urządzeniami technicznymi (ruchomy cel, rakieta, automat sterujący). Gdyby rakieta była sterowana przez człowieka, to technicznie byłoby to sterowanie *otwarłe*, niemniej jednak odbywałoby się w obiegu zamkniętym, tyle tylko że

jedno z urządzeń, brakujące w tym obiegu, byłoby zastąpione przez człowieka.

Dla rozważań ogólnych nie jest istotne, czy jakikolwiek organ w procesie sterowania jest elementem technicznym czy nie. Dlatego też z cybernetycznego punktu widzenia można uważać, że we wszystkich procesach sterowniczych występują obiegi zamknięte.

Nawet pojedynczy wystrzał z pistoletu jest sterowaniem w obiegu zamkniętym, gdyż oddziaływanie strzelca na cel (wystrzał) musiało być poprzedzone przez oddziaływanie celu na strzelca (wycelowanie).

Pojęcie *regulacji* jest użyteczne nie do przeciwstawiania sterowania zamkniętego sterowaniu otwartemu, lecz do wyodrębniania sterowania opartego na sprzężeniu ujemnym, wykorzystywanego do stabilizacji oddziaływań (jak np. na rys. 7 i 8).

Rozważania powyższe mają taki związek z zagadnieniami zarządzania, że wielu ludzi na kierowniczych stanowiskach traktuje zarządzanie jako proces sterowania otwartego, tj. jako proces oparty na sprzężeniu prostym (oddziaływanie kierownika na wykonawcę), nie zdając sobie sprawy z tego, że zarządzanie, jak każde sterowanie, opiera się na sprzężeniu zwrotnym (oddziaływanie kierownika na wykonawcę oraz oddziaływanie wykonawcy na kierownika), a więc odbywa się w obiegu zamkniętym. Do sprawy tej powrócimy w rozdz. 8.

Procesy sterownicze można traktować jako procesy informacyjne. W przykładzie na rys. 14 występuje przenoszenie informacji od pieca poprzez termometr do regulatora oraz od regulatora poprzez wyłącznik do pieca; mówiąc językiem potocznym, regulator *dowiada się* o stanie pieca oraz *wydaje polecenie*, jak się stan pieca ma zmienić. W przykładzie na rys. 15 występuje przenoszenie informacji od laski poprzez oko do mózgu oraz od mózgu poprzez rękę do laski. W przykładzie na rys. 16 występuje przenoszenie informacji od towarów poprzez sprawozdawców do rządu, od rządu poprzez wykonawców do towarów.

W cybernetycznym ujęciu procesu sterowania (rys. 18) można powiedzieć ogólnie, że informacje są przenoszone od układu sterowanego poprzez receptory do korelatora oraz od korelatora poprzez efektory, do układu sterowanego.

Proces sterowniczy i proces informacyjny to jedno i to samo; różnica polega jedynie na przyjętym punkcie widzenia.

ROZDZIAŁ PIĄTY

P O D S T A W Y CYBERNETYCZNEJ TEORII MYŚLENIA

5.1. ZAGADNIENIE MYŚLENIA

Pragnienie docieczenia istoty myślenia nurtuje ludzkość od dawna.

Przez tysiąclecia zajmowali się tym zagadnieniem filozofowie, ale chociaż powiedzieli wiele interesującego o myśleniu w związku z rolą człowieka we wszechświecie, to jednak nie dali odpowiedzi na pytanie, czym w istocie jest myślenie.

W ostatnich stu latach zagadnienie stało się przedmiotem zainteresowań psychologów, jednak i oni nie dali odpowiedzi na to pytanie, jakkolwiek zaobserwowali wiele przejawów myślenia, a niektóre z nich nawet zmierzyli.

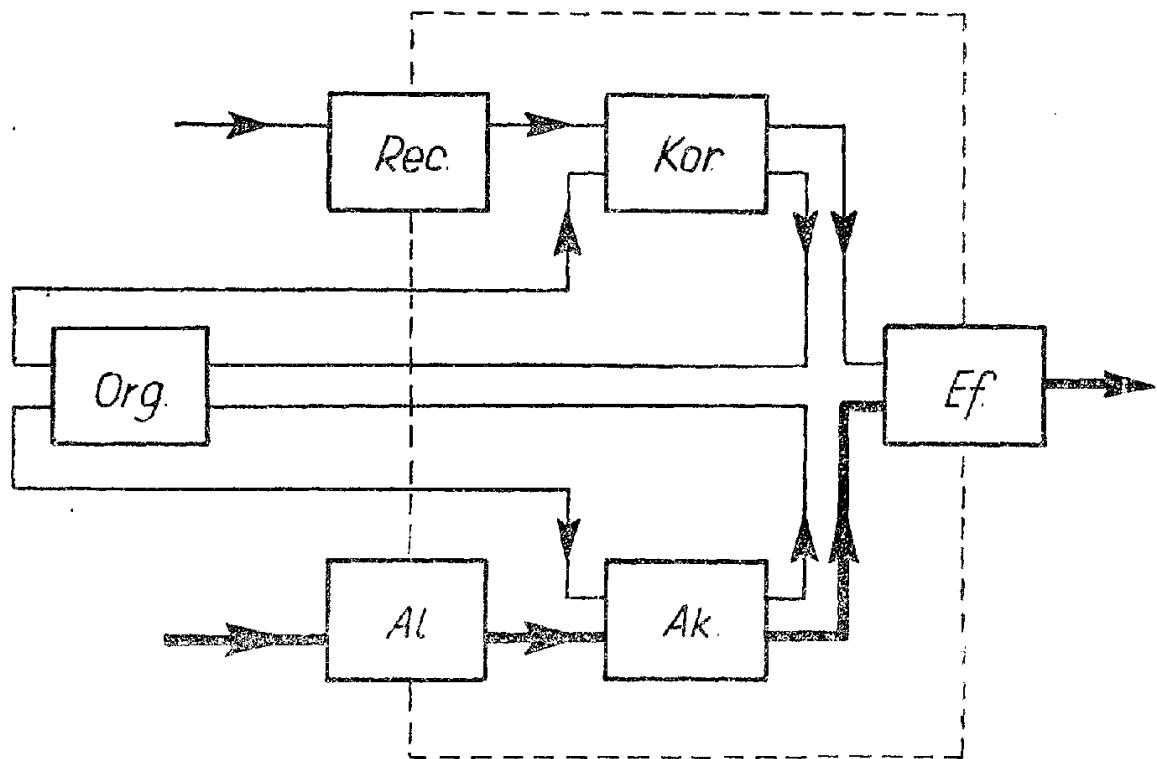
Obok psychologów zagadnieniem myślenia zajmowali się również fizjologowie. Wiele nadziei w tym względzie wiążali oni z wykryciem odruchów warunkowych, ale nadzieje te okazały się złudne w odniesieniu do procesów myślenia. Dla objaśnienia tzw. *wyższych* czynności mózgu wprowadzono koncepcję *drugiego układu sygnalowego*, ale ani nie stwierdzono jego istnienia, ani nawet nie zdefiniowano go w sposób mogący służyć za podstawę takiego stwierdzenia.

W ostatnich latach włączyła się do tej problematyki cybernetyka, traktując ją w kategoriach sterowania. Okoliczność, że skonstruowane w tym okresie maszyny matematyczne okazały się przydatne do rozwiązywania wielu zadań z zakresu pracy umysłowej człowieka, doprowadziła do wysunięcia zagadnienia, czy jest możliwe skonstruowanie maszyny zdolnej do myślenia.

Wobec sporów, jakie na tym tle powstawały wskutek opozycji przedstawicieli nauk humanistycznych, konieczne okazało się sprecyzowanie, jakie właściwości musiałaby mieć maszyna, ażeby można ją było uznać za maszynę *myślącą*, czyli sformułowanie definicji myślenia.

A zatem, co to jest myślenie?

Zanim postaramy się dać odpowiedź, przyjrzymy się bliżej sam pytaniu.



Rys. 19

Aby móc odpowiedzieć na jakiekolwiek zadane nam pytanie, musielibyśmy przynajmniej zrozumieć pytanie, a więc i użyte w nim wyrazy. W przytoczonym pytaniu występuje wyraz *myślienie*, wobec czego, w celu uniknięcia nieporozumień mogących powstać w razie rozbieżności jego pojmowania, powinniśmy najpierw zażądać, żeby nam wyjaśniono, co to jest *myślienie*. Jest to jednak pytanie, na które właśnie mieliśmy odpowiedzieć. Jak widać, zamiast tego sami je postawiliśmy.

Rzecz w tym, że pytania typu: *co to jest...* są w nauce niedopuszczalne, jako pozbawione treści.

Można takie pytanie stawać tylko wtedy, gdy przynajmniej jedna strona je rozumie, np. w dydaktyce, a mianowicie na wykładzie (pytanie jest zrozumiałe dla pytanego) lub na egzaminie (pytanie jest zrozumiałe dla pytającego).

Tak oto znaleźliśmy się w paradoksalnej sytuacji: najpierw wskazaliśmy, że definicja myślenia jest niezbędna, a potem stwierdziliśmy, że jej poszukiwanie jest niedopuszczalne.

Przyczyna tego tkwi w pewnym zasadniczym błędzie, jaki popełniono już w najwcześniejszym stadium rozwoju nauki. Wyraz *myślienie*, a wraz z nim takie wyrazy, jak: rozum, umysł, świadomość i wiele innych powstały w języku potocznym i utrwały się przez naśladowictwo (używanie jakiegoś niezdefiniowanego wyrazu w pewnych sytuacjach po zaobserwowaniu, że wielu ludzi używa go w takich samych sytuacjach), co z czasem doprowadziło do złudnego przeświadczenie, że są one pow-

szechnie zrozumiałe i w takim charakterze zostały później wprowadzone do nauki. Błąd polegał na tym, że najpierw uznano wyrazy, a dopiero potem zaczęto się zastanawiać, jakie zjawiska mogłyby do nich pasować, zamiast najpierw obserwować zjawiska, a potem nadawać im takie czy inne nazwy.

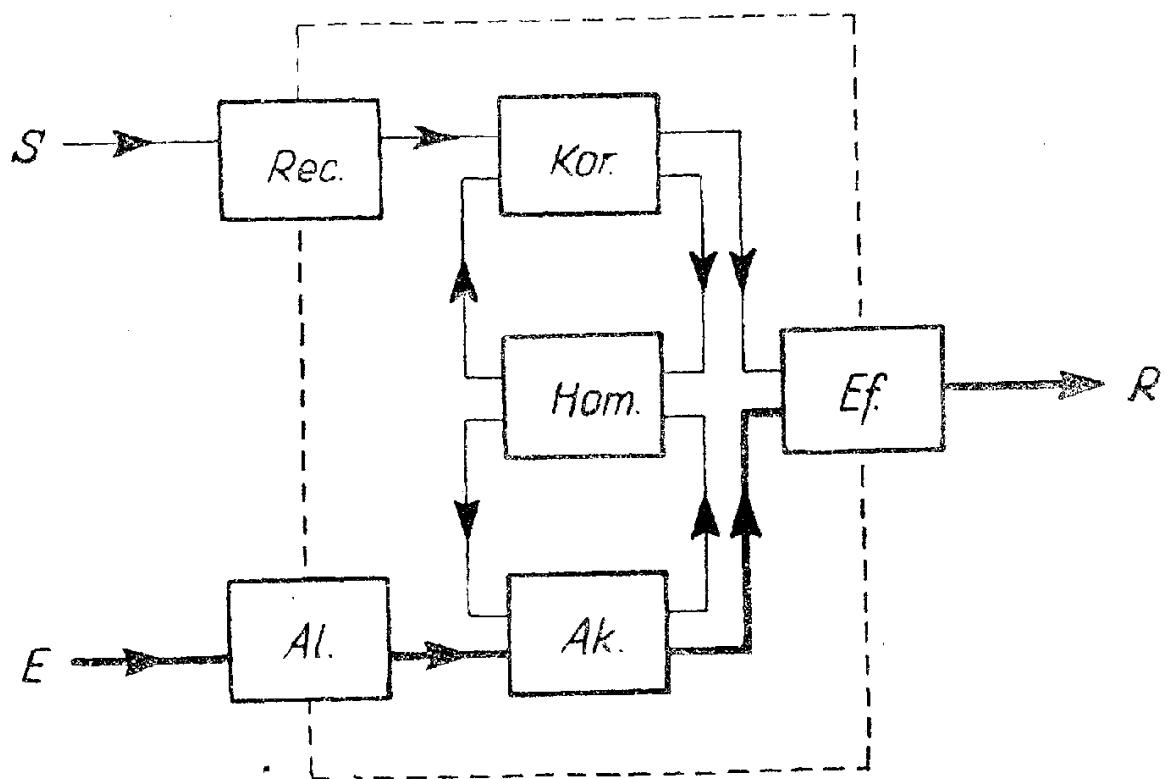
Zgodnie z tym, zaczniemy nie od zastanawiania się, czym jest *myślenie*, lecz od rozpatrzenia procesów sterowniczych mogących wchodzić w grę w człowieku i maszynie.

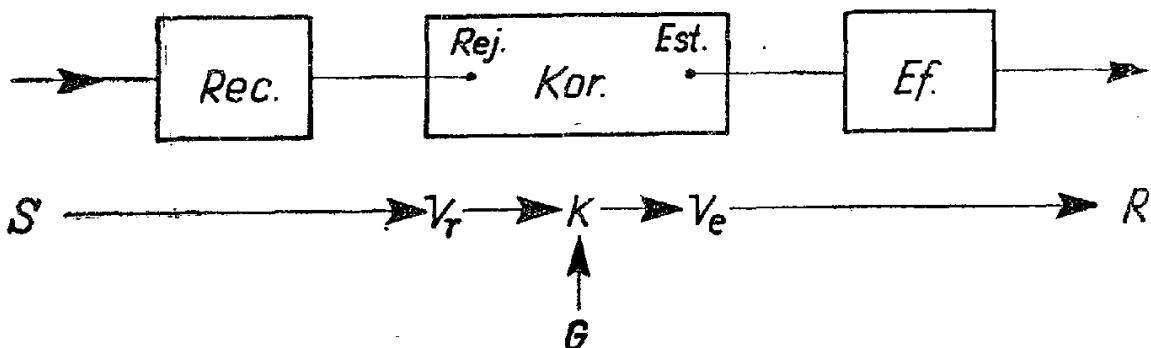
5.2. UKŁAD SAMODZIELNY

Aby uwolnić się od szczegółów strukturalnych, mogących wystąpić w rozmaitych organizmach i maszynach, musimy najpierw postawić koncepcję układu cybernetycznego na tyle ogólnego, żeby można było traktować organizmy i maszyny jako szczególne przypadki tego układu.

Jak to już podawaliśmy w rozdz. 4, sterowanie jest to wywieranie pożądanego wpływu na określone zjawiska. Użycie wyrazu *pożądany* wymaga wskazania, dla kogo, tj. dla jakiego układu sterującego wywieranie wpływu jest pożądane, czyli w czym interesie sterowanie się odbywa. Nie wchodząc w to, czym ten układ konkretnie jest, będziemy go nazywać organizatorem.

Rys. 20





Rys. 21

Jeśli przy tym uchylimy się od konkretyzowania zjawisk, na które wpływ ma być wywierany i przyjmiemy ogólnie, że chodzi o otoczenie organizatora, to sterowanie można określić jako oddziaływanie organizatora na jego otoczenie.

W najprostszym przypadku mamy do czynienia z bezpośrednim oddziaływaniem organizatora na otoczenie. Oddziaływanie to jest przenoszeniem informacji i energii.

Rozróżnienie informacji i energii jest umowne, nie istnieje bowiem w procesach sterowniczych przenoszenie informacji bez energii ani przenoszenie energii bez informacji. Niemniej jest ono dogodne, jeżeli za informacyjne uważać przebiegi charakteryzujące się dużą ilością informacji i małą ilością energii, a za energetyczne uważać przebiegi charakteryzujące się małą ilością informacji i dużą ilością energii.

Przy bezpośrednim oddziaływaniu organizatora na otoczenie jest on zarówno źródłem informacji, jak i energii.

Wprowadzając pewne organy pośrednie będziemy budować układ w coraz większym stopniu uniezależniany od organizatora i przejmujący jego funkcje.

Pierwszym krokiem w tym kierunku będzie wprowadzenie efektora, tj. organu wykonawczego, który otrzymuje informacje i energię od organizatora i odpowiednio do tego oddziałuje na otoczenie. Na tym polega np. posługiwanie się narzędziami. Przy krajaniu nożem czy jeździe na rowerze, człowiek z własnego organizmu dostarcza energii do napędu oraz informacji wyznaczających kierunki działania.

Zamiast organizatora źródłem energii może być otoczenie. W tym przypadku potrzebne są dwa dodatkowe organy: a l i m e n t a t o r (zasilacz) do pobierania energii z otoczenia oraz a k u m u l a t o r do jej przechowywania w celu wykorzystywania odpowiednio do potrzeb. Przykładami takiego układu są maszyny. Przy użytkowaniu obrabiarek, samochodów itp. człowiek dostarcza tylko informacji, np. wyznaczających kierunek biegu samochodu.

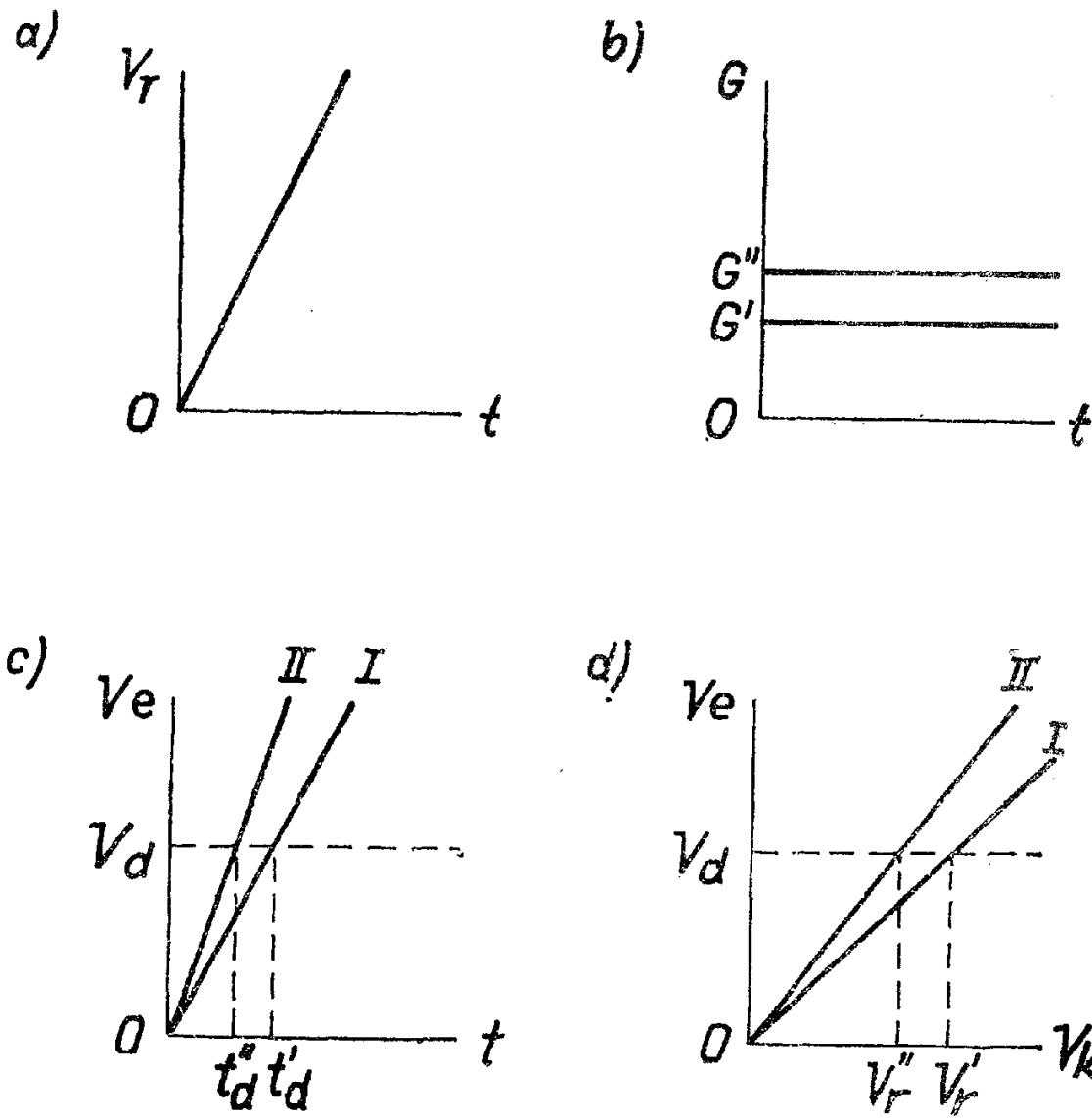
Otoczenie może być ponadto źródłem informacji. Wówczas potrzebne są dwa dalsze organy dodatkowe: r e c e p t o r do pobierania

informacji z otoczenia oraz korelator do ich przechowywania w celu wykorzystywania odpowiednio do potrzeb. Przykładem takiego układu są automaty.

Tego rodzaju układ, oddziałujący na otoczenie (reakcja R) dzięki wykorzystywaniu energii (E) i informacji (bodziec S) pobieranych z otoczenia, będziemy nazywać układem samosterownym (rys. 19).

Dla uproszczenia zaznaczyliśmy na rys. 19 tylko jeden receptor i jeden efektor. Liczba receptorów i efektorów sprzążonych z korelatorem może być jednak bardzo duża. Im większa jest liczba receptorów, z których każdy jest wrażliwy na inny rodzaj bodźców, tym więcej informacji układ będzie mógł odbierać z otoczenia, czyli tym lepsze będzie mieć jego rozeznanie. Im większa zaś jest liczba efektorów, tym więcej różnorodnych reakcji układ będzie mógł wytwarzać, czyli tym skuteczniej wpływać na otoczenie.

Rys. 22



Jednakże nawet przy tak znacznym uniezależnieniu będzie to układ działający w interesie organizatora, jeżeli organizator zachowuje wpływ na działanie akumulatora i korelatora, tj. wpływ na to — jaka ilość energii i jakie informacje będą przenoszone do efektorów.

Do całkowitego uniezależnienia od organizatora dochodzi się przez wyposażenie układu samosterownego w organ spełniający takie funkcje, jakie spełniał organizator. Wówczas układ samosterowny staje się układem samodzielny m. Jest on swoim własnym organizatorem, tzn. steruje się we własnym interesie. Układami samodzielnymi są wszelkie organizmy.

Maszyny samodzielne (autonomy) nie są jeszcze budowane, ale zasada ich konstrukcji wynika z omawianych poniżej właściwości układu samodzielnego. Układami samodzielnymi są także społeczeństwa, jak np. rodzina, przedsiębiorstwo, stowarzyszenie, państwo itp.

Nasuwa się pytanie, co to znaczy, że układ steruje się we własnym interesie. Odpowiedź na nie łatwo uzyskać odwołując się do procesów sterowniczych. Aby układ mógł się sam sterować, muszą zachodzić zmiany w jego strukturze, inaczej bowiem nie byłoby żadnego oddziaływania układu na otoczenie. Nie powinny jednak to być zmiany w takim stopniu nieodwracalne, że układ utraci zdolność sterowania. Układ samodzielny musi przeciwdziałać zbyt dużym zmianom struktury mogąącym jego samodzielność zniweczyć.

Działanie we własnym interesie jest więc równoznaczne z przeciwdziałaniem zniszczenia układu samodzielnego, lub inaczej mówiąc, z dążeniem do zachowania równowagi funkcjonalnej układu.

W organizmach istnieje zespół obiegów regulacyjnych przeciwdziałający nadmiernym odchyleniom temperatury, ciśnienia, wilgotności itp. Jak wiadomo, działanie tego zespołu nosi nazwę homeostazy.

W związku z tym organ, którego zadaniem jest utrzymywanie równowagi funkcjonalnej układu samodzielnego, będziemy nazywać homeostatem.

W ten sposób doszliśmy do schematu układu samodzielnego (rys. 20). Można w nim wyróżnić dwa główne tory: tor informacyjny, obejmujący receptory wykrywające bodźce (S) w otoczeniu, korelator przechowujący informacje odbierane od receptorów i przetwarzający je w informacje przenoszone do efektorów wytwarzających odpowiednie reakcje (R), oraz tor energetyczny, obejmujący zasilacze pobierające energię (E) z otoczenia, akumulator przechowujący pobraną energię i przetwarzający ją w energię potrzebną do napędu efektorów przy wytwarzaniu reakcji (R). Oprócz tych torów występują powiązania homeostatu z akumulatorem i korelatorem.

Poprzez tor informacyjny i tor energetyczny układ samodzielny jest sprzężony z otoczeniem. Między sobą tory te są sprzężone poprzez homeostat.

Oprócz receptorów wykrywających bodźce zewnętrzne, tj. pochodzące z otoczenia, należało by również uwzględnić na rys. 20 receptory wykrywające bodźce wewnętrzne, tj. pochodzące z różnych miejsc samego układu samodzielnego, pomijamy je tu jednak jako nie wnoszące nic istotnego do dalszych rozważań.

5.3. KORELACJA

Zanim przejdziemy do rozpatrywania toru informacyjnego w układzie samodzielnym, rozpatrzmy najpierw tor informacyjny w układzie samosterownym, tzn. pominiemy rolę homeostatu (rys. 21).

W torze tym możemy wyodrębnić odcinek stanowiący drogę przenoszenia informacji o bodźcu wykrytym przez receptor do korelatora. Odcinek ten zaczyna się w receptorze, a kończy się w jakimś punkcie korelatora; ten końcowy punkt będziemy nazywać rejestratorem. Chodzi tu o organ, którego zadaniem jest rejestracja informacji. Ponadto możemy wyodrębnić odcinek przenoszenia informacji z korelatora do efektora. Odcinek ten kończy się w efektorze, a zaczyna się w jakimś punkcie korelatora; ten początkowy punkt będziemy nazywać estymatorem. Chodzi tu o organ, którego zadaniem jest estymacja, tj. ocena, czy reakcja powinna nastąpić czy nie.

Uwagę naszą skierujemy przede wszystkim na procesy odbywające się między rejestratorem a estymatorem. Procesy te będąmy nazywać korelacją. Nie wydaje się możliwe badać korelator tylko na podstawie prostego schematu strukturalnego, a przecież cybernetyczny sposób traktowania pozwala znaleźć pewne punkty oparcia nie tylko dla rozpatrywania czynności mózgu ludzkiego, lecz także dowolnych korelatorów.

Przede wszystkim można powiedzieć, że jeżeli jakieś zjawisko fizyczne w jednym punkcie ma wywołać jakieś zjawisko fizyczne w innym punkcie, to między tymi dwoma punktami musi płynąć energia. Dlatego też w każdym korelatorze musi występować przepływ energii między rejestratorami a estymatorami. Z cybernetycznego punktu widzenia jest obojętne, czy to jest energia mechaniczna, czy elektryczna, czy jeszcze jakaś inna. Aby móc operować jednolitą terminologią, będziemy tę energię nazywać energią korelacyjną, ze względu na funkcję jaką ta energia spełnia (w odróżnieniu od energii roboczej płynącej w torze energetycznym).

Stosunkiem energii korelacyjnej do czasu określa się moc korelacji K . Jeżeli energia musi przepływać pewną drogę, to na początku tej drogi musi występować pewna różnica potencjałów; będziemy ją nazywać potencjałem korelacyjnym V_k .

Środowisko, w którym płynie energia korelacyjna, będziemy nazywać środowiskiem korelacyjnym. Moc korelacyjna

zależy oczywiście od przewodności tego środowiska, nazywanej przez nas **przewodnością korelacyjną** G .

Aby jakiś potencjał mógł powstać, potrzebny jest dopływ energii. Energia ta jest przynoszona przez bodziec z otoczenia, a następnie przenoszona poprzez receptor do rejestratora; wskutek tego powstaje w rejestratorze **potencjał rejestracyjny** V_r , który w przypadku układu samosterownego jest zarazem potencjałem korelacyjnym.

Gdy energia korelacyjna dopływa do estymatora, wówczas powstaje w nim **potencjał estymacyjny** V_e . Do uruchomienia efektora konieczne jest przekroczenie pewnej wartości progowej tego potencjału, którą będziemy nazywać **potencjałem decyzyjnym** V_d . Przekroczenie potencjału decyzyjnego będziemy nazywać **decyzją**.

*

W każdym zjawisku fizycznym przenoszona moc jest tym większa, im wyższy jest potencjał wywołujący przepływ energii i im większa jest przewodność środowiska, w którym odbywa się przepływ energii. Definiując przewodność korelacyjną jako stosunek mocy korelacyjnej do potencjału korelacyjnego

$$G = \frac{K}{V_k} \quad (5.1)$$

otrzymuje się wzór ogólny na moc korelacyjną

$$K = V_k G. \quad (5.2)$$

Dla przypadku

$$V_k = V_r \quad (5.3)$$

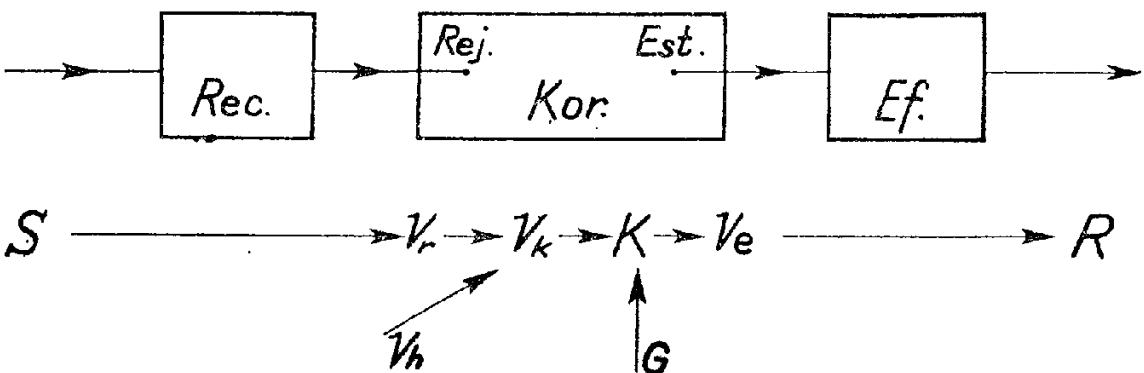
wzór (5.2) przybiera postać

$$K = V_r G. \quad (5.4)$$

Na rys. 22 przedstawiono wykreślną interpretację przebiegów korelacyjnych. Jeśli dla uproszczenia wykresów założyć, że bodziec wywołuje jednostajny wzrost potencjału rejestracyjnego V_r , to zależność tego potencjału od czasu $V_r = f(t)$ przedstawi się jako linia prosta (rys. 22a). Jeżeli przy tym przewodność korelacyjna jest stała i równa się G' (rys. 22b), to zależność $K = f(t) = V_r G'$ jest prostoliniowa. I wreszcie jeżeli założyć, że potencjał estymacyjny V_e jest proporcjonalny do mocy korelacyjnej K , to zależność $V_e = f(t)$ przedstawi się na wykresie jako linia prosta (I na rys. 22c).

Ogólnie biorąc potencjał decyzyjny V_d zostanie przekroczony po pewnym czasie decyzyjnym t_d .

Na rys. 22c prosta I przecina prostą poziomą V_d w punkcie odpowiadającym czasowi decyzyjnemu t'_d co oznacza, że dopiero po tym czasie efektor może spowodować reakcję.



Rys. 23

Funkcje $V_e = f(t)$ i $V_r = f(t)$ można ze sobą powiązać przez eliminację czasu t , skąd otrzymuje się funkcję $V_e = f(V_r)$ albo — po uwzględnieniu wzoru (5.3) — funkcję $V_e = f(V_k)$ (prosta I na rys. 22d). Aby reakcja mogła powstać, potrzebny jest potencjał rejestracyjny V'_r .

Jeżeli moc korelacyjna nie wywiera praktycznie wpływu na przewodność korelacyjną, to reakcje na wielokrotnie powtarzany taki sam bodziec będą powstawać po takim samym czasie decyzyjnym. Układ taki jest niezdolny do wykorzystywania doświadczeń. Tak właśnie dzieje się w prostych automatach.

Natomiast jeżeli wcześniej: z doświadczenia mają być wykorzystywane, to przewodność korelacyjna powinna wzrastać po każdym przebiegu korelacyjnym. Na tym właśnie polega rejestracja informacji w korelatorze.

Przypuśćmy, że po pierwszym bodźcu przewodność korelacyjna wzrosła z wartości G' do wartości G'' (rys. 22b). Jeśli teraz nadjdzie powtórny bodziec, identyczny z pierwszym, to moc korelacyjna będzie mieć wartość $K = V_r G''$, a przebieg funkcji $V_e = f(t)$ będzie bardziej stromy (prosta II na rys. 22c) niż poprzednio, co oznacza, że reakcja na powtórny bodziec nastąpi po krótszym czasie decyzyjnym t''_d .

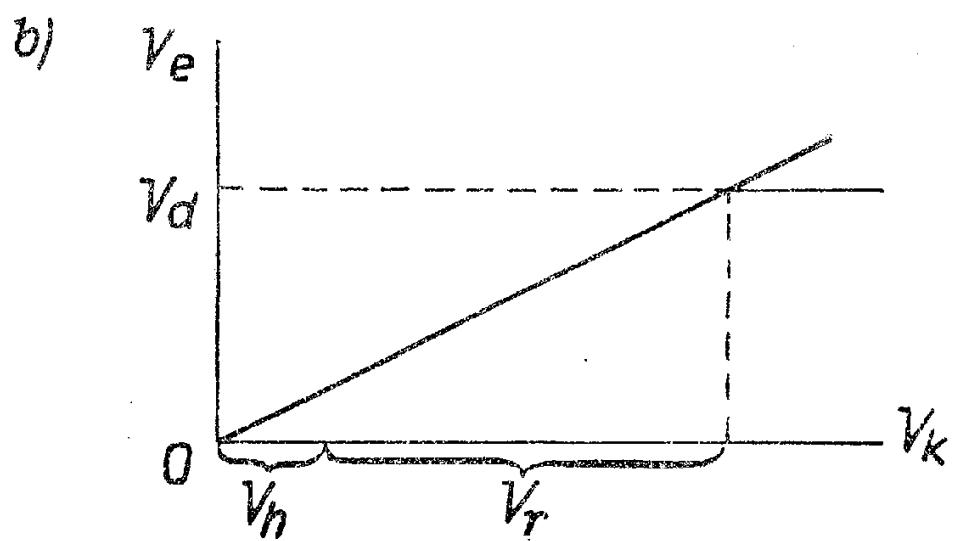
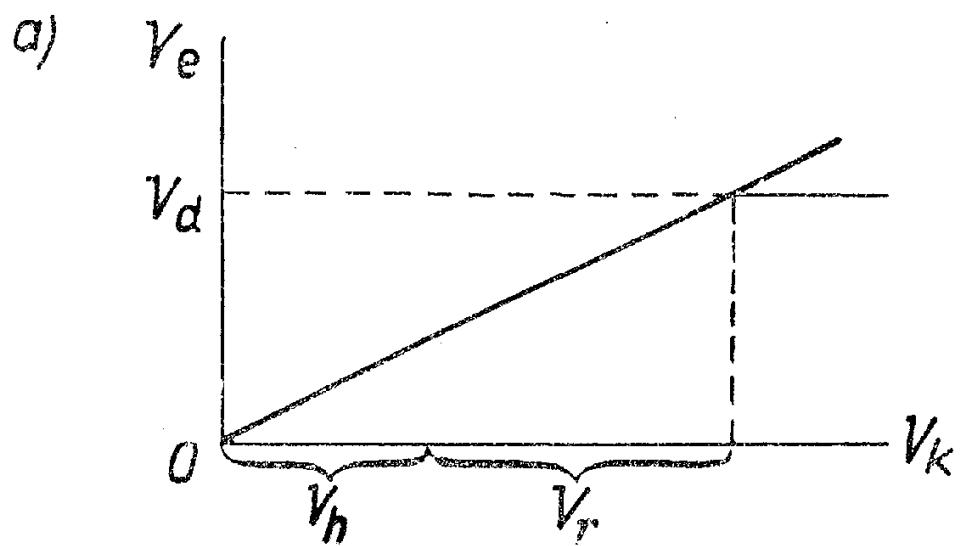
Z takich samych przyczyn bardziej stromy będzie również przebieg funkcji $V_e = f(V_k)$ (prosta II na rys. 22d) co oznacza, że do wywołania reakcji na powtórny bodziec potrzebny jest mniejszy potencjał rejestracyjny V''_r . Inaczej mówiąc, przy powtarzaniu się bodźców dalsze bodźce mogą być coraz słabsze, a pomimo tego będą wywoływać reakcje.

*

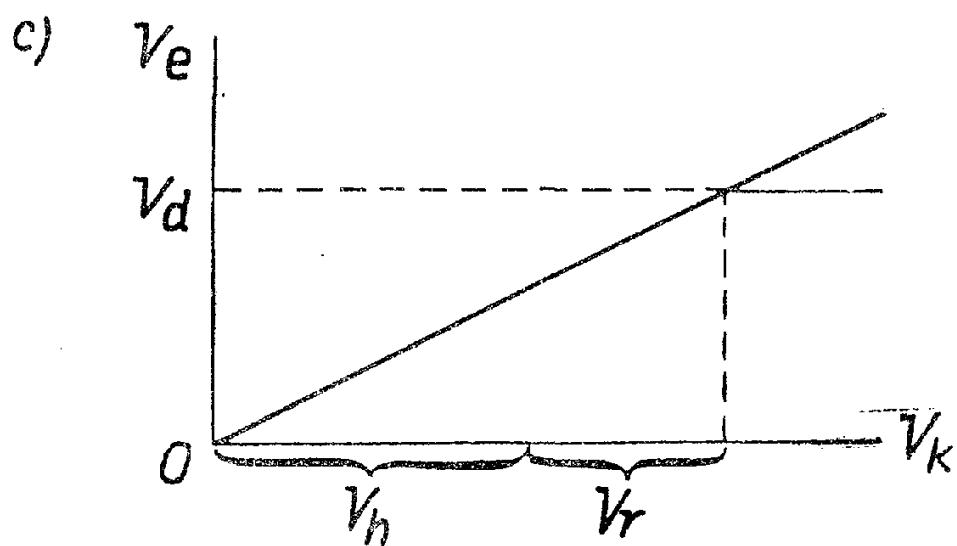
Aby przejść od układów samosterownych do układów samodzielnego, uwzględnimy wpływ homeostatu.

Zmiany rozkładu potencjałów w korelatorze wywierają wpływ na homeostat, który z kolei wywiera wpływ na korelator (rys. 20), wprowadzając do niego pewien potencjał, który będziemy nazywać potencjałem refleksyjnym.

Wobec tego w układzie samodzielnym potencjał korelacyjny (rys. 23) jest sumą potencjału refleksyjnego i potencjału rejestracyjnego.



Rys. 24



$$V_k = V_h + V_r \quad (5.5)$$

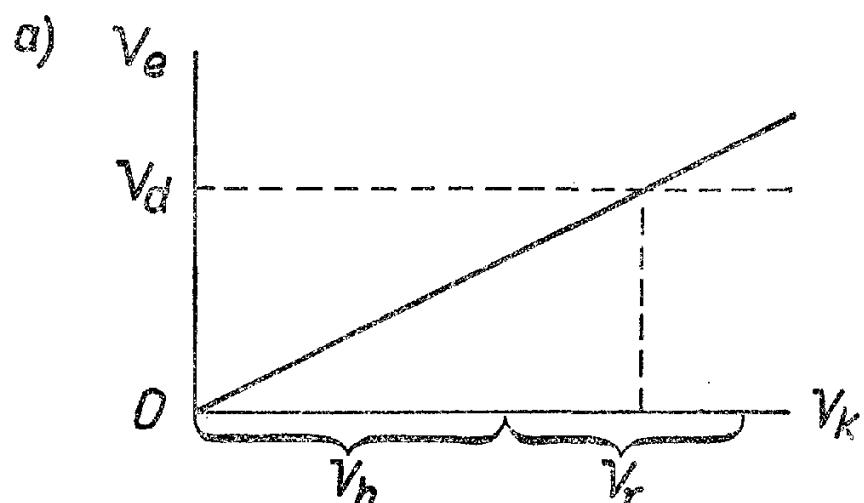
Zgodnie z tym wzór (5.2) przybierze postać

$$K = (V_h + V_r)G \quad (5.6)$$

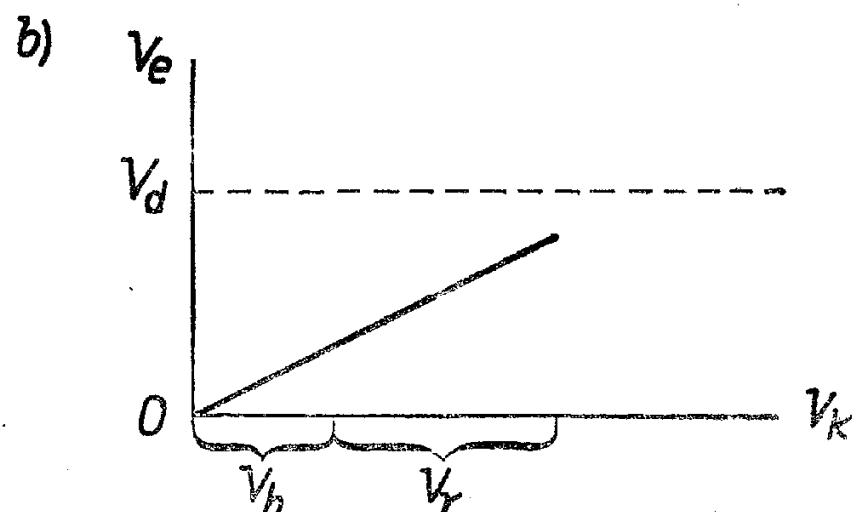
Jeżeli zmiany w korelatorze są niekorzystne dla układu samodzielnego, tj. sprawiają, że stan jego oddala się od równowagi funkcjonalnej, to zgodnie ze swoim zadaniem homeostat powinien temu przeciwdziałać, a więc, zgodnie ze wzorem (5.6), zmniejszyć potencjał refleksyjny V_h . Wówczas moc korelacyjna K zmniejsza się, w wyniku czego niekorzystna decyzja zostanie opóźniona lub nawet w ogóle nie nastąpi.

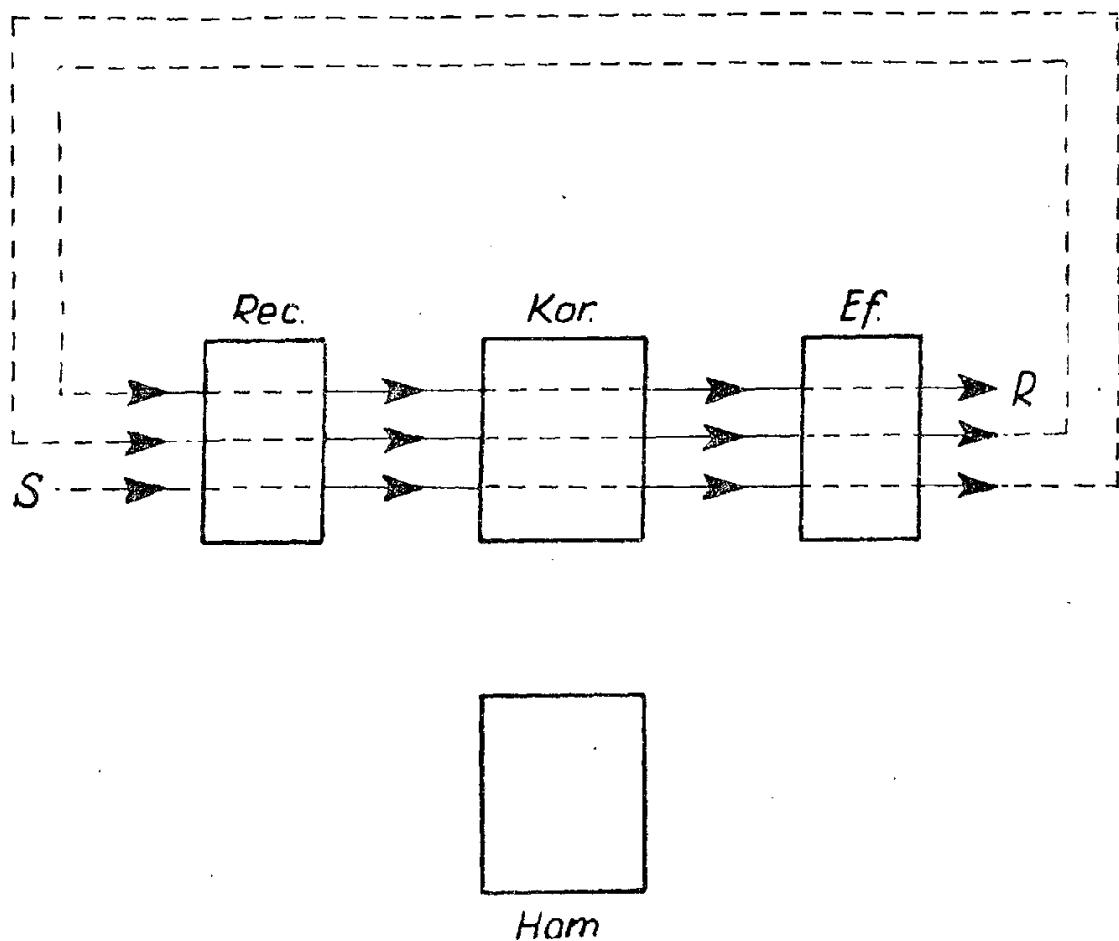
Natomiast jeżeli zmiany w korelatorze są korzystne dla układu samodzielnego, tj. przybliżają stan układu do równowagi funkcjonalnej, to homeostat będzie temu sprzyjać zwiększając potencjał refleksyjny.

Rolę potencjału refleksyjnego wyjaśnia bliżej rys. 24. Aby decyzja mogła powstać, potencjał korelacyjny — zgodnie ze wzorem (5.5) — musi być dostatecznie duży (rys. 24a). Przy mniejszym potencjale refleksyjnym potencjał rejestracyjny musi być większy, co oznacza, że do spo-



Rys. 25





Rys. 26

wodowania niepożądanej decyzji potrzebny jest silniejszy bodziec (rys. 24b). Przeciwnie, przy większym potencjale refleksyjnym wystarcza mniejszy potencjał rejestracyjny — pożądaną decyzję może spowodować również słabszy bodziec (rys. 24c).

Przy stałym potencjałem rejestracyjnym decyzja zależy od potencjału refleksyjnego, jak to ilustruje rys. 25. Przy dużym potencjale refleksyjnym potencjał korelacyjny jest wystarczający do spowodowania decyzji (rys. 25a). Przy mniejszym potencjale refleksyjnym potencjał korelacyjny może się okazać tak mały, że potencjał decyzyjny nie zostanie w ogóle osiągnięty, a więc decyzja nie nastąpi (rys. 24b). Jak widać, od potencjału refleksyjnego zależy, czy ten sam bodziec wywoła reakcję czy nie.

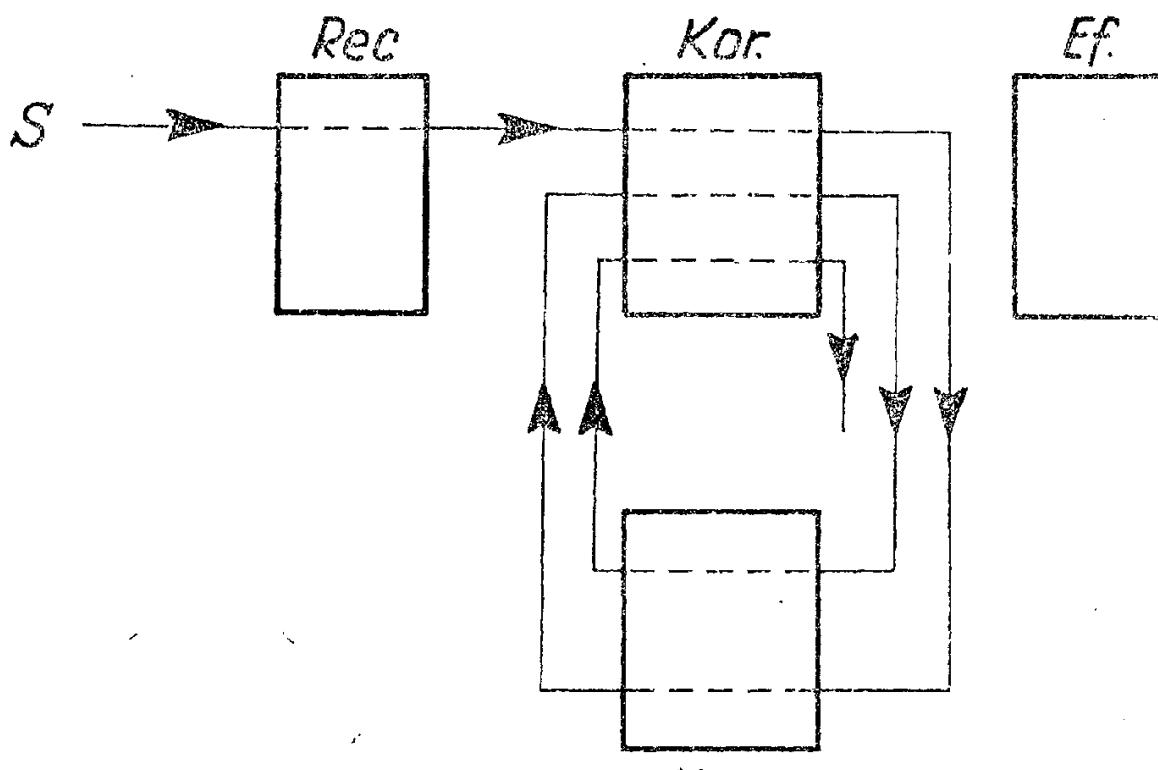
Potencjał refleksyjny stanowi istotne kryterium rozróżnienia decyzji pożądanych i niepożądanych. W ten sposób, dzięki posiadaniu homeostatu, układ samodzielnny może sterować się we własnym interesie.

W dotychczasowych rozważaniach ograniczyliśmy się do jednorazowych przebiegów korelacyjnych. Obecnie przejdziemy do rozpatrzenia obiegów korelacyjnych powstających wtedy, gdy wiele przebiegów korelacyjnych następuje po sobie.

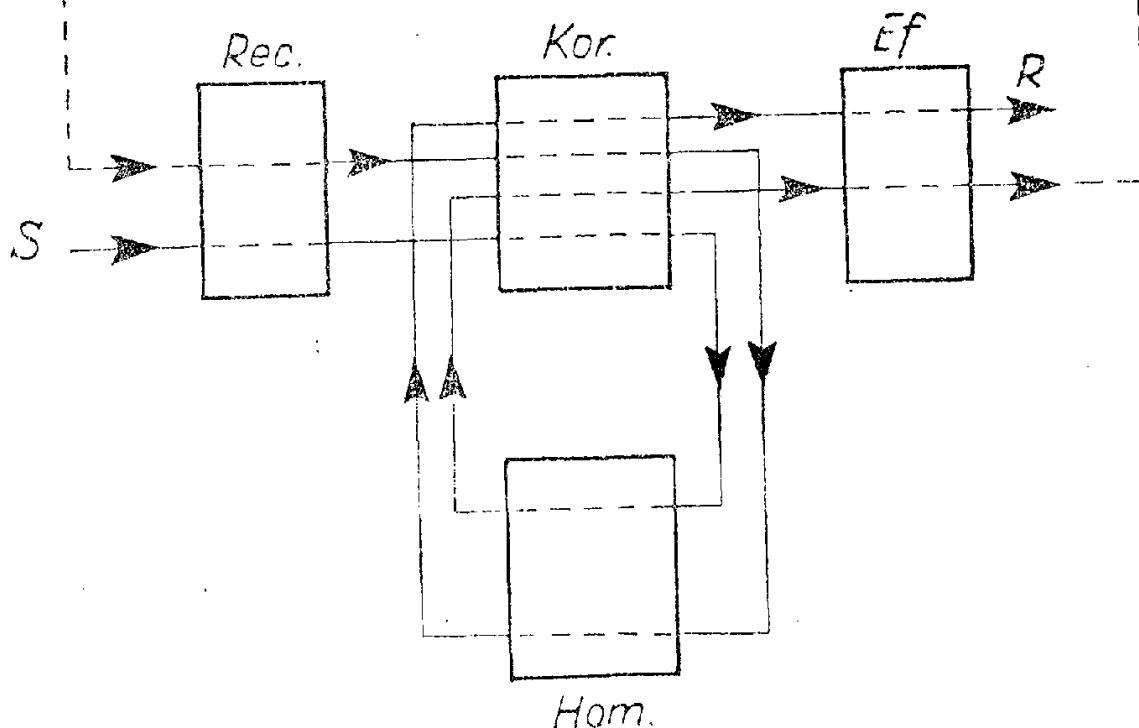
W związku z tym, że zjawiska zachodzące w korelatorze wywierają wpływ zarówno na działanie efektora, jak i homeostatu, można rozróżnić dwa przypadki skrajne.

Na rys. 26 jest przedstawiony przypadek, gdy pod wpływem jakiegoś bodźca rozpływ mocy koreacyjnej doprowadzi do przekroczenia potencjału decyzyjnego w estymatorze i spowoduje reakcję, zanim zmiana potencjału refleksyjnego wywołana przez homeostat zdoła temu przeszkodzić. Reakcja ta wywoła zmianę w otoczeniu. Oddziaływanie nowego stanu otoczenia na układ samodzielny stanowi nowy bodziec, wywołujący zmianę rozpływów mocy koreacyjnej. Jeżeli nowy rozpływ mocy koreacyjnej również spowoduje reakcję, zanim temu przeszkodzi zmiana potencjału refleksyjnego wywołana przez homeostat, itd., to tego rodzaju przebiegi składają się na obieg koreacyjny, odbywający się bez udziału homeostatu. Taki obieg koreacyjny będziemy nazywać o b i e g i m r e a k c y j n y m.

Na rys. 27 jest przedstawiony przypadek odwrotny. Jeżeli wskutek oddziaływania korelatora na homeostat potencjał refleksyjny zostanie zmniejszony, to moc koreacyjna i potencjał estymacyjny zmaleją, wobec czego reakcja nie może powstać. W wyniku zmiany potencjału refleksyjnego nastąpi nowy rozpływ mocy koreacyjnej, przy czym znów może się okazać, że działanie homeostatu i zmiana potencjału refleksyjnego nastąpi przed powstaniem reakcji, itp. Tego rodzaju przebiegi składają się na obieg koreacyjny odbywający się bez udziału efektora.



Rys. 27



Rys. 28

Taki obieg korelacyjny będziemy nazywać o b i e g i e m r e f l e k s y j n y m.

Miedzy tymi skrajnymi przypadkami możliwe są obiegi pośrednie, jak np. przedstawiony na rys. 28, gdzie po obiegu refleksyjnym następuje obieg reakcyjny, potem znów obieg refleksyjny, itp. Takie obiegi korelacyjne będące nazywać o b i e g a m i r e f l e k s y j n o - r e a k c y j n y m i.

5.4. CYBERNETYCZNA INTERPRETACJA PROCESÓW PSYCHICZNYCH

W wyniku przeprowadzonych powyżej rozważań doszliśmy więc do koncepcji układu samodzielnego i do scharakteryzowania procesów w nim występujących.

Zauważmy, że przedstawiona tu koncepcja procesów informacyjnych nie jest jedną z możliwych, lecz jedyną możliwą, a to w następują-

cym sensie. Zjawiska zachodzące w korelatorze jako przetworniku informacji muszą polegać na przepływie energii, gdyż zjawisk nie związanych z przepływem energii nie ma. Aby energia mogła płynąć, musi istnieć różnica potencjałów. Z kolei, aby wystąpiła różnica potencjałów, musi istnieć przepływ energii. Wszystkie te przebiegi muszą też spełniać prawo zachowania energii. Opisane procesy muszą występować w każdym układzie samodzielnym, a więc i w organizmie ludzkim.

Należy też zauważyć, że wszystkie podane tu procesy i wielkości mają ścisłe definicje fizyczne. Faktu tego nie zmienia okoliczność, czy dysponujemy obecnie środkami do ich zmierzenia.

Który z tych procesów jest myśleniem?

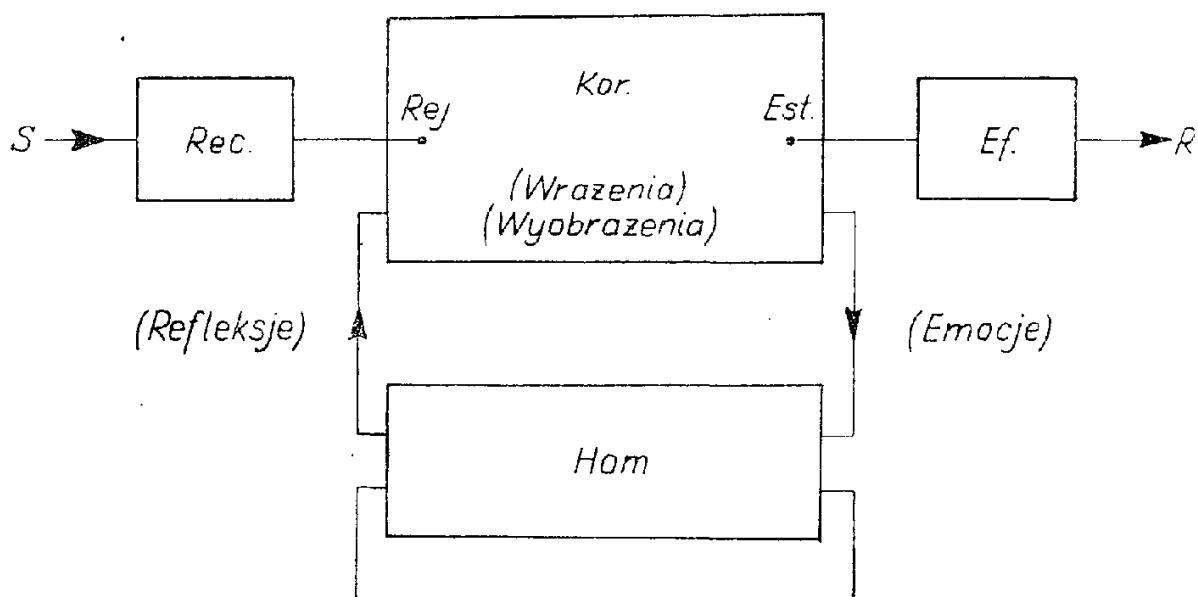
Udzielenie odpowiedzi na to pytanie byłoby równoznaczne z nadaniem nazwy *myślenie* jednemu z opisanych powyżej procesów. Jednakże każdy z tych procesów został już w przytoczonych rozważaniach jakoś nazwany, wobec czego nazwanie jednego z nich *myśleniem* byłoby po prostu nadaniem mu drugiej nazwy. Z cybernetycznego punktu widzenia nie jest to potrzebne, ale wyraz *myślenie* jest powszechnie używany, warto więc zastanowić się, któremu z opisanych procesów wyraz ten najlepiej odpowiada z uwagi na dotychczasowe przyzwyczajenia językowe.

Jeśli wziąć pod uwagę powszechny pogląd, że myślenie jest to przetwarzanie informacji w organizmie, przy czym może się ono odbywać nawet bez wywoływania żadnych zewnętrznych reakcji, to trzeba by uznać, że *myślenie* jest to korelacja w obiegu refleksyjnym (rys. 27).

Odwołując się do zakorzenionych przyzwyczajeń językowych w odniesieniu do innych jeszcze pojęć można przedstawić główne procesy psychiczne w następujący sposób (rys. 29).

Po wykryciu bodźca przez receptor wrażliwy na dany rodzaj bodźców powstaje w powiązaniu z nim w rejestratorze potencjał rejestracyjny. Wskutek tego następuje rozpływ mocy korelacyjnej z tego rejestratora we wszystkich kierunkach; ten rozpływ mocy korelacyjnej jest wrażeniem bodźca. Przepływowi mocy korelacyjnej towarzyszy wzrost przewodności korelacyjnej, dzięki czemu informacja o bodźcu zostaje zarejestrowana, tj. zapamiętana. Ze zniknięciem bodźca moc korelacyjna przestaje płynąć, czyli wrażenie zanika, ale przewodność korelacyjna pozostaje zwiększoną, choć zwolnia maleje w wyniku procesów samowyrownawczych, czyli zapamiętana informacja ulega zapominaniu.

Gdy się pojawi drugi (inny) bodziec, odbywa się podobny proces, z tą jednak różnicą, że oprócz rozpływu mocy korelacyjnej spowodowanego drugim bodźcem, a będącego wrażeniem tego drugiego bodźca, powstaje dodatkowy rozpływ mocy korelacyjnej po drogach o przewodności zwiększonej przez poprzedni bodziec. Suma obu tych rozpływów mocy korelacyjnej jest wyobrażeniem drugiego bodźca, tj. wrażeniem drugiego bodźca uzupełnionym skojarzeniami z pierwszym bodź-



Rys. 29

cem. Tak np. widząc cytrynę, odbieramy wrażenie żółtej ovalnej plamy, ale dzięki różnym poprzednim doświadczeniom mamy też wyobrażenie cytryny, obejmujące jej smak, soczystość itp.

Aktualny rozpływ narastającej mocy korelacyjnej, tj. aktualne wyobrażenie, prowadzi do wzrostu potencjału estymacyjnego w różnych estymatorach, w wyniku czego może nastąpić reakcja spowodowana przez efektory powiązane z tymi estymatorami, w których najpierw nastąpi przekroczenie potencjału decyzyjnego.

Równocześnie rozpływ mocy korelacyjnej, tj. wyobrażenie, oddziaływało na homeostat; oddziaływanie to jest emocją. Jego następstwem jest oddziaływanie homeostatu na korelator; oddziaływanie to jest refleksją. W zależności od tego, czy bodziec przybliża czy też oddala stan organizmu od równowagi funkcjonalnej, tj. czy sprawia przyjemność czy też przykrość, homeostat zwiększa bądź zmniejsza potencjał refleksyjny, sprzyjając w ten sposób bodźcom przyjemnym, a przeciwdziałając bodźcom przykrym.

Występowanie oddziaływania korelatora na homeostat i oddziaływanie homeostatu na korelator jest tym samym, co świadomość. Przy zupełnym zaniknięciu tych oddziaływań, co jest równoznaczne z zaniemową świadomości jak np. w głębokim śnie lub przy omdleniu, nie mogą powstawać wrażenia, wyobrażenia, emocje i refleksje. Przy częściowym ich zaniknięciu, jak np. lekkim śnie, powstaje rozpływ niewielkiej mocy korelacyjnej jedynie po drogach o największej przewodności korelacyjnej, co się przejawia jako marzenia senne związane z bardzo silnymi przeżyciami z przeszłości lub z ostatnio doznanymi bodźcami.

Z punktu widzenia zagadnień zarządzania istotne jest to, że zgodnie ze wzorem (5.6) na postępowanie innych ludzi można wpływać jedynie

przez oddziaływanie na potencjał rejestracyjny V_r , tj. przez odpowiedni dobór bodźców, przez oddziaływanie na przewodność korelacyjną G , tj. przez kształtowanie ich życiowych doświadczeń w przeszłości, oraz przez oddziaływanie na potencjał refleksyjny V_h , tj. przez wzbudzanie emocji odpowiadających życiowym interesom ludzi, na których chce się wywierać wpływ. Sa to stwierdzenia o wielkiej doniosłości, zazwyczaj bowiem zapomina się o roli potencjału refleksyjnego, a tymczasem, jak to ilustruje rys. 27, przykro emocje, zmniejszające potencjał refleksyjny, mogą przeciwdziałać nawet silnym bodźcom, tj. wywołującym duży potencjał rejestracyjny.

ROZDZIAŁ SZÓSTY

PRAKSEOLOGIA

6.1. ZARYS HISTORYCZNY

Od najdawniejszych czasów rozmaici doświadczeni ludzie starali się przekazać następcom wnioski, jakie wyciągnęli z własnych przeżyć i obserwacji cudzych. Aby wnioski te były przydatne dla różnych ludzi i do różnych sytuacji oraz aby dawały się łatwo zapamiętywać, formułowano je w postaci krótkich zdań o dość ogólnej treści.

W ten sposób powstały liczne przysłówia zawierające wskazówki, jakimi należy się kierować przy wyborze postępowania, na przykład *jak sobie pościelesz, tak się wyśpisz* (działanie źle wykonane da źle wyniki), *kto nie ma w głowie, ten musi mieć w nogach* (brak namysłu może prowadzić do błędów, których naprawienie będzie wymagać wiele trudu), itp. Były to wskazówki nie powiązane ze sobą, a nierzaz sprzeczne. Na przykład, gdy jedne przysłówia przestrzegały przed pośpiechem (*co nagle to po diable; co się odwlecze to nie uciecze*), to inne właśnie go nakazywały (*chwytaj okazję; nie mów nigdy: zrobię to jutro, zrób to dzisiaj*), a jeszcze inne dawały rady kompromisowe (*spiesz się powoli*): gdy jedne zalecały umiarkowanie w stawianiu sobie celów (*lepszy wróbel w ręku niż cietrzew na dachu*), to inne zachęcały do ryzyka (*szczęście sprzyja śmiały*) itp.

Podobną rolę odgrywały aforyzmy, jakich wiele można znaleźć w dziełach sławnych pisarzy.

Pewien ład do tych spraw usiłowali wprowadzić rozmaici filozofowie, dając do ujmowania zaleceń w sposób usystematyzowany i nadawania im podbudowy argumentacyjnej. W sumie jednak wkład ich był raczej niewielki.

Dopiero w ostatnich niespełna stu latach zaczęła się rozwijać literatura o tematyce rozmaicie nazywanej, ale w istocie sprowadzającej się do naukowego traktowania zagadnień skutecznego działania, czyli osiągania zamierzonych celów, którą to dziedzinę nauki nazywa się obecnie „prakseologią”.

Najwcześniej zaczął się nią zajmować L. Bourdeau (1824—1900), nazywając ją nauką o czynnościach (funkcjach).

Nazwę *prakseologia* wprowadził A. Espinas w artykule „Les origines de la technologie” (początki technologii) opublikowanym w 1890 roku w „Revue Philosophique de la France et de l'Etranger”. Wyraził on tam pogląd, że czynności praktyczne wymagają znajomości pewnych reguł, i że wobec tego od wyrazu *praktyka* nasuwa się termin *prakseologia* — jako nazwa nauki o ogólnych zasadach i formach działania. Wskazując na potrzebę takiej nauki Espinas uważały, że powinna ona zajmować się klasyfikacją umiejętności praktycznych, śledzeniem ich rozwoju oraz rozważaniem warunków i zasad skuteczności działania.

Nazwy *prakseologia* użył następnie E. Ślucki (1880—1948) w artykule o zagadnieniach budownia formalno-prakseologicznych zasad ekonomii, opublikowanym w 1926 r. w wydawnictwie uniwersytetu kijowskiego. W artykule tym Ślucki wskazuje na potrzebę ogólnej teorii celowego działania.

Prawie w tym samym czasie, gdyż w 1922 r. (częściowo w 1912 r.) ukazało się dzieło A. Bogdanowa (jest to pseudonim, prawdziwe nazwisko autora brzmiało: A. A. Malinowski (1873—1928) p. t. *Tektologia*. Nazwy tej użył Bogdanow w znaczeniu ogólnej nauki o organizacji, w znacznym stopniu pokrywającej się z zakresem prakseologii.

Wiele prac poświęcił belgijski autor G. Hostelet (1875—1960) zagadnieniom naukowego badania czynności ludzkich, z czego dwie — w wyniku kontaktów z polskimi badaczami — opublikował w Polsce (w latach 1947 i 1951). Pomimo że sam Hostelet starał się dopatrywać różnic między uprawianą przezeń problematyką a prakseologią, to jednak działalność Hosteleta w znacznym stopniu wkracza w zakres prakseologii.

W Polsce zagadnieniami prakseologicznymi interesuje się liczna grupa autorów. Czołową postacią torującą drogi rozwoju prakseologii jest prof. T. Kotarbiński, którego pierwsza publikacja z tego zakresu pt. *Szkice praktyczne* ukazała się w 1913 r., a książka *Traktat o dobrej robocie* (I wyd. 1955, II wyd. 1958, III wyd. 1965) stanowi jedyny na świecie podręcznik obejmujący całość prakseologii.

Niezależnie od prakseologii powstawała naukowa organizacja pracy, zwana obecnie nauką o organizacji i kierownictwie, w zastosowaniu do potrzeb przemysłu, handlu i administracji. Z dzisiejszego punktu widzenia można uważać, że w przypadkach, gdy nauka ta prowadzi do formułowania zasad ogólnych, wkracza ona w zakres prakseologii.

6.2. ZASADY PRAKSEOLOGII

Według przyjętej definicji prakseologia jest to ogólna teoria sprawnego działania.

Zgodnie z tą definicją, prakseologia nie zajmuje się sposobami wykonywania poszczególnych czynności, lecz dociekaniem zasad i formu-

łowaniem wskazań tak ogólnych, ażeby mogły one być przydatne do wszelkich czynności. Niemniej, prakseologia interesuje się rozmaitymi konkretnymi przypadkami działania w celu wyciągania wniosków ogólnych.

Wymaganie całkowitej ogólności jest trudne do spełnienia, toteż nie wszystkie wskazania opracowane przez prakseologów mogą mieć postać: *zawsze należy...* lub *nigdy nie należy...*, a wówczas przybierają one postać mniej kategorycznych zaleceń, o zastosowaniu ograniczonym użyciem słów *często*, *na ogół* itp.

Prakseologia operuje pewną grupą pojęć, spośród których najważniejsze omówimy poniżej.

Dokonywanie wszelkich zmian jest **działaniem**. Zmiana, która zapoczątkowała działanie, jest **przyyczyną**. Zmiana lub stan, na którym działanie się zakończyło, jest **skutkiem**.

Ten, który działanie było przyczyną jakiegoś skutku, jest **sprawcą**. Sprawca, który dąży do wywołania określonego skutku, jest **wykonawcą**. Skutek, do którego wykonawca dąży, jest **celem**, a skutek, który wykonawca już spowodował, jest **wynikiem**.

Najmniejszy element działania jest **czynem**. Ciąg czynów jest **czynnością**. W związku z tym, w działaniu można rozróżnić poszczególne czynności, a w czynnościach poszczególne czyny.

Celem działania może być nadanie jakiejś właściwości (działanie konstrukcyjne), usunięcie jakiejś właściwości (działanie destrukcyjne), utrzymanie jakiejś właściwości (działanie zachowawcze) lub niedopuszczenie do powstania jakiejś właściwości (działanie zapobiegawcze).

Przedmiot, którego stan jest wynikiem działania wykonawcy, jest **wytworem**.

Substancja, którą wykonawca poddaje działaniu w celu uzyskania wytworu, jest **tworzym**. Przed rozpoczęciem takiego działania, substancja ta jest **materiałem**.

Przedmiot umożliwiający wytwarzanie lub przenoszenie energii potrzebnej do uzyskania jakiegoś wytworu, utworzony z innego tworzywa niż ten wytwór, jest **narzędziem**.

Sposób, jest to zbiór czynów o określonym rodzaju i kolejności, potrzebnych do osiągnięcia celu.

Metoda jest to zasada, na której opiera się dany sposób lub grupa sposobów.

Przygotowanie jest to czynność powodująca, umożliwiająca lub ułatwiająca inną czynność.

Próba jest to przygotowanie polegające na takiego rodzaju czynnościach, jakie przewidziane są w samym działaniu, wykonanych w celu sprawdzenia możliwości działania lub zwiększenia sprawności potrzebnej do działania. Za próbę uważa się również działanie nieudane.

Plan jest to przygotowanie polegające na opisie czynności przewidzianych w zamierzonym działaniu.

Praca jest to zbiór czynności polegających na pokonywaniu trudności w dążeniu do określonego celu.

Organizacja jest to sposób powiązania czynności dobranej w celu osiągnięcia zamierzonego celu.

Z punktu widzenia ocen uważa się w prakseologii, że działanie powinno być:

1) skuteczne, tj. prowadzące do zamierzonego celu, w odróżnieniu od działań obojętnych, utrudniających lub nawet udaremniających osiągnięcie celu,

2) dokładne, tj. prowadzące do skutku możliwie zbliżonego do zamierzonego celu,

3) udane, tj. zapewniające, oprócz osiągnięcia zamierzonego celu, możliwie wiele korzyści dodatkowych,

4)zyste, tj. powodujące, przy osiągnięciu zamierzonego celu, możliwie mało ujemnych skutków ubocznych,

5)ekonomiczne, tj. zapewniające osiągnięcie zamierzonego celu przy możliwie małym nakładzie (energii, materiałów, czasu, pieniędzy itp.); w szczególności działanie ekonomiczne może być oszczędne, tj. zapewniać zamierzony cel przy możliwie małym nakładzie, lub wydajne, tj. zapewniać skutek możliwie zbliżony do zamierzonego celu przy danym nakładzie,

6)proste, tj. zapewniające osiągnięcie zamierzonego celu za pomocą możliwie niewielu czynności,

7)prawne, tj. oparte na przygotowaniu zapewniającym możliwie duże umiejętności sprawcy,

8)niewodne, tj. wykluczające możliwość nieosiągnięcia zamierzonego celu, a przynajmniej możliwie ograniczającej prawdopodobieństwo jego nieosiągnięcia,

9)rationalne, tj. oparte na możliwie dużym zasobie potrzebnej wiedzy.

Dla ilustracji wymienionych cech działania przyjmijmy, że ktoś ma wykonać np. reklamę świetlną. W celu spełnienia powyższych wymagań powinien on:

1) dobrać materiały, narzędzia itp., które się nadają do wykonania reklamy,

2) wykonać reklamę tak, żeby spełniała ona należycie swoje zadanie (np. żeby litery były dostatecznie czytelne),

3) nadać reklamie kształt i barwy, dzięki którym będzie ona także ozdobą ulicy,

4) nie dopuścić do przykrych skutków ubocznych, np. migotania światła,

5) zużyć możliwie mało materiału, np. przez prowadzenie przewodów elektrycznych po najkrótszych drogach,

6) wykonać reklamę z elementów znormalizowanych, a więc łatwiejszych do nabycia i wymagających mniej pracy,

- 7) mieć wprawę w tego rodzaju pracach,
- 8) wykonać połączenia elektryczne tak starannie, aby nie okazało się, że niektóre litery niekiedy świecą się, a niekiedy nie,
- 9) mieć wiedzę fachową w zakresie wykonywania reklam świetlnych.

Omawianym wymaganiom prakseologicznym można by postawić zarzut, że nie są one równorzędne. Jedne z nich podają, co w wyniku działania ma być osiągnięte, inne zaś, jak to ma być osiągnięte. Niektóre wymagania mają zachodzące na siebie zakresy.

Tak na przykład, skuteczność i dokładność są właściwie jednym i tym samym wymaganiem, jako że podając, co ma być wykonane, trzeba jednocześnie podać, z jaką dokładnością, gdyż idealne wykonanie czegokolwiek jest niemożliwe.

Zbędne też wydaje się stawianie wymagań co do dodatkowych skutków dodatnich (udatność) i ujemnych (czystość). Jeśli, na przykład, reklamy mają służyć nie tylko do informowania przechodniów, lecz i dla ozdoby miasta, to jeden i drugi cel powinien być osiągnięty, nie ma więc podstaw do traktowania któregośkolwiek z nich jako czegoś dodatkowego, zdanego na dobre chęci wykonawcy. W należytym sformułowaniu celu mieści się również niedopuszczalność jakichkolwiek mankamentów.

Wymagania prostoty, wprawy i racjonalności mieszą się w wymaganiu ekonomiczności, gdyż wszelkie komplikacje oraz brak wprawy i wiedzy spowodują jedynie straty (jeśli w ogóle nie uniemożliwią osiągnięcia celu).

A zatem, spośród dziewięciu wymagań, niezależne od siebie są w istocie tylko dwa: wymaganie skuteczności oraz wymaganie ekonomiczności. Mówiąc językiem potocznym odbiorcy, chodzi o to, żebytrzymać to, co miało być zrobione, oraz żeby to najmniej kosztowało. Dla wykonawcy interesujące są ponadto wymagania racjonalności i wprawy, tzn. że powinien on wiedzieć, jak pracę trzeba wykonać, i umieć ją wykonać.

Niemniej, godne uznania jest dążenie prakseologów do uwydatnienia jak najwięcej okoliczności ogólnych, których rozeznanie mogłoby usprawnić rozmaite działania.

Szczególnie interesujące jest — wprowadzone przez prof. Kotarbińskiego — potraktowanie zagadnień sprawnego działania od strony błędów. Jest ono oparte na następującej idei: Jeśli zebrać i usystematyzować wszelkie możliwe błędy popełniane w działaniach, to — odwracając sprawę — można będzie zalecić unikania tych błędów, a przez to uzyskać wskazówki, których trzymanie się zapewni sprawność działania.

Według tej idei błędy praktyczne (tj. błędy wykonania, w odróżnieniu od błędów teoretycznych, czyli poznawczych) mogą mieć następujące źródła:

- 1) o p i e s z a ł o ś c , prowadząca do wykonania potrzebnej czynności ze zbyt małym natężeniem lub do niewykonania jej w ogóle,
- 2) n i e d o b ó r s i ły , uniemożliwiający wykonanie czynności wymagającej wysiłku,
- 3) b r a k w p r a w y , uniemożliwiający wykonanie czynności trudnej bądź wydłużający czas jej wykonania,
- 4) a u t o m a t y z m , utrudniający wykonanie potrzebnej czynności wskutek nawyków powstałych po wykonywaniu innych czynności,
- 5) w a d l i w e r o z e z n a n i e , utrudniające lub uniemożliwiające wykonanie potrzebnej czynności wskutek braku potrzebnych informacji lub wskutek posiadania informacji fałszywych.

Wobec tego, chcąc uniknąć błędów, należy:

- 1) nie szczędzić wysiłku, zwalczać w sobie lenistwo i bierność,
- 2) dbać o zachowanie sił i zdrowia,
- 3) ćwiczyć się w wykonywaniu czynności wymaganego rodzaju, zdobywać wprawę,
- 4) unikać rutyniarstwa powstającego przy wykonywaniu czynności,
- 5) rozszerzać swoją wiedzę.

Zalecenia powyższe są sformułowane przy założeniach, że chodzi o czynności w celu godziwym, że sprawca ma dobrą wolę ich wykonania oraz że trudności ich wykonania, wynikające z okoliczności zewnętrznych są dane.

Do powyższych spraw powrócimy w rozdziale 6.3. *Cybernetyka a prakseologia*.

Wielu prakseologów i ich prekursorów zajmowało się zagadnieniem podziału działań na etapy. Wypowiedzi ich sprowadzają się w zasadzie do poglądu, że w każdym działaniu można rozróżnić pięć następujących etapów:

- a) wybór celu,
- b) obmyślenie środków,
- c) wykonanie,
- d) kontrola wykonania,
- e) określenie przyczyn nieudania się lub niedociągnięć.

Ten niewątpliwie logiczny podział nie jest jednak ani tak uniwersalny ani tak użyteczny, jak by się na pierwszy rzut oka mogło wydawać. Łatwo to okazać na pierwszym z brzegu przykładzie. Przypuśćmy, że chcemy sobie ugotować obiad i jako ludzie postępowi postanowiliśmy posłużyć się zaleceniami prakseologii. Mamy ochotę na rosół z makaronem, więc pierwszy punkt *wybór celu* mamy już poza sobą. Sprawa *obmyślenia środków* również nie nastręcza trudności — w wyniku prostego obliczenia, uwzględniającego ceny mięsa, włoszczyzny i makaronu, asygnujemy z portfela potrzebną kwotę. Przechodząc do etapu *wykonanie* kupujemy włoszczyznę i makaron, ale w sklepie mięsnym dowiadujemy się, że mięsa nie ma. W rezultacie zamiast rosółu z makaronem spożyjemy zsiadłe mleko z ziemniakami, a włoszczyzne

możemy wyrzucić, bo jutro jedziemy na urlop. Na osłodę pozostanie nam możliwość przeprowadzenia *kontroli wykonania*, a zwłaszcza *określenia przyczyn nieudania się*.

Tego rodzaju przykładów, o rozmaitych stopniach ważności, można by przytoczyć mnóstwo. Zamierzona wycieczka nie może dojść do skutku, gdyż popsuła się pogoda. Samochód został unieruchomiony z powodu braku części zamiennych. Trzeba było odłożyć załatwienie ważnej sprawy urzędowej, gdyż potrzebny do tego urzędnik jest za granicą na delegacji. Przygotowania do produkcji pewnego leku trzeba przerwać, gdyż pojawił się inny, znacznie skuteczniejszy. Przewidziany desant na drugi brzeg rzeki nie może się odbyć, ponieważ tymczasem nieprzyjaciel silnie go umocnił, itd.

Wynika stąd wniosek, że według podanych etapów można organizować tylko działania w okolicznościach, które są nam dobrze znane co do ich stanu teraźniejszego i przyszłego.

Tym też objaśnia się, że wiele zaleceń prakseologicznych ma charakter ogólnikowych rad, z których warto skorzystać albo nie.

Tak na przykład, na poparcie poglądu, że nie wystarczy mieć słuszność, trzeba bowiem mieć także siłę do zrealizowania słuszych tez (jak powiedział Macchiavelli: *wszyscy prorocy uzbrojeni odnosili zwycięstwa; wszyscy bezbronni ponosili klęski*), można by przytoczyć setki dowodów. Niemniej, przykłady niektórych proroków świadczą również o czymś przeciwnym, i to tak dalece, że nieraz dokłada się starań zapobiegających powstawaniu mitu męczenników.

Znana jest zasada wojenna, żeby dążyć do uchwycenia inicjatywy, ale można też przytoczyć przypadki, gdy zwlekanie, przyczyniając się do wyczerpania przeciwnika, doprowadziło do zwycięstwa.

Należy postępować rozsądnie, ale zdarzało się w historii wojen, że działania wbrew wszelkiemu rozsądkowi okazywały się dla przeciwnika zgubnym zaskoczeniem.

Mniej filozoficzne cele stawia sobie naukowa organizacja pracy, która w pewnych krajach nosi nazwę *naukowej organizacji*, w innych zaś *naukowego kierownictwa*. W Polsce nazywa się ją kompromisowo *nauką organizacji i kierownictwa*. Jej twórca F. W. Taylor (1856—1915), inżynier z zakładów metalurgicznych w Stanach Zjednoczonych, zajmował się doświadczalnie zagadnieniami usprawnienia pracy robotników, przy czym doszedł do przekonania, że w celu zwiększenia wydajności, należy każdą pracę rozłożyć na elementarne składniki, odrzucić zbędne z nich, niezbędne zaś ukształtować w sposób najbardziej celowy i pochłaniający najmniej czasu. Otrzymywane wyniki należy stale kontrolować i wprowadzać poprawki. Do poszczególnych prac należy przydzielać robotników o największej przydatności, sprawdzonej za pomocą badań psychotechnicznych (Taylor był ich inicjatorem). Postępując według tych zasad Taylor doprowadził istotnie do wzrostu wydajności.

Jednakże i w stosunku do tych tak, zdawałoby się, bezspornych zaleceń, okazało się, że nie należy ich stosować zbyt rygorystycznie. Na podstawie badań fizjologicznych stwierdzono bowiem, że pewne poruszenia robotników, pozorne zbędne, zapewniają im minimum wypoczynku w czasie pracy, a ich usunięcie zamiast dalszego wzrostu wydajności, spowodowało jej zmniejszenie.

Dlatego też wielu badaczy tych zagadnień, jak np. H. Fayol (1841—1925), H. Le Chatelier (1850—1936), K. Adamiecki (1866—1933) wypowiadało się przeciw monotonnemu powtarzaniu tej samej czynności przez jednego robotnika, a za grupowaniem czynności zapewniających najmniejsze zmęczenie, przez to zaś zapewniających największą wydajność.

Zasługą tego kierunku badań jest to, że ukazał on możliwość opracowania zasad wspólnych dla wszelkich rodzajów pracy. Od prakseologii różni się on jedynie zakresem, jako że prakseologia zajmuje się nie tylko zagadnieniami skuteczności pracy, lecz wszelkiego celowego działania.

6.3. PRAKSEOLOGIA A CYBERNETYKA

Zanim zajmiemy się omówieniem różnic między prakseologią a cybernetyką, zacytujmy, jako reprezentatywny dla postawy prakseologów w tej sprawie, następujący fragment z książki T. Pszczołowskiego *Zasady sprawnego działania*, będącej syntetycznym przedstawieniem historii i aktualnego stanu prakseologii.

„*Od cybernetyki wzięły początek badania operacyjne, nauka o programowaniu... Wiążą się z nią teoria taktyki wojskowej i teoria gier. Prakseologia zaleca oczywiście korzystanie ze skutecznych sposobów działania podawanych przez cybernetykę i nauki od niej pochodzące. Są one w stosunku do prakseologii naukami pomocniczymi. Ale istnieje znaczna różnica w zakresie możliwości wykorzystania cybernetyki i prakseologii przez zwykłego człowieka pragnącego skutecznie działać.*

Cybernetyka chce dojść do takiej znajomości wszystkich czynników wyznaczających działanie człowieka, żeby można nimi było jednocześnie pokierować; prakseologia chce dać człowiekowi czynu abecadło skutecznego działania, przygotować go ogólnie do dobrej roboty. Cybernetyka zasypuje człowieka wzorami algebraicznymi, wprowadza funkcje matematyczne, posługuje się rachunkiem całkowym i różniczkowym; prakseologia operuje prostymi stwierdzeniami, dostępnymi przy odrobinie dobrej woli każdemu rozsądjnemu człowiekowi.

Cybernetyka wreszcie występuje w roli inspiratora coraz to nowych maszyn elektronowych, które zastępują rachmistrzów, tłumaczą w przekładach z jednego języka na inny, oraz umożliwiają budowę fabryk-automatów. Prakseologia natomiast, przynajmniej na obecnym etapie jej rozwoju, troszczy się o to, by zwyczajny człowiek, posługujący się własnym rozumem, umiał intelligentnie działać i osiągać zamierzone cele”.

Jak widać, autor cytowanej książki dopatruje się istotnej różnicy w tym, że cybernetyka operuje środkami skomplikowanymi, a prakseologia jest prosta i dostępna dla każdego człowieka.

Pogląd ten jest o tyle niesłuszny, że cybernetyka też może być prosta i dostępna dla każdego człowieka, jeśli ograniczyć się do wyłożenia jej zasad. Sedno rzeczy tkwi w czymś innym.

Po pewnym odczycie prof. Kotarbińskiego na temat rodzajów błędów praktycznych (o czym była mowa w rozdz. 6.2.) odbyła się dyskusja, w której dyskutanci, wymieniając przykładowo rozmaite sytuacje zapytywali, do jakiej kategorii błędów należały te sytuacje zaliczyć. Przytoczymy relację z tej dyskusji w brzmieniu podanym w książce prof. Kotarbińskiego *Traktat o dobrej robocie* (str. 353—354):

„Ktoś nie osiąga celu, gdyż za dużo miał do wykonania zadań w danej jednostce czasu lub dlatego, że tworzywo albo aparatura, albo podmioty współdziałające były stłoczone na przestrzeni zbyt ciasnej (dyr. Stanisław Twardo).

Ktoś znowu nie zdolał wykonać pracy literackiej z powodu hałasów w sąsiedztwie bądź też nie mógł zrobić tego, co zamierzał, z powodu zdenerwowania wywołanego przez nieznośne maniery zwierzchnika. Czy to nie jakieś nowe, szóste, różne od wyliczonych pięciu, źródło błędu praktycznego? (prof. Marian Mazur). Odpowiadamy, jak następuje.

Wszystkie nasze dociekania miały wspólnie przemilczane założenia: chodziło zawsze o źródła błędu praktycznego popełnionego przy danym określonym układzie trudności, które się zarysowują w danym układzie okoliczności zewnętrznych”.

Relacja powyższa jest wierna, jeśli chodzi o sprawy prakseologii i wypowiedzi prelegenta. Natomiast wymaga ona uzupełnienia jeśli chodzi o wypowiedzi na temat cybernetyki, pominięte przez prelegenta jako nie należące do uprawianej przezeń dziedziny nauki, istotne jednak dla tematyki niniejszego rozdziału.

Chodzi o to, że jeśli na pytanie, jakiego rodzaju błąd popełnia człowiek pracujący wadliwie wskutek nadmiaru pracy, złej jakości materiału lub narzędzi, zatłoczenia miejsca pracy; zdenerwowania nietaktownością zwierzchnika itp., otrzymuje się odpowiedź, że błąd wykonawcy wynika z jego niezadowalającego stanu zdrowia, braku wprawy itp., jako że mając zdrowe nerwy i dużą rutynę mógłby dobrze pracować nawet w hałasie, w tłoku itp. — to taka odpowiedź jest traktowaniem za-

gadnień z punktu widzenia sprzężenia prostego, a mianowicie sprzężenia, w którym zwierzchnik oddziałuje na podwładnego: polecenie jest wydane, należy je wykonać; wadliwości wykonania będą przypisane błędem wykonawcy.

Tymczasem cybernetyka traktuje sprawę z punktu widzenia sprzężenia zwrotnego, w którym nie tylko zwierzchnik oddziałuje na podwładnego, lecz i podwładny na zwierzchnika. W związku z tym, przyczyną wadliwości wykonania mogą być również dobrze błędy jednego jak i drugiego.

W odniesieniu więc do przytoczonych przykładów należałoby rozpatrzyć: czy należy ponaglać przeciążonego pracownika czy też zmniejszyć mu ilość pracy; czy zalecać spokój nerwów pracownikom stłoczonym w małym pokoju czy też zapewnić im lepsze warunki pracy; czy żądać od pracowników wytężenia przy obróbce nieodpowiedniego materiału lub nieodpowiednimi narzędziami czy też zaopatrzyć ich w lepsze materiały i narzędzia; czy literata zmuszonego pisać w hałasie silników posłać do lekarza czy też usunąć z domu mieszkalnego warsztat z hałasującymi silnikami; czy wyrabiać psychiczną odporność u szykanowanego podwładnego, czy też zwrócić uwagę jego zwierzchnikowi, żeby był bardziej taktowny, a w ostateczności przenieść go (zwierzchnika, a nie podwładnego) do mniej odpowiedzialnej pracy.

Rozdział błędów w takich sprzężonych układach będzie zależny od wyniku porównań ze stanem normalnym. Gdy w małym pokoiku musi przebywać sześciu urzędników, to usterki w ich pracy nie są ich błędami; gdyby urzędnik, pracujący z kolegą w dużym pokoju, narzekał na zatłoczenie, to powiedzielibyśmy, że ma nieuzasadnione pretensje. Inny stan zagęszczenia uważamy za normalny dla intelektualistów, inny zaś dla pracowników sortujących w magazynie, których praca polega na wkładaniu białych wyrobów do jednej skrzyni, a czarnych do drugiej. Nie stanęlibyśmy po stronie zwierzchnika wymyślającego podwładnym, ani po stronie podwładnego, żądającego, żeby zwierzchnik mówił do niego szepcem. I w tych sprawach trzeba się odwołać do cybernetyki, gdyż to, co skłonni jesteśmy nazywać *stanem normalnym*, jest po prostu stanem równowagi układów sprzężonych. Dlatego właśnie bilet na imprezy rozrywkowe kosztuje kilkadziesiąt złotych, a wstęp na odczyty naukowe jest bezpłatny.

Różnice między prakseologią a cybernetyką prowadzą do innych jeszcze, i to poważniejszych konsekwencji. U podstaw prakseologii tkwi mniemanie, że jeżeli każdy wykonawca zadba o jak najlepsze wykonanie swojego zadania, to całość obejmująca zadania wszystkich wykonawców osiągnie stan najlepszy. Cybernetyka wykazała, że niekoniecznie tak jest.

Dla ilustracji przypomnimy sprawę opisaną nie tak dawno w prasie. Pewien zakład przemysłowy zamówił z importu nowoczesne urządzenie umożliwiające znaczne zwiększenie produkcji. Ponieważ jednak termin

dostawy był długi, grupa inżynierów przedstawiła projekt prowizorycznej przystawki, która zwiększy produkcję, co prawda nic w tak dużym stopniu, jakiego oczekuje się od importowanego urządzenia, ale da się wykonać w krótkim czasie i bardzo małym kosztem. Dyrektor zakładu uznał pomysł za znakomity. Były wprawdzie trudności ze sfinansowaniem wykonania przystawki, gdyż fundusz inwestycyjny był już wyčerpany, ale dyrektor polecił wydatkować na ten cel pieniądze z innego paragrafu. Przystawka została wykonana, produkcja wzrosła, wykonawcy otrzymali nagrody, a dyrektor nawet specjalną pochwałę od nadziednego zjednoczenia. Dalszy ciąg sprawy był następujący. Kontroler, przybyły do zakładu na inspekcję, stwierdził przekroczenie finansowe i sporządził odpowiednią wzmiankę w swoim protokole. Na argumenty dyrektora zakładu o wzroście produkcji i uzyskanych oszczędnościach, daleko przekraczających koszt przystawki, kontroler odpowiedział, że sprawy te go nie dotyczą, a jego postępowanie jest zgodne z obowiązującymi go przepisami. Kopię protokołu otrzymał prokurator, który na tej podstawie sporządził akt oskarżenia. Na argumenty dyrektora fabryki odpowiadał podobnie jak kontroler. Po wpłynięciu aktu oskarżenia do sądu, odbyła się rozprawa. Sędzia wysłuchał oskarżonego dyrektora i okazywał zrozumienie dla jego wywodów, ale w myśl przepisów musiał wydać wyrok skazujący. Uwzględniając okoliczność łagodzącą, że pieniądze zostały zużyte dla dobra państwa, a nie dla osobistych korzyści dyrektora, sędzia wymierzył mu najniższą karę przewidzianą w kodeksie: pół roku więzienia z zawieszeniem kary na dwa lata. Tak więc, ukarany dyrektor nie musiał siedzieć w więzieniu, ale dla niego sprawa na tym się nie skończyła. Wkrótce otrzymał od zjednoczenia dymisję ze swojego stanowiska. Gdy powoływał się na udzieloną mu pochwałę, odpowiedziano mu, że zjednoczenie i nadal uważa zainstalowanie przystawki za cenne osiągnięcie, ale przepisy zabraniają zajmowania stanowisk kierowniczych przez osoby karane sądownie.

Jest godne uwagi, że z prakseologicznego punktu widzenia wszystkie osoby uczestniczące w sprawie: inżynierowie, dyrektor fabryki, kontroler, prokurator, sędzia, dyrekcja zjednoczenia, zrobiły w swoim zakresie dobrą robotę. Również dobrą robotę zrobili autorzy przepisów, zapobiegając samowoli w dysponowaniu funduszami państwowymi. A tymczasem w całości sprawa dała wynik szkodliwy. Fabryka utraciła dobre kierownictwo; od zdymisjonowanego dyrektora trudno będzie oczekiwać zapału na innym, już nie kierowniczym stanowisku; jego następca będzie się wystrzegał inicjatywy mogącej nawet zasłużyć na pochwałę zjednoczenia.

Takiego zaskoczenia z powodu kolizji między dobrym wykonaniem poszczególnych zadań, a złym wynikiem całości nie byłoby w ujęciu cybernetycznym. Z cybernetycznego punktu widzenia całość nie dzieli się na składniki, z których każdy można by oceniać jako osobne zadanie i stwierdzać, czy zostało ono dobrze czy źle wykonane. Całość jest ukła-

dem sprzężeń, przy czym rola każdego sprzężenia zależy od tego, co się tymczasem dzieje z pozostałymi sprzężeniami.

Zdarza się wprawdzie, że niektóre sprzężenia rozpatruje się odrębnie od pozostałych, ale bynajmniej nie dlatego, jakoby nie wywierały one wpływu na rozpatrywane sprzężenie, gdyż teoretycznie wpływ taki zawsze istnieje, lecz dlatego, że wpływ ten ocenia się jako praktycznie pomijalny. Dopiero przy takim uproszczeniu można by powiedzieć, że ujęcie prakseologiczne pokrywa się z ujęciem cybernetycznym pod względem zakresu (pod względem metod mogą nadal występować różnice, wymienione w cytowanym powyżej fragmencie książki T. Pszczołowskiego). Oczywiście, uprzednio należało by w każdym konkretnym przypadku wykazać, że uproszczenie tego rodzaju jest dopuszczalne.

Dodajmy też, że uważanie układu trudności zewnętrznych za dane nie daje jasnej granicy określającej, co będziemy zaliczać do błędów, a czego nie. Czy wykonanie nieprecyzyjnego rysunku stępionym ołówkiem to błąd rysownika, jako że przy dużej wprawie wykonałby nawet takim ołówkiem niezły rysunek, czy też trudność zewnętrzna tkwiąca w stanie ołówka? Jeżeli stan ołówka uznać za błąd rysownika, który po prostu powinien zatemperować ołówek, to na podobnej zasadzie pracownik może poprosić kolegów, żeby się ciszej zachowywali, złożyć skargę na nietaktownego zwierzchnika, zażądać lepszych narzędzi, itp. Jak widać, nie sposób jest określić granicę między trudnościami wewnętrznymi i zewnętrznymi.

Rozpatrzmy jeszcze taki przykład. Uczeń ma rozwiązać zadanie matematyczne. Jak powinien postępować? Niewątpliwie prakseolog zalecałby uczniowi poszerzenie swojej wiedzy matematycznej, nabycie wprawy itp. A tymczasem jeśli jest to uczeń o wyjątkowych zdolnościach muzycznych, od dawna przygotowujący się do zawodu muzyka, to poszerzanie wiedzy matematycznej jest dla niego tylko stratą czasu. Powinien on zdobyć tylko niezbędne minimum potrzebne do skończenia szkoły średniej, a swoje wysiłki skierować głównie na ćwiczenie gry na fortepianie. Dla cybernetyka jest to jasne, gdyż nawet cele uważane za dobre, mogą odgrywać różne role z punktu widzenia równowagi funkcjonalnej układu sprzężonego.

Omawiane sprawy jeszcze nie wyczerpują wszystkich różnic między prakseologią a cybernetyką. Jedna z istotnych różnic polega na tym, że prakseologia jest nauką opisową, cybernetyka zaś nauką analityczną. Prakseolog, podobnie jak przyrodnik, obserwuje rzeczywistość, porównuje zjawiska, grupuje je według dostrzeżonych podobieństw. Doszedłszy, w wyniku takiego postępowania, do wyodrębnienia pewnej liczby przypadków, prakseolog nie ma nigdy pewności, czy zestawiony przezeń zbiór przypadków jest kompletny. Coś przecież mogło ujść jego uwagi. Natomiast cybernetyk, podobnie jak matematyk, operuje pojęciami abstrakcyjnymi, analizuje je, dochodzi do określonych wniosków za pomocą operacji sformalizowanych. W świecie rzeczywistym cyber-

netyk nie szuka dowodów swoich twierdzeń, lecz ilustracji otrzymanych wyników. Dzięki temu ma on w rozpatrywanych przez siebie zagadniach kompletną wiedzę o tym, co jest możliwe.

Spróbujemy zademonstrować tego rodzaju postawę cybernetyczną w zastosowaniu do zagadnienia błędów.

Jest oczywiste, że wszelki błąd sprawcy może być spowodowany tylko przez któryś z organów (rys. 20), ale może się ujawnić tylko wtedy, kiedy następuje działanie. Do działania niezbędny jest organ wykonawczy tj. efektor. Jeżeli w działaniu wystąpił błąd, czyli odchylenie od działania pożdanego, znaczy to, że zachowanie się efektora odbiegało od działania pożdanego. Jako pierwszy wniosek nasuwa się więc, że źródło błędu może tkwić w samym efektorze.

Do działania efektora potrzebny jest dopływ informacji (decyzja) oraz dopływ energii (napęd). A zatem, poza efektorem, błąd może tkwić w torze informacyjnym lub w torze energetycznym — innej możliwości nie ma.

W torze informacyjnym może zanieść organ wykrywania bodźców tj. receptor, albo organ przechowywania i przetwarzania informacji tj. korelator.

W torze energetycznym może zanieść organ pobierania energii, tj. alimentator, albo organ przechowywania i przetwarzania energii, tj. akumulator.

I wreszcie może wchodzić w grę, sprzężony z torem informacyjnym i torzem energetycznym, organ utrzymywania równowagi funkcjonalnej, tj. homeostat.

Jak widać, istnieje sześć źródeł błędów, gdyż może zanieść którykolwiek z sześciu organów: efektor, receptor, korelator, alimentator, akumulator, homeostat. Co więcej, z okoliczności, że te sześć organów wykonuje wszystkie funkcje informacyjne i energetyczne, wynika, że możliwych jest tylko sześć źródeł błędu. Każde inne źródło błędu, jakie można by jeszcze wskazać, będzie jakimś szczególnym dotyczącym któregokolwiek z wymienionych organów.

Jak na to wskazywaliśmy już poprzednio, do każdego źródła błędu można zastosować podwójną interpretację: jeżeli jakiś organ działa wadliwie w danym otoczeniu, to przyczyną tego mogą być zarówno właściwości tego organu jak i właściwości otoczenia. W rezultacie, przy istnieniu sześciu organów, otrzymuje się dwanaście możliwych źródeł błędu.

Zilustrujemy to przykładem. Przypuśćmy, że stary goniec jakiejś instytucji otrzymał polecenie dostarczenia przesyłki pod wskazanym adresem. Oto możliwe rodzące błądów dla tego przykładu.

1. Efektor —

- a) goniec ma zbyt słabe nogi,
- b) gońcowi nie данo pieniędzy na przejazd.

2. Receptor —

- a) goniec ma zbyt słaby wzrok, aby przeczytać nazwę ulicy na narożnej tabliczce,
- b) tabliczka jest za słabo widoczna.

3. Korelator —

- a) goniec nie zna dobrze ulic miasta,
- b) gońcowi nie dano objaśnień, których ma się udać.

4. Alimentator —

- a) goniec źle się odżywia, bo ma za słabe uzębienie,
- b) goniec powinien otrzymywać pożywienie odpowiednie do swego wieku i zdrowia.

5. Akumulator —

- a) goniec nie zdążył zjeść obiadu,
- b) gońcowi dano za mało czasu na spożycie obiadu.

6. Homeostat —

- a) goniec niechętnie wykonuje swoją pracę,
- b) dano gońcowi pracę zbyt nużącej i monotonną.

W konfrontacji z przytoczonymi poprzednio pięcioma rodzajami błędu w ujęciu prakseologicznym sprawa przedstawiała się następująco. *Opieszałości* odpowiada punkt 6a. *Niedoborowi siły* odpowiada cały tor energetyczny, tj. punkty 4a, 5a, 1a. *Brak uprawy i automatyzm* mieścią się w punkcie 3a. *Wadliwemu rozeznaniu* odpowiada punkt 2a. Brakuje wszystkich sześciu punktów **1b, 2b, 3b, 4b, 5b, 6b**.

Analiza możliwości błędów, którą zastosowaliśmy przykładowo do organizmu, może być przeprowadzona w odniesieniu do każdego układu samodzielniego. W związku z tym zademonstrujemy ją na przykładzie społeczności, a mianowicie wojska.

Oddział wojskowy nie wykona nakazanego mu zadania, jeżeli:

1. a) ma za małe siły do wykonania zadania,
b) jeżeli zadanie przerasta siły oddziału;
2. a) nie zebrał potrzebnych informacji,
b) nie dostarczono mu potrzebnych informacji;
3. a) nie potrafi wykorzystać posiadanych informacji,
b) nie dano mu wyraźnych instrukcji;
4. a) nie postarał się o zaopatrzenie,
b) nie dału mu zaopatrzenia;
5. a) nie ma zapasów,
b) nie dano mu nowych zasobów na miejsce wyczerpanych;
6. a) nie ma bojowości,
b) nie uwydatniono mu doniosłości zadania.

Z przeprowadzonych porównań nie należy wnosić, jakoby prakseologia i cybernetyka były naukami *konkurencyjnymi*. Prakseologia zaj-

muje się działaniem ludzkim, cybernetyka zaś sterowaniem, co sprawia, że mają one pewną wspólną strefę zainteresowań: sterowanie w działaniu ludzkim. Poza tym jednak prakseologia zajmuje się wieloma zagadnieniami działania ludzkiego nie wchodząymi w zakres cybernetyki, jak np. analiza czynników działania ludzkiego (podmiot działania, przedmiot działania, sposób działania, środki działania, cel działania, wynik działania, itp.). Z drugiej strony, cybernetyka zajmuje się sterowaniem nie tylko w odniesieniu do człowieka lecz i do innych układów, jak np. organizmy zwierzęce i roślinne lub maszyny, nie interesujących dla prakseologii.

Co do strefy wspólnych zainteresowań, to coraz częściej dochodzi do wzajemnego przenikania i współdziałania obu tych nauk, przy czym prakseologia wykorzystuje cybernetyczne metody analizy i modelowania, cybernetyka zaś rozległy materiał obserwacyjny prakseologii i jego syntetyczne ujęcia.

Czytelnikom pragnącym zapoznać się bliżej z problematyką prakseologiczną można zalecić, oprócz wspomnianych już prac, przestudiowanie obszernego dzieła prof. J. Zieleniewskiego *Organizacja zespołów ludzkich* oraz lekturę zeszytów czasopisma *Prakseologia* publikującego prace Zakładu Prakseologii Polskiej Akademii Nauk.

Z punktu widzenia prakseologii kierownictwa godną zalecenia jest książka doc. S. Kowalewskiego *Przełożony — podwładny w świetle organizacji*.

ROZDZIAŁ SIÓDMY

PODEJMOWANIE DECYZJI

7.1. POJECIE DECYZJI

W rozdz. 5 zdefiniowaliśmy decyzję jako proces fizyczny polegający na takim wzroście potencjału estymacyjnego, że zostaje przekroczony potencjał decyzyjny, wskutek czego następuje uruchomienie efektora, czyli reakcja.

Czytelnik będzie prawdopodobnie skłonny przypuszczać, że nazwą tą określiliśmy tam chyba coś innego, a nie to, co mamy na myśli mówiąc o *podejmowaniu decyzji, trafności decyzji* itp.

Postaramy się okazać, że w obu przypadkach chodzi o jedno i to samo.

Zgodzimy się chyba łatwo, że decyzja, jako przyczyna działania, musi to działanie poprzedzać. Z drugiej strony, po pojawienniu się decyzji nie powinno już nic brakować do tego, żeby zaczęło się działanie.

Jeśli chodzi o organizm, to jego działanie polega na reakcjach wytworzanych przez efektory. Wobec tego miejscem pojawiania się decyzji mogą być tylko estymatory (rys. 23), jako organy oddziałujące bezpośrednio na efektory.

Ponadto aby stan estymatora wystarczał do uruchomienia powiązanego z nim efektora, potencjał estymacyjny musi być większy od potencjału decyzyjnego danego estymatora.

Na przykład, dopóki zastanawiamy się, czy kupić telewizor, odbywa się w naszym mózgu korelacja w obiegu refleksyjnym, a każdy kolejny rozkład mocy korelacyjnej jest kolejnym poglądem w rozmyślaniach. Po pewnej liczbie obiegów korelacyjnych rozkład mocy korelacyjnej zaczyna utrzymywać się bez zmian, obiegi korelacyjne zaczynają się powtarzać. Oznacza to, że spośród rozmaitych poglądów występujących w naszych rozmyślaniach utrzymał się jeden z nich, ten mianowicie, do którego odnosi się największy potencjał refleksyjny wprowadzany do korelatora przez homeostat, czyli pogląd znajdujący największe poparcie homeostatu we współdziałania z korelatorem. Ustalony w ten

sposób pogląd stanowi przeświadczenie, ale nie stanowi jeszcze decyzji. Jakieś nowe bodźce mogą wywołać nowe obiegi korelacyjne i nowe rozkłady mocy korelacyjnej, a więc nową serię zmieniających się poglądów na miejsce wspomnianego przeświadczenia. Jeżeli jednak odpowiadająca temu przeświadczeniu moc korelacyjna stanie się tak duża, że w pewnych estymatorach potencjał estymacyjny wzrośnie ponad potencjał decyzyjny, to fakt ten jest już decyzją. W wyniku przekroczenia potencjału decyzyjnego zostaną uruchomione efektory powiązane z tymi estymatorami i w ten sposób decyzja spowoduje działanie.

Decyzja jest procesem nieodwracalnym. Po tym zresztą rozpoznajemy decyzje, że ich konsekwencją było działanie. Mówiąc potocznie o *cofnięciu decyzji* mamy w istocie na myśli inną decyzję, która spowodowała działanie przeciwne działaniu spowodowanym pierwszą decyzją. Na przykład, jeżeli dyrektor instytucji podpisał wymówienie pracy jakiemuś pracownikowi, a potem je cofnął, to występują tu dwie kolejne decyzje, z których każda spowodowała działanie w postaci złożenia dwóch podpisów, jednym na wymówieniu, a drugim na cofnięciu wymówienia.

Proces korelacyjny, na którym polega namyślanie się, rozważanie itp. jest procesem przygotowawczym *podejmowania decyzji*. Jego wynikiem może być przeświadczenie, które stanie się decyzją, jeżeli spowoduje reakcję. W języku potocznym już samo przeświadczenie bywa nazywane *decyzją*, np. gdy się mówi, że ktoś *postanowił* coś zrobić (ale jeszcze nie zrobił). W takim znaczeniu *decyzja* może być oczywiście *cofnięta*.

W społecznościach również można wyróżnić proces podejmowania decyzji. Jeżeli decyzja jest podejmowana jednoosobowo, to niczym się to nie różni od omawianego powyżej procesu zachodzącego w organizmie. Jeśli chodzi o decyzje podejmowane zbiorowo, np. przez prezydium stowarzyszenia, to jest to proces złożony z cząstkowych decyzji uczestników posiedzenia, mający następujący przebieg. Uczestnik, zapytany o zdanie lub chcący zabrać głos z własnej inicjatywy, dochodzi w procesie korelacyjnym do pewnego przeświadczenia, przy czym jeżeli temu przeświadczeniu towarzyszy dostatecznie duży wzrost mocy korelacyjnej, to następuje decyzja, czego konsekwencją jest wygłoszenie tego przeświadczenia. Podobnie dochodzi do wypowiedzi innych uczestników. Są one wynikiem decyzji tych uczestników, ale jeszcze nie decyzją całego grona, która będzie ustalona w głosowaniu. Zanim do tego dojdzie, poszczególni uczestnicy mogą powziąć inne decyzje, tzn. zmienić zdanie. Mamy tu więc do czynienia z podwójnym procesem podejmowania decyzji. Najpierw są to indywidualne procesy podejmowania decyzji u poszczególnych uczestników. Procesy te kończą się decyzjami, których wynikiem są poszczególne wypowiedzi. Wypowiedzi te są z kolei poglądami w procesie podejmowania decyzji przez całe grono. Wynik głosowania sprawia, że jeden z tych poglądów staje się decyzją zbioro-

wości. Fakt, że jeden z poglądów uzyskał więcej głosów niż inny, jest dla zbiorowości, traktowanej jako układ samodzielny, tym samym, czym dla organizmu, traktowanego jako układ samodzielny, jest to, że w procesie korelacji odpowiadającym jednemu z rozważanych poglądów potencjał estymacyjny w pewnych estymatorach wzrósł silniej niż potencjał estymacyjny w innych estymatorach w procesie korelacji odpowiadającym innemu poglądowi.

To, co się technicznie nazywa *podejmowaniem decyzji* w społeczeństwach (fabrykach, sztabach wojskowych, komisjach planujących itp.), zwłaszcza za pomocą nowoczesnych metod, o których będzie dalej mowa, polega w zasadzie tylko na doprowadzeniu do przeświadczenie, tj. do poglądu uznawanego za najkorzystniejszy z punktu widzenia określonych kryteriów. Aby to przeświadczenie doprowadziło do decyzji, potrzebny jest osobny proces podejmowania decyzji zwany *akceptacją*, odbywający się u osób do tego uprawnionych.

Omawiamy te sprawy szczegółowo, ponieważ jest to potrzebne do zrozumienia mechanizmu podejmowania decyzji najprostszych i najczęściej zdarzających się, a zarazem będących elementem podejmowania decyzji wszelkich innych rodzajów.

7.2. DECYZJE SAMORODNE

Zgodnie z rozważaniami w rozdz. 5, na człowieka stojącego przed koniecznością podjęcia decyzji, oddziałują następujące czynniki:

a) stan jego doświadczenia życiowego, określony aktualnym rozkładem przewodności korelacyjnej (G),

b) rodzaj aktualnie oddziałujących na niego bodźców, określony rozkładem potencjału rejestracyjnego (V_r),

c) jego emocjonalne nastawienie do tych bodźców, określone rozkładem potencjału refleksyjnego (V_b).

Decyzje podejmowane wyłącznie jako wynik działania tych czynników, bez odwoływanego się do otoczenia, będziemy nazywać **decyzjami samorodnymi**.

Ten rodzaj decyzji niesłusznie pomijany w podręcznikach z zakresu podejmowania decyzji, zasługuje na bliższe rozpatrzenie, ponieważ niemal do najnowszych czasów zarządzanie polegało tylko na podejmowaniu decyzji samorodnych, ze wszystkimi ich ujemnymi skutkami.

Pojawienie się jakiegoś bodźca i wykrycie go przez odpowiedni receptor wywołuje procesy korelacyjne, jakie opisaliśmy w rozdz. 5.

Z punktu widzenia zagadnień podejmowania decyzji istotne jest to, że w chwili pojawienia się bodźca istnieje już w korelatorze określony rozkład przewodności korelacyjnej G , w którym do pewnych estymatorów prowadzą drogi o większej przewodności korelacyjnej, a do innych estymatorów drogi o mniejszej przewodności korelacyjnej. Zgod-

nie ze wzorem (5.4) rozpływ mocy korelacyjnej K będzie wyznaczony przez rozkład potencjału rejestracyjnego (zależny od rodzaju bodźców) i rozkład przewodności korelacyjnej G (zależny od rodzaju doświadczeń z przeszłości).

Może się okazać, że proces ten sprowadzi się do korelacji w obiegu reakcyjnym (rys. 26), tzn. że moc korelacyjna K wystarczy do tego, żeby w którymś estymatorze potencjał estymacyjny V_e wzrósł ponad potencjał decyzyjny V_d , zanim wystąpi oddziaływanie korelatora na homeostat i oddziaływanie homeostatu na korelator oraz spowodowana tym zmiana potencjału refleksjnego V_h . Tego rodzaju decyzje samorodne spowodowane wyłącznie przez bodźce, bez udziału homeostatu, będziemy nazywać **decyzjami odruchowymi**.

Jako przykłady reakcji spowodowanych decyzjami odruchowymi można przytoczyć zachowanie się w razie nagłej zmiany sytuacji: człowiek zagrożony niespodziewanym ciosem szybko osłania głowę rękami; pchnięty odstawia nogę do tyłu, aby nie upaść; na komendę *baczność* żołnierz podrywa się, zanim spostrzegł, że komendę dla żartu wydał kolega, itp.

Decyzje odruchowe nie zasługują na lekceważenie, gdyż niejednokrotnie mają one poważne konsekwencje. Urzędnik, który na urocystym otwarciu jakieś wystawy mimo woli parskanąłby śmiechem na widok dygnitarza nie mogącego sobie poradzić z przecinaniem wstępów tępymi nożyczkami, mógłby się narazić na utratę stanowiska.

Wielu kierowców znalazło się w szpitalu lub na ławie oskarżonych tylko dlatego, że odruchowo wykonali niewłaściwy skręt kierownicy.

Gromki okrzyk *hurra* podczas bitwy poderwał do ataku niejednego żołnierza, dalekiego skądinąd od marzeń o bohaterstwie itp.

Argument, że za działanie odruchowe nikt nie powinien być pociągnięty do odpowiedzialności, jest coraz rzadziej uznawany, można bowiem wysunąć kontrargument, że odpowiada się za przeszłość, która stworzyła gotowość do niepożądanych decyzji odruchowych, lub nie stworzyła gotowości do pożądanych decyzji odruchowych.

Dawniej nietrzeźwość, która doprowadziła do wypadku samochodowego, traktowano jako okoliczność łagodzącą. Obecnie jest ona okolicznością obciążającą — karze się sprawcę za to, że w ogóle zaczął pić, zanim zasiadł za kierownicą, a więc za to, co robił będąc jeszcze trzeźwym.

W czasie podejmowania decyzji odruchowych nie odbywa się żaden wybór między różnymi możliwościami. Zagadnienie wyboru, a więc zagadnienie trafności decyzji zostało rozwiązane wcześniej, tzn. w okresie szkolenia, treningu itp. Bokser na ringu nie ma wiele czasu na zastanawianie się nad wyborem ciosu, dlatego też na treningach nauczono go podejmowania określonych decyzji odruchowych w określonych sytuacjach.

Jeżeli przed nastąpieniem decyzji odruchowej rozpływ mocy korelacyjnej K zdąży oddziałać na homeostat i spowodować przez to zmianę

potencjału refleksyjnego V_h , to powstanie nowy rozpływ mocy korelacyjnej K , wyznaczony już nie tylko przez rozkład potencjału rejestracyjnego V_r (zależny od rodzaju bodźca) i rozkład przewodności korelacyjnej G (zależny od rodzaju doświadczeń z przeszłości), lecz także przez rozkład potencjału refleksyjnego V_h (zależny od wpływu bodźca na równowagę funkcjonalną organizmu).

Jeżeli moc korelacyjna okaże się dostatecznie duża, to wystąpi decyzja, przy czym będzie ona zależała od tego, w których estymatorach potencjał estymacyjny wzrośnie ponad potencjał decyzyjny. Proces ten będzie korelacją w obiegu refleksyjnym (rys. 27) w szczególności zaś korelacją o jednokrotnym obiegu refleksyjnym. Tego rodzaju decyzje, tj. spowodowane przez bodźce z jednokrotnym oddziaływaniem homeostatu na korelator, będziemy nazywać *decyzjami intuicyjnymi*.

W szczególnym przypadku wpływ potencjału refleksyjnego może się ograniczyć tylko do zwiększenia mocy korelacyjnej, bez zmiany jej rozprzęwu. Wówczas wzrost potencjału estymacyjnego ponad potencjał decyzyjny wystąpi w tych samych estymatorach, w jakich wystąpiłby i bez oddziaływania homeostatu. Znaczy to, że powstająca przy tym decyzja intuicyjna będzie taka sama, jaką byłaby decyzja odruchowa.

Na ogół jednak udział potencjału refleksyjnego spowoduje zmianę rozprzęwu mocy korelacyjnej, wobec czego inne estymatory i inne efektorzy wejdą w grę, a więc decyzja intuicyjna będzie inna, niżby była decyzja odruchowa.

Potrzeba podejmowania decyzji intuicyjnych zachodzi w przypadkach pośpiechu pozwalającego co najwyżej na jednokrotną ocenę sytuacji. Na przykład, ścigany uciekinier dobiegły do poprzecznej ulicy spogląda w lewo i w prawo i to już musi mu wystarczyć do podjęcia decyzji, w którym kierunku uciekać dalej.

Istnieją ludzie skłonni do podejmowania decyzji intuicyjnych, nawet gdy mają na to sporo czasu. Są to ludzie, u których przyrosty przewodności korelacyjnej po każdym procesie korelacji są małe, co sprawia, że żadna z dróg przepływu mocy korelacyjnej nie wyróżnia się szczególnie dużą przewodnością korelacyjną. Wskutek tego moc korelacyjna rozprzęwia się po wielu drogach naraz, a gdyby nawet korelacja obejmowała wiele obiegów refleksyjnych, to praktycznie nie zmieniłoby to rozprzęwu mocy korelacyjnej, jaki powstał już po pierwszym obiegu refleksyjnym. O ludziach tego typu mówi się, że decydują się szybko i nie zmieniają swoich decyzji. Szczególnie wyraźnie jest to widoczne u przywódców skłonnych do jedynowładztwa. Dzięki szybkości decyzji intuicyjnych, wynikającej z ogarniania wielu okoliczności na raz, potrafią zaskakiwać przeciwników faktami dokonanymi. Z czasem ich to demoralizuje, gdyż odnoszone sukcesy przypisują oni swojej *genialności* w podejmowaniu trafnych decyzji, tym bardziej, że niezbyt krytyczni podwładni są również skłonni w to wierzyć. Trafność takich decyzji

()

okazuje się jednak dość ograniczona w konfrontacji z równie zaskakującym postępowaniem przeciwników.

Jeżeli przed nastąpieniem decyzji intuicyjnej rozpływ mocy korelacyjnej zdąży ponownie oddziałać na homeostat i spowodować przez to zmianę potencjału refleksjnego, a zmieniony przez to rozkład mocy korelacyjnej znów zdąży oddziałać na homeostat itd., to powstanie procesu korelacji o wielu obiegach refleksjnych. Przy którymś z kolejnych obiegów moc korelacyjna może się okazać wystarczająco duża do spowodowania decyzji. Tego rodzaju decyzje, tj. spowodowane wielokrotnym oddziaływaniem homeostatu na korelator, będziemy nazywać decyzjami refleksymi.

Do podejmowania decyzji refleksjnych skłonni są ludzie, u których po każdym procesie korelacji występuje znaczny przyrost przewodności korelacyjnej na drodze przepływu mocy korelacyjnej. Wskutek tego moc korelacyjna popłynie jedną z dróg o dużej przewodności korelacyjnej, ale przy najbliższym obiegu refleksjnym nastąpi zmiana rozkładu potencjału korelacyjnego mogąca sprawić, że moc korelacyjna popłynie inną z dróg o dużej przewodności korelacyjnej. Przy następnych obiegach refleksjnych może się okazać, że moc korelacyjna popłynie jeszcze innymi drogami o dużej przewodności korelacyjnej. Taki przebieg korelacji stanowi serię poglądów poprzedzających wystąpienie decyzji, co potocznie nazywa się podejmowaniem decyzji na podstawie rozumowania logicznego.

Zaletą decyzji refleksjnych jest ich znaczna trafność, wynikająca z dokonania wyboru między różnymi poglądami. Nie należy jednak przeceniać ich trafności. Może się przecież zdarzyć, że po paru obiegach refleksjnych potencjał estymacyjny w którymś estymatorze wzrośnie ponad potencjał decyzyjny, tj. powstanie decyzja i reakcja, wobec czego obiegi refleksywne ustają, ale gdyby trwały dalej, to wzrost potencjału estymacyjnego również wystarczyłby do wywołania decyzji, tym razem innej, a przy tym trafniejszej. W ten sposób decyzja mniej trafna może uniemożliwić decyzję jeszcze trafniejszą. Jak widać, decyzje refleksywne są niekoniecznie najtrafniejsze. Na przykład, ktoś, kto po raz pierwszy wszedł na drogę przestępstwa, być może nie zrobiłby tego, gdyby o konsekwencjach pomyślał przedtem, a nie potem.

Wadą decyzji refleksjnych jest to, że są one podejmowane po wielu wahaniach, co pociąga za sobą stratę czasu. Przywódcy o takim typie korelacji podejmują na ogół trafne decyzje w warunkach umożliwiających im decydowanie w spokoju, bez pośpiechu, ale często zawodzą w sytuacjach wymagających decyzji natychmiastowych.

Nietrafność decyzji samorodnych może mieć dwa główne źródła.

Jednym z nich jest okoliczność, że decydujący podejmuje decyzje w oparciu o rejestraty istniejące w jego korelatorze, czyli, mówiąc językiem potocznym, wyłącznie w oparciu o własną wiedzę i doświadczenie życiowe. Rzecz jasna, są to podstawy z natury rzeczy dość ograniczone.

niczone. Im bardziej skomplikowany jest problem, tym bardziej niewystarczające są rejestraty decydującego. Zawarta w nich ilość informacji jest drobnym ułamkiem ilości informacji potrzebnej do podjęcia decyzji.

Drugim źródłem nietrafności decyzji samorodnych są sprzężenia między korelatorem a homeostatem decydującego, czyli, inaczej mówiąc, jego subiektywne nastawienie do problemu. Historia dostarcza na to niezliczonych przykładów. Szczególnie wyrazisty jest tu przykład Napoleona, któremu osobiste skłonności tak dalece przeszłały całość problemów, że w końcu przyczynił on wielkich szkód własnemu krajowi, a także samemu sobie.

Decyzje, w których podejmowaniu decydujący polega wyłącznie na sobie samym (decyzje samorodne), są najbardziej prymitywne, jako że są oparte na najuboższym zasobie informacji.

Aby ten zasób informacji zwiększyć, trzeba się dowiedzieć, co już bywało, aby móc przewidywać co będzie (decyzje progностyczne), a w braku takich informacji, dokonywać prób (decyzje probiercze).

Najdoskonalsze są decyzje oparte na badaniu wszelkich możliwości i wybraniu najlepszej z nich (decyzje optymalizacyjne).

Wymienione rodzaje decyzji zostaną omówione poniżej.

7.3. DECYZJE PROGNOSTYCZNE

Udoskonaleniem decyzji samorodnych, jeśli chodzi o ilość informacji potrzebnych przy podejmowaniu decyzji, jest odwołanie się do otoczenia jako źródła zawierającego informacje dodatkowe. Rozpoznanie tych informacji stanowi diagnozę.

Potocznie rozróżnia się informacje o teraźniejszości, tj. uzyskiwane z obserwacji stanu aktualnego, oraz informacje o przeszłości, czyli historię. W rzeczywistości i jedne i drugie są informacjami o przeszłości, nawet bowiem najświeższe informacje stają się informacjami o przeszłości w chwili, gdy się je zaczyna wykorzystywać do podjęcia decyzji. Praktycznie powyższe rozróżnienie ma tylko taki sens, że obserwacje przeprowadza się zazwyczaj dopiero po uznaniu, że będą one potrzebne do podjęcia decyzji, podczas gdy historia jest zbiorem informacji zebranych przez kogo innego wcześniej, i przeważnie do innych celów (lub nawet bez żadnego określonego celu). Aby nie komplikować rozważań tym rozróżnieniem, diagnozę będziemy odnosić do obu tych rodzajów informacji.

Informacje otrzymane w wyniku diagnozy mają wartość przy podejmowaniu decyzji, jeżeli dają się wykorzystać do proguzy, tj. do przewidywania przyszłości. Można tu wskazać na dwa rodzaje prognozy: ekstrapolacyjną i asocjacyjną.

Prognoza ekstrapolacyjna polega na tym, że jeżeli w wyniku diagnozy stwierdziliśmy, iż pewien stan x_1 w jakiejś chwili t_1 , uznanej przez nas za pierwszą, przeszedł w stan x_2 w drugiej chwili t_2 , to można przypuścić, że w trzeciej chwili t_3 wystąpi stan x_3 , różniący się od stanu x_2 w podobny sposób, w jaki stan x_2 różnił się od stanu x_1 . Na wykresie (rys. 30) przedstawia się to jako przedłużenie prostej, łączącej punkt odpowiadający stanowi x_1 z punktem odpowiadającym stanowi x_2 . Jak wiadomo, postępowanie takie nosi nazwę ekstrapolacji.

Przy podejmowaniu decyzji w jakimś problemie wartość ekstrapolacji polega na tym, że umożliwia ona stawianie prognozy na podstawie danych uzyskanych w tym samym problemie. Decyzję podejmujemy w zależności od tego, czy spodziewany stan przyszły odpowiada nam czy nie. Decyzje oparte na prognozie uzyskanej przez ekstrapolację będziemy nazywać decyzyjami ekstrapolacyjnymi.

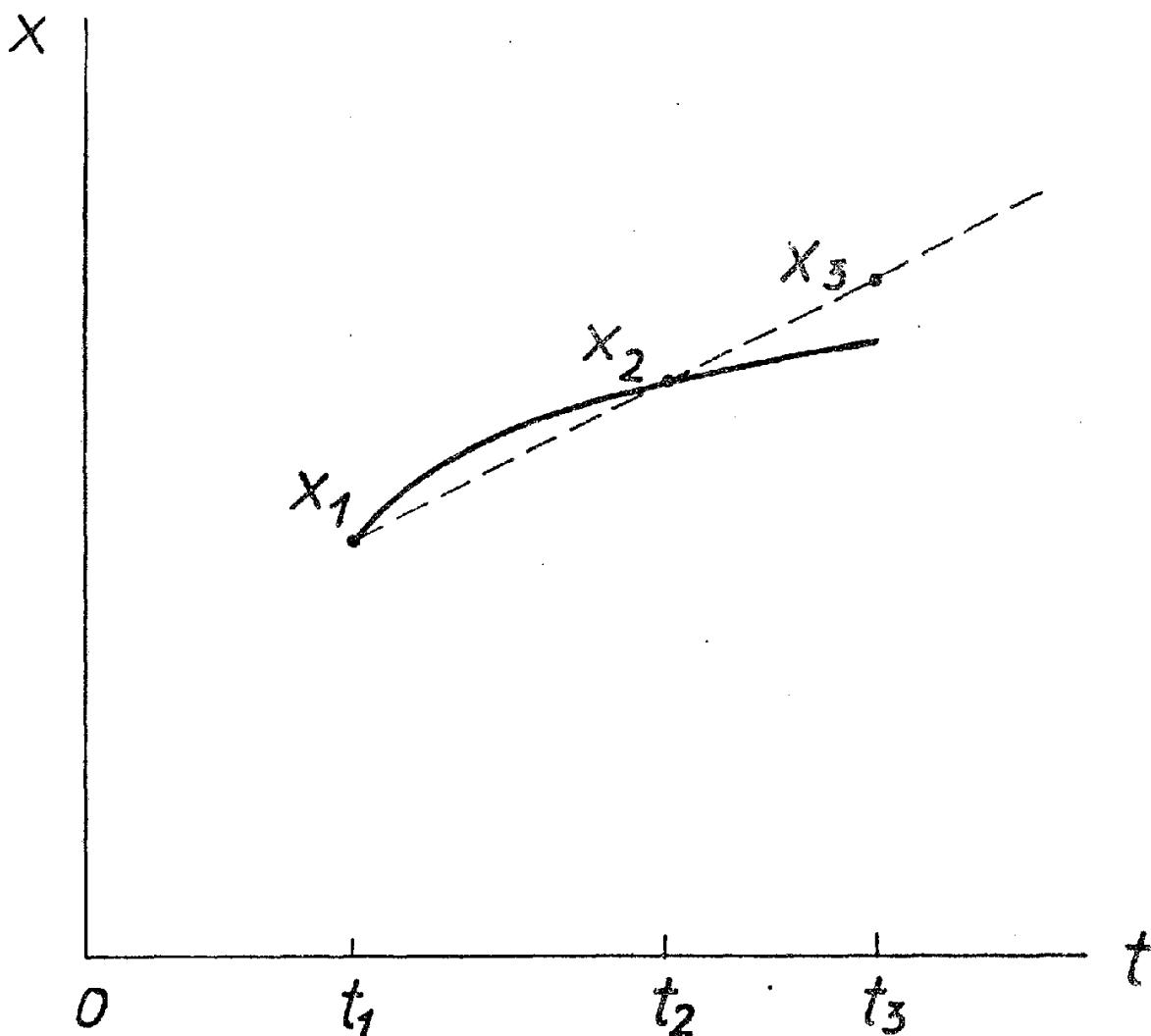
Oczywiście, trafność decyzji ekstrapolacyjnych zależy od trafności prognozy, która z kolei zależy od warunków przeprowadzenia ekstrapolacji. W braku podstaw do przyjęcia jakiegokolwiek innego przebiegu, przebieg prostoliniowy jest przyjmowany jako najprostszy. Jednakże rzeczywisty przebieg może się od niego różnić, i to nawet znacznie. Prognoza oparta na ekstrapolacji jest tym trafniejsza, im mniejszy jest odstęp czasu między szukanym stanem (x_3) a ostatnim znanim stanem (x_2), tym mniejsze jest bowiem prawdopodobieństwo nagłej zmiany przebiegu. Na rys. 30 przedstawiono przypadek, gdy rzeczywisty przebieg (krzywa ciągła) odchyla się od przebiegu założonego (prosta kreskowa). Odchylenie to jest znaczne, ale gdyby punkt x_3 znajdował się w pobliżu punktu x_2 , to miałoby ono niewielki wpływ na trafność prognozy.

Na przykład, zamierzając przejść przez drogę przed zbliżającym się samochodem dokonujemy odruchowo następującej ekstrapolacji: stan x_1 — odległość od samochodu w pierwszej chwili obserwacji, x_2 — odległość od samochodu w drugiej chwili obserwacji, x_3 — spodziewana odległość od samochodu w chwili przechodzenia przez drogę. Jeżeli dokonana w ten sposób prognoza wskaże, że odległość x_3 będzie dostatecznie duża, decydujemy się na przejście.

Podobnie, gdy przez szereg dni panują upały, decydujemy się pójść następnego dnia na plażę, przypuszczając na podstawie ekstrapolacji, że dzień ten również będzie upalny.

Niezależnie od odchyleń rzeczywistego przebiegu od prostoliniowego, sama ekstrapolacja może być wadliwie przeprowadzona i doprowadzić do błędnych decyzji, nawet gdyby odchyleń nie było. Wielu ludzi straciło życie pod pociągami i samochodami z tego powodu, że błędnie ekstrapolowali długość drogi, jaka zostanie przebyta przez te pojazdy.

Przyczyną błędnych decyzji ekstrapolacyjnych może być też pomijanie sprzążek zwrotnych występujących między parametrami problemu

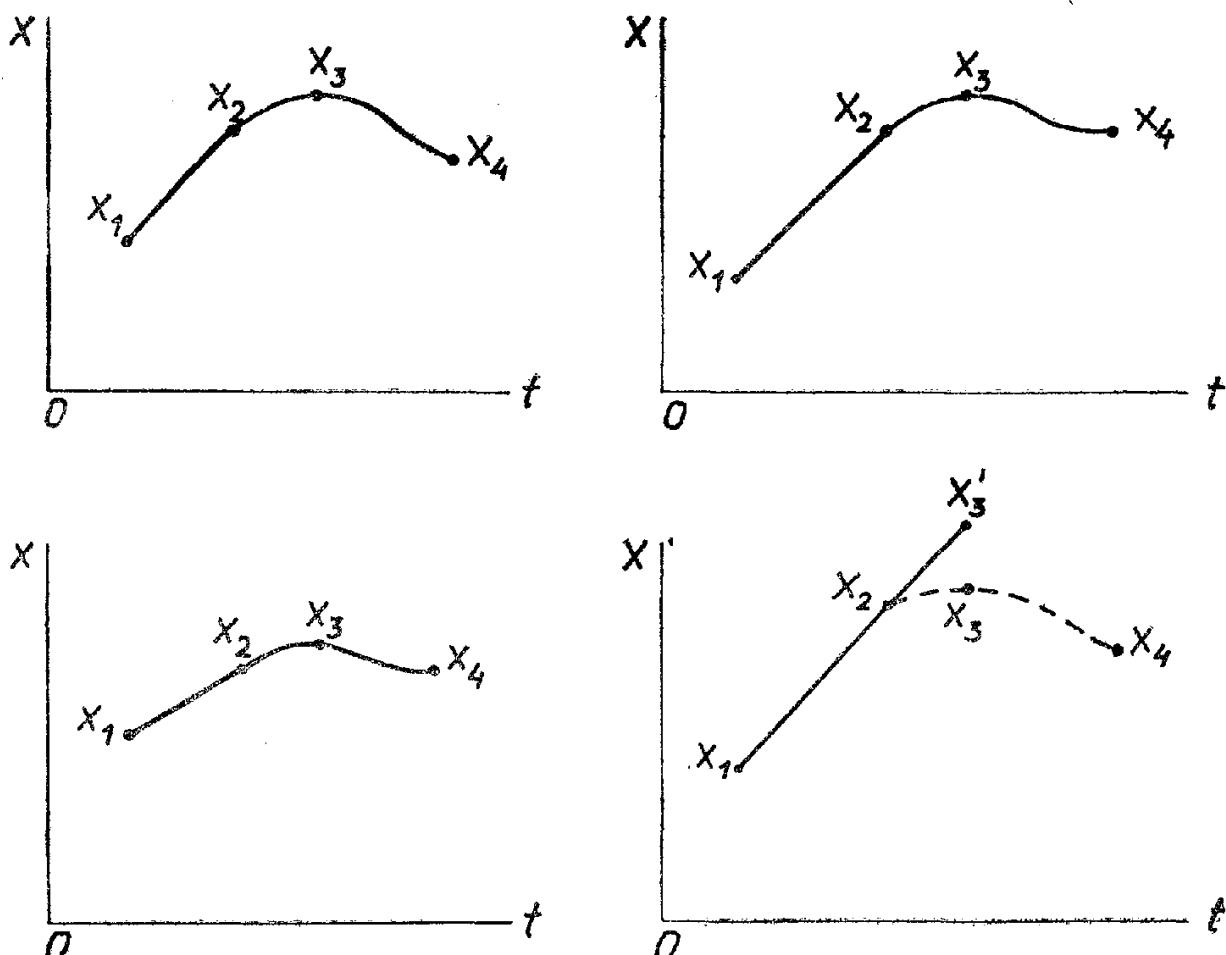


Rys. 30

a podjętymi decyzjami. Chodzi o to, że gdy na podstawie jakichś dwóch kolejnych stanów x_1 i x_2 określamy przez ekstrapolację kilka następnych stanów x_3, x_4, x_5 — w zamiarze podjęcia kilku kolejnych decyzji w odniesieniu do tych stanów — to może się okazać, że już pierwsza z tych decyzji spowoduje zmianę sytuacji tak, że chociaż stan x_3 został przewidziany bezbłędnie, to jednak stany x_4 i x_5 , będą odmienne od przewidywanych, a decyzje podjęte bez wzięcia tego pod uwagę okażą się błędne.

Na przykład, prognoza stopniowego wzrostu wydajności pracy, początkowo trafna, może się na dalszą metę okazać błędna, gdyż podjęte tymczasem decyzje, np. podwyższenie norm produkcyjnych, wpłyną zniechęcająco na pracowników.

Prognoza asocacyjna polega na przewidywaniu przyszłych stanów w jakimś problemie na podstawie znajomości odpowiadającym im stanów w innych problemach, podobnych do rozpatry-



Rys. 31

wanego. Decyzje oparte na prognozie asocjacyjnej będziemy nazywać decyzjami asocjacyjnymi.

Wiedząc, jak przebiegały kolejne stany w problemach pewnego typu, można się spodziewać, że i w rozpatrywanym problemie tego samego typu będą one mieć podobny przebieg.

Zasadę prognozy asocjacyjnej przedstawia rys. 31. Diagnoza wykazała, że w trzech zaobserwowanych problemach pewna wielkość x , w zależności od czasu t , wzrosła najpierw prostoliniowo, od stanu x_1 do stanu x_2 , następnie wzrosła coraz wolniej, osiągnęła maksimum x_3 , po czym zaczęła maleć i wreszcie ustaliła się na poziomie x_4 . Jeżeli na podstawie jakichś okoliczności można przypuszczać, że czwarty problem należy do tego samego typu, a zaobserwowany już przebieg od stanu x_1 do x_2 zdaje się to przypuszczenie potwierdzać, to można się spodziewać wystąpienia stanów x_3 i x_4 , podobnie jak w poprzednich trzech problemach. Zastosowanie ekstrapolacji doprowadziłoby tu do prognozy błędnej.

Do podjęcia decyzji asocjacyjnej trzeba więc zebrnąć informacje o przebiegach w różnych problemach przeszłych, wybrać z nich problemy po-

dobne, a w szczególności mające przebiegi początkowe podobne do przebiegu początkowego w rozpatrywanym problemie, i na tej podstawie dokonać prognozy asocjacyjnej przyszłych stanów tego problemu. Odpowiednio do tych stanów nastąpi podjęcie decyzji.

Trudność podejmowania decyzji asocjacyjnych polega na upewnianiu się, czy rzeczywiście mamy do czynienia z problemem podobnym do problemów tego typu, o którym zebraliśmy informacje. Im więcej szczegółów jest zbieżnych, tym większe jest prawdopodobieństwo, że chodzi o problem tego samego typu. W najgorszym razie można się dopatrywać podobieństwa na podstawie samego tylko przebiegu początkowego tej wielkości, dla której stawiamy prognozę. Ryzyko popełniania błędu jest tym mniejsze, im bardziej szczególny, a więc im rzadziej spotykany jest ten początkowy przebieg.

Na przykład, wnoszenie o rodzaju choroby pacjenta tylko na podstawie wzrostu temperatury ciała byłoby zawodne, gdyż mnóstwo chorób charakteryzuje się tym objawem.

Większość decyzji samorodnych jest podejmowana na takiej samej zasadzie jak decyzje asocjacyjne. Różnica polega na tym, że w podejmowaniu decyzji asocjacyjnych dopiero po pojawienniu się problemu szuka się informacji o podobnych problemach przeszłych, podczas gdy w decyzjach samorodnych niektóre informacje tego rodzaju już się ma.

Dzięki prognozom asocjacyjnym zadecydowano, od którego roku życia dzieci powinny chodzić do szkoły, od którego roku życia można zawrzeć małżeństwo i w którym roku życia należy pójść na emeryturę. Na podstawie prognozy asocjacyjnej ludzie, którzy przeżyli pierwszą wojnę światową, wiedzieli na początku drugiej, że w szybkim tempie zdrożają tłuszcze i skórę. Nie na czym innym opierają się również rozmaite mądrości ludowe.

7.4. DECYZJE PROBIERCZE

W rozmaitych sytuacjach może się okazać, że potencjał korelacyjny jest zbyt mały do wywołania mocy korelacyjnej wystarczająco dużej do tego, żeby potencjał estymacyjny przekroczył potencjał decyzyjny, i że stan taki nie ulega zmianie nawet po wielu obiegach korelacyjnych. Są to takie sytuacje, w których trzeba podjąć decyzję, ale nie wiadomo jaką. Jeżeli decydujący nie może podjąć decyzji odruchowej, z powodu braku nawyków wobec niezwykłości sytuacji, ani decyzji intuicyjnej, z powodu braku odczucia jak należy postąpić, ani też decyzji refleksyjnej, z powodu nieznalezienia dostatecznie zachęcającego rozwiązania, nawet po długich rozważaniach, to do podjęcia decyzji w ogóle nie dochodzi.

Najczęściej dzieje się tak wskutek braku informacji o skutkach różnych rozpatrywanych decyzji. O tym, jakie skutki dałaby jakaś decyzja,

można się jednak przekonać przez podjęcie tej decyzji. Wykorzystanie otrzymanych w ten sposób informacji do podjęcia następnej decyzji jest przejściem od decyzji samorodnych do decyzji opartych na eksperymencie i obserwacji jego skutków. Jak widać, do podejmowania takich decyzji potrzebny jest udział otoczenia.

Jeżeli jakaś decyzja spowodowała skutki niepożądane, to informacja o tym stanowi rejestrat zmieniający rozkład przewodności koreacyjnej. Decyzja powstająca po takiej zmianie byłaby inna niż przed zmianą.

Nie daje to wprawdzie pewności, że ta następna decyzja będzie trafna, ale przynajmniej pozwala tym razem uniknąć złych skutków, jakie dałoby powtórzenie pierwszej decyzji. W razie nietrafności i tej decyzji, można podjąć jeszcze inną decyzję, itd. Decyzje, podejmowane w celu uzyskania informacji co do ich trafności, są decyzjami prób iereczymi. Działanie spowodowane decyzją probierczą jest próbą.

Rzecz jasna, w przypadkach, gdy już pierwsza decyzja probierczą okaże się trafna, nie zachodzi potrzeba podejmowania dalszych decyzji probierczych — pierwsza i jedyna próba staje się zarazem działaniem prowadzącym do celu. Postępowanie oparte na podejmowaniu decyzji probierczych jest nieprzydatne w sytuacjach dopuszczających tylko decyzję jednokrotną. Na przykład, żołnierzowi, który zginął od wybuchu miny, na nic nie może się przydać zdobyta w ten sposób informacja, że teren, na który zdecydował się wejść, jest zaminowany. Podobnie może być z człowiekiem, który objadł się nie znymi sobie grzybami, aby się przekonać, czy nie są one trujące. Niemniej, z uzyskanych w taki sposób informacji mogą skorzystać inni. Bez związanego z tym ryzyka nie byłoby możliwe osiągnięcie wielu doniosłych celów w rozwoju nauki i techniki. Wystarczy wspomnieć tych śmiałków, którym jako pierwszym udało się przelecieć Atlantyk samolotem, bądź przepływać go łodzią.

W wielu jednak sytuacjach podjęcie decyzji probierczej, która okazała się nietrafna, bynajmniej nie wyklucza możliwości podejmowania następnych decyzji probierczych przez tych samych sprawców. Na przykład, wiedząc w którym budynku mieszka poszukiwana przez nas osoba, ale nie znając numeru jej mieszkania, możemy kolejno odwiedzać poszczególne mieszkania, aż ją odnajdziemy.

Istnieje kilka rodzajów decyzji probierczych.

Najprościej jest podejmować je jako decyzje wyrywkowe, tj. nie powiązane ze sobą decyzje intuicyjne. Potocznie określa się to jako postępowanie *na chybil trafil*.

Decyzje wyrywkowe mają taki mankament, że w bardziej skomplikowanych sytuacjach trudno uniknąć zbędnego ich powtarzania. Ludzie, którym zdarzyło się zabłądzić w rozległym lesie, podziemiach itp., wiedzą, że w poszukiwaniu wyjścia powraca się, wskutek dezorientacji, po kilka razy do tych samych miejsc.

Można tego uniknąć przez podejmowanie decyzji systematycznych, tj. decyzji probierczych o czasie przewidzianej kolejności, aż do chwili, gdy któraś z kolejnych decyzji okaże się trafna. Pierwsza z tych decyzji jest decyzją intuicyjną, pozostałe zaś wynikają z obranego systemu.

Stosowanie decyzji systematycznych bynajmniej nie daje pewności dojścia do celu szybciej niż przy stosowaniu decyzji wyrywkowych.

Zmniejszenie liczby kolejnych decyzji probierczych jest możliwe dopiero przy zastosowaniu decyzji metodycznych, tj. opartych na metodzie prób i błędów. Jednakże postępowanie takie jest możliwe tylko w przypadkach, gdy nietrafność poprzednich decyzji probierczych dostarcza wskazówek, na których można się już oprzeć przy podejmowaniu następnych decyzji probierczych. Istotę metody prób i błędów najlepiej objasnia gra dziecięca znana pod nazwą *zimno-ciepło*, polegająca na poszukiwaniu ukrytego przedmiotu, przy czym uczestnicy wołają *zimno*, jeżeli szukający oddala się od miejsca, w którym przedmiot jest ukryty, a *ciepło*, gdy zbliża się do tego miejsca. Decyzje metodyczne są decyzjami intuicyjnymi o coraz bardziej zmniejszającym się zakresie.

W celu porównania omawianych trzech rodzajów decyzji probierczych rozpatrzmy kilka przykładów.

Przypuśćmy, że na półkach bibliotecznych znajdują się książki obłożone papierem jednakożego koloru, bez żadnych napisów na zewnątrz. Jak znaleźć wśród nich książkę szukaną?

Możemy sięgnąć po dowolną książkę, a jeśli nie trafimy, to sięgniemy po jakąś inną, itd. Będzie to podejmowanie decyzji wyrywkowych. Prawdopodobnie za którymś razem trafimy na książkę szukaną, ale może się też okazać, że książkę tę jakoś omijaliśmy, a sięgaliśmy po wiele innych, niekiedy parę razy po te same.

Zamiast tego możemy sięgać po książki kolejno, tj. podejmować decyzje systematyczne. Postępowanie takie może być przewlekłe, gdy okaże się, że obraliśmy niefortunny system (np. rozpoczęliśmy poszukiwania od najwyższej półki, a szukana książka znajdowała się na najniższej), ale daje ono pewność, że unikniemy zbędnego powtarzania decyzji i że wreszcie znajdziemy szukaną książkę.

Przypuśćmy, że książki są ponumerowane (z tym, że do odczytania numeru trzeba książkę zdjąć) i ułożone według numerów, ale nie wiemy, czy w kierunku od górnego do dolnego, czy przeciwnie, ani też czy jakichś numerów nie brakuje. Szukaną książkę możemy znaleźć podejmując decyzje metodyczne. Na przykład, jeżeli szukamy książki nr 58, a książka, po którą najpierw sięgnęliśmy, ma nr 49, inna zaś książka, po której potem sięgnęliśmy, ma nr 32, to z tego wynika, że oddalamy się od poszukiwanej książki. Wobec tego, po trzecią książkę sięgniemy idąc w przeciwnym kierunku. Jeżeli okaże się, że ma ona nr 51, to z okoliczności, że tym razem zbliżyliśmy się do szukanej książki

nr 58, uzyskujemy informację, że ten nowy kierunek jest prawidłowy, a więc należy się go nadal trzymać. Przypuśćmy, że czwarta książka ma nr 65. Oznacza to, że poszliśmy za daleko, należy się więc nieco cofnąć.

Podejmując w podobny sposób jeszcze kilka decyzji probierczych, dochodzimy wreszcie do szukanej książki.

Jak widać z powyższego przykładu, podejmowanie decyzji metodycznych jest postępowaniem skuteczniejszym od postępowania opartego na decyzjach wyrywkowych i decyzjach systematycznych, ale było ono możliwe dzięki temu, że książki były rozmieszczone według pewnej zasady.

Podobnie przy szukaniu jakiegoś wyrazu w słowniku możemy zaglądać w rozmaite miejsca w nadziei, że uda nam się trafić na szukany wyraz (decyzje wyrywkowe), bądź odczytywać kolejno wyraz po wyrazie, aż dojdziemy do wyrazu szukanego (decyzje systematyczne), bądź też oprzeć poszukiwania na alfabetycznej kolejności wyrazów w słowniku, dzięki czemu każda próba dostarczy nam informacji, czy zbliżamy się do celu czy też się od niego oddalamy (decyzje metodyczne).

Niektórzy ludzie grając na loterii naiwnie sobie wyobrażają, że można jakimiś metodami zwiększyć szanse wygranej. Podejmowanie decyzji metodycznych jest tu niemożliwe, ponieważ między numerami poszczególnych losów loteryjnych nie ma żadnego związku. Z faktu, że na los o jakimś numerze nie padła żadna wygrana, wcale nie wynika, czy kupując następny los powinniśmy wybrać numer wyższy, czy niższy. Nie wchodzą tu w grę nawet decyzje systematyczne, np. nabycie losów o tym samym numerze, o numerach kolejnych itp., ponieważ z nietrafnością którejkolwiek z nich nie wynika, że będzie ona nietrafna również za drugim razem.

W rezultacie można podejmować tylko decyzje wyrywkowe. Ponieważ po każdym ciągnieniu wszystko rozpoczyna się od nowa, więc wszelkie *systemy* w dobieraniu numerów przez graczy stwarzają jedynie pozór decyzji systematycznych, podczas gdy w rzeczywistości są to na całym świecie decyzje wyrywkowe.

Wiele zarządzeń gospodarczych ma charakter decyzji probierczych. Gdy któraś z nich okaże się nietrafna, następuje się ją inną decyzją, itd.

Im dłuższy jest czas, upływający od podjęcia decyzji do okazania się jej skutków, tym większe są szkody spowodowane nietrafnością decyzji i tym bardziej uchwytnie, ponieważ tymczasem podjęto wiele decyzji w innych pokrewnych sprawach, nie sposób więc ustalić, jaką rolę odegrały poszczególne decyzje w wywołaniu jakiegoś skutku. W zasadzie są one decyzjami wyrywkowymi.

Natomiast gdy skutki decyzji ujawniają się szybko, wówczas łatwiej jest stwierdzić, które skutki przez które decyzje zostały spowodowane, i przez podjęcie trafniejszej decyzji przerwać ujemne oddziaływanie poprzedniej, nietrafnej decyzji.

Jako przykład nietrafnej decyzji o szybko ujawnionych skutkach można przytoczyć wydane około dziesięciu lat temu zarządzenie w sprawie wyjazdów służbowych, nakazujące, żeby klasa biletu kolejowego rzeczywiście wykupionego przez delegowanego była poświadczana w kasie kolejowej. Zarządzenie to doprowadziło już w ciągu kilku dni do takiego stanu rzeczy, że za drobną „opłatą” kasjerzy wydając bilet niższej klasy poświadczali wykupienie biletu wyższej klasy. Pochodzące z tego nielegalnego źródła dodatkowe zarobki kasjerów stały się tak wielkie, że doprowadziło to do zaburzeń wśród personelu kolejowego, w związku z czym zarządzenie musiało być szybko cofnięte.

Przykładem podejmowania serii wielu kolejnych decyzji z powodu nietrafności poprzednich decyzji są ustawicznie wprowadzane u nas zmiany taryfy celnej. Po każdej zmianie pomysłowość osób wyjeżdżających za granicę wynajduje nowe możliwości przewozu towarów w celach handlowych, czemu władze celne starają się zapobiec, wydając następne zarządzenie.

Jako przykład decyzji, których skutki ujawniają się dopiero po długim czasie, są zmiany programów nauczania w szkołach. Lata muszą upłynąć, zanim w wykonywaniu jakiegoś zawodu ujawnią się braki pochodzące jeszcze z czasów szkolnych.

Omawiane sprawy mają zasadnicze znaczenie dla umiejętności zarządzania. Od najdawniejszych czasów rządzący uważały, że umiejętność podejmowania trafnych decyzji polega na szczególnym talencie, co praktycznie oznacza, że ograniczali się oni po prostu do podejmowania decyzji przeważnie intuicyjnych, bądź do podejmowania decyzji probierczych, z reguły wyrywkowych.

Obecnie z rozwojem naukowego traktowania problemów zarządzania, wielu zarządzającym wydaje się, że przejście od decyzji wyrywkowych do decyzji metodycznych jest przejawem unowocześnienia techniki zarządzania według hasła: *uczymy się na błędach*. Decyzje metodyczne są niewątpliwie postępem w porównaniu z decyzjami wyrywkowymi, ale w obecnym stanie nauki nawet decyzje metodyczne są już prymitywnym sposobem zarządzania. Zanim przejdziemy do najnowszych osiągnięć techniki zarządzania, omówimy wady decyzji metodycznych, tj. opartych na metodzie prób i błędów.

Po pierwsze, metoda prób i błędów jest przewlekła. Wynika to z okoliczności, że aby podjąć następną (trajniejszą) decyzję na podstawie obserwacji skutków poprzedniej (mniej trajnej) decyzji, trzeba dopuścić do upływu czasu potrzebnego na powstanie tych skutków i na ich obserwację. Czas ten jest tym dłuższy, im więcej czynników występuje w sytuacji wymagającej podjęcia decyzji. Najczęściej sytuacja ulegnie zmianie, zanim będzie można podjąć następną decyzję, a wówczas wnioski wyciągnięte ze skutków poprzedniej decyzji stają się bezwartościowe. W rezultacie, decyzje probiercze zamierzane jako decyzje metodyczne są tylko decyzjami wyrywkowymi.

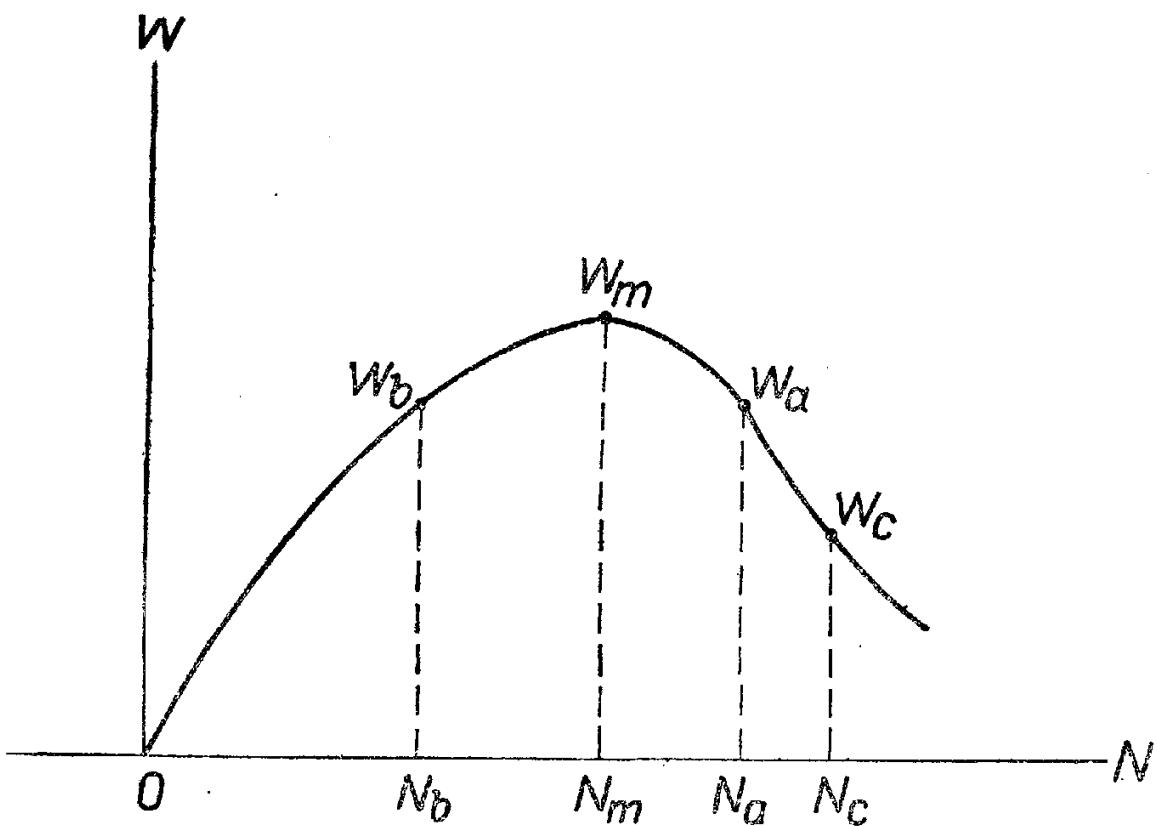
P o d r u g i e, początkowe decyzje metodyczne, jako nie dość trafne lub zgoła błędne, powodują straty materialne, i to tym większe, im dłuższy jest czas między kolejnymi decyzjami.

P o t r z e c i e, nietrafność decyzji metodycznych jest demoralizująca. Najbardziej uwydatnia się to przy ustalaniu norm produkcyjnych w przemyśle. W razie ustalenia norm zbyt niskich w jakimś zakładzie, zarobki robotników są o wiele wyższe od przeciętnych, co skłania robotników z innych zakładów do żądań obniżenia im norm. Jeżeli ustalić normy zbyt wysokie, robotnicy przestają się wytężać, widząc że postawiono im wymagania nierealne, i przenoszą się do zakładów o mniej wyśrubowanych normach. Przejście od norm niższych do wyższych wywołuje niezadowolenie robotników, gdyż obniża ich zarobki. Częste zmiany norm wprowadzane w celu znalezienia norm najwłaściwszych, wywołują u robotników przeświadczenie, że dyrekcja składa się z osób niefachowych, które nie wiedząc, co jest technicznie realne a co nie, czekają na okazje obniżenia robotnikom zarobków. Konsekwencją tego jest znane zjawisko, że w zakładach o dość niskich normach, robotnicy nie starają się ich zbytnio przekraczać wiedząc, że na razie dałoby im to większy zarobek, ale spowodowałoby wkrótce podwyższenie norm, po czym robotnicy zwiększymi wysiłkiem zarabialiby tyle, ile obecnie zarabiają przy mniejszym wysiłku.

P o c z w a r t e, przy podejmowaniu następnej decyzji zarządzający zwykle zauważa nie najważniejsze lecz tylko najwyraźniejsze i najwcześniejsze skutki poprzedniej decyzji, co nieraz prowadzi do pogorszenia, zamiast do poprawy sytuacji. Tak na przykład, po stwierdzeniu, że niektóre osoby w celach handlowych wysyłają książki za granicę, zarządzono, żeby książki były zaopatrywane w adnotację, że są wysyłane jako dar nie przeznaczony do sprzedaży. Ilość wysyłanych książek sprawdziła zmalała, ale kosztem znacznego strat propagandowych, odcięto bowiem w ten sposób dopływ książek polskich tam, dokąd nie docierają one za pośrednictwem instytucji handlowych. Trzeba było cofnąć wspomniane zarządzenie, a prywatne tendencje handlowe ograniczać raczej opłatami celnymi.

P o p i ą t e, stosowanie metody prób i błędów może doprowadzić do tego, że przechodząc od jednej decyzji do drugiej minie się maksimum (nie wiedząc o tym) i wyciągnie zupełnie fałszywe wnioski.

Przypuśćmy, że przy pewnym nakładzie N_a osiągnieliśmy wynik W_a (rys. 32), naszym zdaniem, zbyt mały. Wobec tego podejmujemy decyzję zmniejszającą nakład N_a do nakładu N_b . Stwierdziwszy, że otrzymany przy tym wynik W_b jest mniejszy od wyniku W_a poprzedniej decyzji, cofamy się z tej drogi i zwiększamy nakład przechodząc do nakładu N_c . Okazuje się, że i tym razem otrzymany wynik W_c jest równie zły jak równie zły jest wynik W_b . Ponieważ zmiany w obu kierunkach dają złe wyniki, tracimy orientację, co należy robić. Błąd polega na tym, że dokonaliśmy zbyt dużej zmiany z N_a na N_b . Przy mniejszej zmianie



Rys. 32

a mianowicie z N_a na N_m otrzymalibyśmy najlepszy możliwy wynik W_m . Omawiany błąd znany jest pod ironiczną nazwą *przeginania pały* — podejmuje się przeciwnostne decyzje, a rezultaty są ciągle złe.

I wreszcie po szóste, metoda prób i błędów prowadzi z reguły do szkodliwych skutków w przypadkach występowania wielu maksimów. Zjawisko, o które tu chodzi, jest objaśnione na rys. 33.

Przypuśćmy, że przy pewnym nakładzie N_a otrzymujemy pewien wynik W_a , przy czym nie wiemy, czy wynik ten jest najlepszy z możliwych. Kierując się metodą prób i błędów podejmujemy decyzję zmieniającą nakład N_a na jakiś inny, np. N_b , i obserwujemy skutki tej decyzji, aby się przekonać, czy jest ona trafna. Jak widać z rys. 33, zwiększenie nakładu z N_a do N_b spowodowało zmniejszenie wyniku z W_a do W_b , a więc pogorszenie. Nasuwa się wniosek, że podjęliśmy decyzję błędową. Wobec tego cofamy się z tej drogi i podejmujemy następną decyzję odwrotną do poprzedniej: zmniejszamy nakład do N_c . Stwierdzamy, że decyzja ta jest trafna, gdyż wynik wzrósł do W_c . Idąc dalej po tej drodze możemy jeszcze zwiększyć wynik, a nawet dojść do maksymalnego wyniku W_m , jaki otrzymuje się przy nakładzie N_m . Dzięki zastosowaniu metody prób i błędów osiągnęliśmy poprawę sytuacji, a nawet zdołaliśmy ustalić, przy jakim nakładzie otrzymuje się maksymalny wynik, mamy więc powody do zadowolenia. Tymczasem,

jak widać z rys. 33, nie ma się z czego cieszyć, bo gdybyśmy, pomimo zmniejszenia wyniku z W_a do W_b przy wzroście nakładu z N_a do N_b , zwiększały nakład w dalszym ciągu aż do N_z , to otrzymalibyśmy wynik optymalny W_z o wiele większy od wyniku W_m . Metoda prób i błędów okazała się tu zawodna z powodu występowania dwóch maksimów: małego maksimum W_m i dużego maksimum W_z . Zmniejszenie się wyniku z W_a do W_b przy początkowych decyzjach metodycznych zludziło nas, że idziemy w niewłaściwą stronę, podczas gdy w rzeczywistości zbliżaliśmy się do przegięcia krzywej, które należało minąć, aby dostać się do dużego maksimum W_z .

Można przytoczyć wiele przykładów tego rodzaju zawodności metody prób i błędów. Wielu pacjentów zwleka z leczeniem zębów, ponieważ wizyta u dentysty zwiększa ból, a dopiero potem następuje rzeczywista poprawa. Ktoś, kto mając niższe wykształcenie nie podejmuje niskokwalifikowanego zatrudnienia lecz kształci się dalej, rezygnuje przez to na razie z możliwości zarobkowania, aby za to później zarabiać więcej. Zanim przedsiębiorstwo zacznie produkować z zyskiem, musi przedtem ponieść nakłady na inwestycje. Sportowiec biegający złym stylem i nawet odnoszący przy tym niejakie sukcesy musi się liczyć z tym, że w okresie przedstawiania się na właściwy styl będzie miał przejściowo jeszcze gorsze wyniki, itp.

W przytoczonych przykładach chodziło o decyzje, które się samemu i na własne ryzyko podejmuje w nadzieję, że po przejściowym pogorszeniu dojdzie się do stanu możliwie najlepszego. W procesach zarządzania jednak rządzący podejmuje takie decyzje za rządzonej i na jej ryzyko, wzywając ich do ofiarności na okres przejściowy, po którym dopiero ma nastąpić istotna poprawa. Jeżeli obiecana poprawa z jakichś przyczyn nie nastąpi, rządzący czuje się oszukany i zawiedziony, a w następnych decyzjach tego rodzaju pozostaje głuchy na apele do jego ofiarności.

7.5. DECYZJE OPTYMALIZACYJNE

Zarządzanie jest pewną techniką, której opanowanie — oprócz zdolności — wymaga rozległej wiedzy. W związku z tym rozwija się żywiołowo teoria decyzji oparta na analizie procesów optymalizacji, nazywana często badaniem operacyjnym. Decyzje podejmowane na podstawie badań operacyjnych będziemy nazywać decyza mi optymalizacyjnymi.

Często można się spotkać z pomieszaniem pojęć *optymalny* i *maksymalny* (lub *minimalny*). Aby zapobiec nieporozumieniom objaśnimy te pojęcia na przykładzie.

Pewne przedsiębiorstwo ponoszące straty wskutek niedbalstwa pracowników wykonujących wyroby nie nadające się do sprzedaży, itp.,

postanowiło zatrudnić kontrolerów w celu zmniejszenia tych strat. Przypuśćmy, że w zależności od liczby kontrolerów straty miesięczne wynoszą następujące kwoty:

liczba kontrolerów	straty w zł
1	32.000
2	16.000
4	8.000
8	4.000

Zdawałoby się, że przedsiębiorstwo to powinno zatrudniać jak najwięcej kontrolerów, aby straty stały się bliskie zeru. Kontrolerzy jednak muszą otrzymywać wynagrodzenie; przypuśćmy, że wynosi ono 2.000 zł miesięcznie. Im więcej będzie kontrolerów, tym większe będą straty przedsiębiorstwa z tytułu ich wynagrodzeń, a mianowicie:

liczba kontrolerów	wynagrodzenie w zł
1	2.000
2	4.000
4	8.000
8	16.000

Wobec tego suma strat wyniesie:

liczba kontrolerów	suma strat w zł
1	34.000
2	20.000
4	16.000
8	20.000

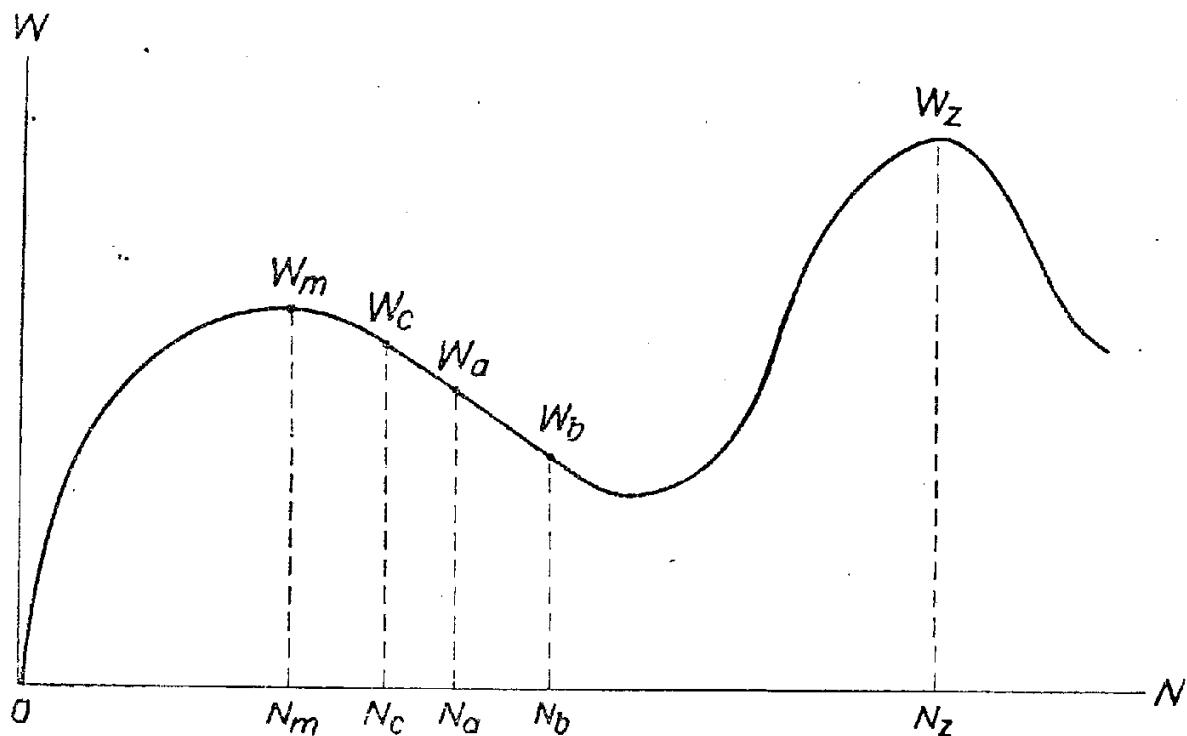
Wykres zależności łącznych strat S od liczby kontrolerów n jest podany na rys. 34.

Jak widać, najmniejsze straty $S_{\min} = 16.000$ zł uzyskuje się przy liczbie kontrolerów $n_{opt} = 4$. Jest to optymalna liczba kontrolerów.

Ogólnie można powiedzieć, że celem optymalizacji jest spełnienie wymagania, żeby pewna wielkość była maksymalna (gdy chodzi o korzyści) bądź minimalna (gdy chodzi o straty). W związku z tym należy dobrać inną wielkość tak, żeby była ona optymalna, tj. żeby dzięki niej było spełnione wymienione powyżej wymaganie.

Mówiąc matematycznie, jeżeli zmienna niezależna będzie optymalna, to wtedy zmienna zależna będzie maksymalna bądź minimalna. Badania operacyjne zmierzają właśnie do znajdowania wielkości optymalnych w problemach, w których chodzi o osiągnięcie określonego celu w największym możliwym stopniu. Znalezienie wielkości optymalnej jest optymalizacją problemu.

Badania operacyjne najpierw znalazły zastosowanie w wojskowości (skąd też pochodzi ich nazwa), do zadań lotniczego bombardowania



Rys. 33

obiektów przemysłowych nieprzyjaciela, zwalczania nieprzyjacielskich łodzi podwodnych, organizowania konwojów morskich itp.

Wymaganie optymalności często występuje również w decyzjach samorodnych (zwłaszcza refleksyjnych) ale przy ich podejmowaniu brane są pod uwagę tylko warianty wynikające z rejestratorów istniejących już w korelatorze zarządzającego.

Pewnym ulepszeniem decyzji samorodnych jest poprzedzanie ich naradami, których uczestnicy wnoszą dodatkowe warianty, mogące wpływać na decyzję zarządzającego. Wartość optymalizacyjna narad jest jednak niewielka, gdyż liczba wariantów wnoszona przez uczestników jest również ograniczona, a przy tym każdy uczestnik stara się unikać proponowania rozwiązań niepopularnych, tj. odbiegających od poglądów pozostałych uczestników. W rezultacie narady służą zarządzającemu nie tyle do znalezienia rozwiązania optymalnego, ile do uzyskania poparcia dla decyzji, jaką zamierzał on podjąć jeszcze przed zwołaniem narady. Nawet jeżeli podczas narady zarządzający zmieni pogląd i będzie skłonny podjąć nie taką decyzję jaką zamierzał, lecz taką jaką proponują uczestnicy narady, to zazwyczaj nie z przeświadczenia o trafności propozycji lecz w celu rozłożenia odpowiedzialności na doradców w razie niepomyślnych skutków uzgodnionej z nimi decyzji.

Decyzje optymalizacyjne różnią się od innych decyzji tym, że są przygotowywane nie przez samych zarządzających lecz przez specjalistów z zakresu techniki podejmowania decyzji. Posługując się metodami naukowymi, przeważnie zmatematyzowanymi i ewentualnie wy-

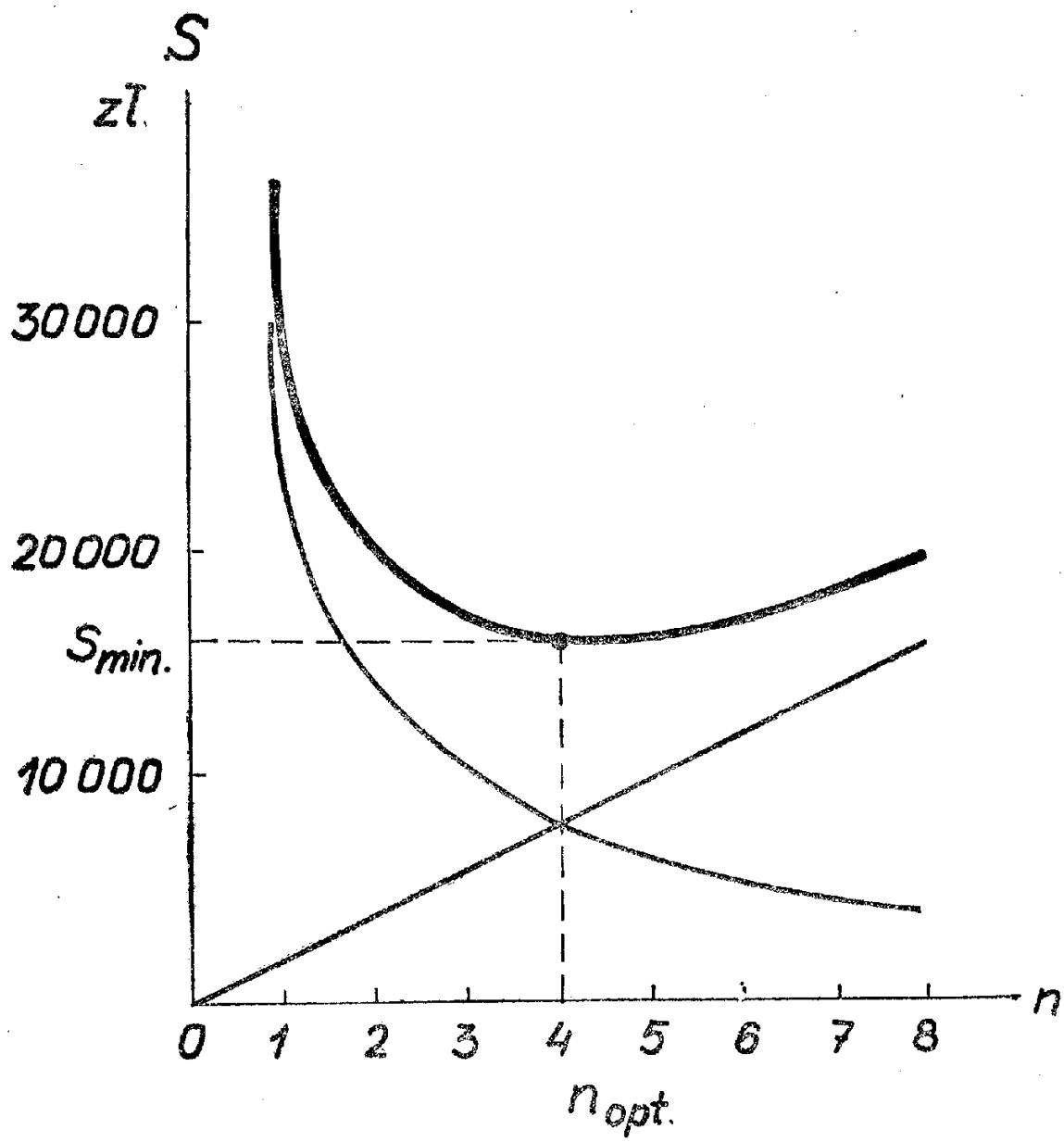
magającymi zastosowania maszyn matematycznych, znajdują oni rozwiązania optymalne. Dla zarządzającego stanowi ono przeświadczenie, nie wytworzone jednak w jego własnym korelatorze w wyniku obiegów refleksyjnych, lecz doprowadzone do niego z zewnątrz. W związku z tym podjęcie decyzji optymalizacyjnej przez zarządzającego sprowadza się jedynie do akceptacji zaproponowanego rozwiązania (lub do jego odrzucenia, ale to staje się podjęciem decyzji samorodnej, a nie decyzji optymalizacyjnej).

Można by sądzić, że zarządzający, których rola polega jedynie na wypowiadaniu słowa *tak*, gdy otrzymają od specjalistów rozwiązanie problemu optymalizacyjnego, stają się po prostu zbyteczni. Na razie tak jednak nie jest, ponieważ, zanim specjaliści rozwiązają problem optymalizacyjny, problem ten musi być im postawiony, i to właśnie przez zarządzającego. Przy obecnym stanie teorii i techniki podejmowania decyzji, rozwiązania problemów optymalizacyjnych uzyskuje się ze znaczną niezawodnością i w coraz większym zakresie. Dlatego też coraz ważniejsze i coraz trudniejsze (w porównaniu z przebiegiem rozwiązania) staje się samo stawianie problemów. Cel wskazany w problemie optymalizacyjnym może zostać osiągnięty, ale użyteczność otrzymanego rozwiązania będzie zależeć od tego, czy został wskazany właściwy cel.

Wyobraźmy sobie na przykład, że został postawiony problem uprzemysłowienia całego kraju, przy czym jako cel wskazano osiągnięcie maksymalnej rentowności. Przypuśćmy następnie, że specjaliści zajmujący się tym problemem przedstawią rozwiązanie, w którym przewiduje się obniżenie zarobków wszystkich pracowników do poziomu zapewniającego jedynie utrzymanie się przy życiu. Zarządzający odrzuciłby takie rozwiązanie jako niehumanitarne, specjaliści jednak mogliby wysunąć zarzut, że zarządzający, stawiając przed nimi problem, nie wskazał na ten warunek. Przypuśćmy dalej, że po jego uwzględnieniu specjaliści przedstawili nowe rozwiązanie, przewidujące znaczną redukcję pracowników, zwłaszcza mniej wykwalifikowanych i będących w podeszłym wieku. Zarządzający odrzuciłby i to rozwiązanie, jako prowadzące do bezrobocia.

I znów specjaliści wysunęliby zarzut, że i ten warunek nie został im podany.

Przypuśćmy, że przedstawią oni trzecie z kolei rozwiązanie, przewidujące koncentrację całego przemysłu w regionach o największym skupieniu surowców, sieci kolejowej i drogowej, wykształconej ludności itp. Również i to rozwiązanie zarządzający musiałby odrzucić, jako pogłębiające zaniedbanie pozostałych regionów. Tego rodzaju dialog między zarządzającym stawiającym problemy optymalizacyjne a rozwiązymi je specjalistami mógłby trwać dalej, np. gdyby się okazało, że czwarte rozwiązanie prowadzi do zaniedbania obronności kraju, piąte rozwiązanie przewiduje przemysłową eksploatację rezerwatów przyrody, likwidację uzdrowisk itp.



Rys. 34

Trudności tego rodzaju wynikają z okoliczności, że każdy problem optymalizacyjny jest wycinkiem rzeczywistości. Zakreślając granice problemu pomija się sprzężenia zwrotne między tym wycinkiem a całą resztą. Rzec w tym, że pomija się te sprzężenia w samym rozwiązyaniu problemu, natomiast nie przestają one istnieć w rzeczywistości i mogą sprawić, że rozwiązanie problemu, optymalne pod względem celu wskazanego w problemie, spowoduje pogorszenie sytuacji pod innymi względami.

W omówionym powyżej przykładzie problemu uprzemysłowienia kraju, dialog między zarządzającym a specjalistami prowadził do coraz szerszego traktowania problemu. Idąc po tej drodze dalej doszłibyśmy do postawienia problemu: jak zoptymalizować życie całego kraju przy

uwzględnieniu wszelkich okoliczności. Byłby to wówczas jedyny problem do rozwiązania. Ale tak postawiony problem jest we wszystkich krajach dobrze znany i to od dawna. Niestety, wskutek jego złożoności nie jest on możliwy do rozwiązania i dlatego właściwie dzieli się go na problemy wycinkowe.

Postęp, jaki wprowadzają badania operacyjne, polega na tym, że dzięki nim zakres problemów optymalizacyjnych dających się rozwiązać jest dziś znacznie większy niż do niedawna. Z rozwojem maszyn matematycznych zakres ten będzie coraz bardziej wzrastać, a wraz z nim rola zarządzających, nawet w stawianiu problemów optymalizacyjnych, będzie coraz bardziej maleć. Gdy dojdziemy do stanu, gdy do rozwiązywania pozostanie jedynego problemu optymalizacji całego kraju, to istotnie stanowisko zarządzającego w tradycyjnym znaczeniu tego wyrazu stanie się zbędne. Jego miejsce zajmie sztab specjalistów programujących maszyny matematyczne na utrzymywanie optymalnego życia społeczeństwa.

Na razie jest do tego jeszcze daleko, dlatego też zajmiemy się tu omówieniem metod stosowanych do rozwiązywania problemów optymalizacyjnych w ich obecnie możliwym zakresie.

W badaniu operacyjnym można wyróżnić cztery następujące etapy. Pierwszy etap polega na postawieniu problemu optymalizacyjnego. W etapie tym należy ściśle sformułować w jakiej sprawie ma być podjęta decyzja, jaki cel ma być osiągnięty i w jakich warunkach, oraz jakie jest kryterium oceny wyników rozwiązania problemu. Jak na to wskazaliśmy powyżej, postawienie problemu powinno zawierać wszystkie istotne jego elementy, od których może zależeć decyzja.

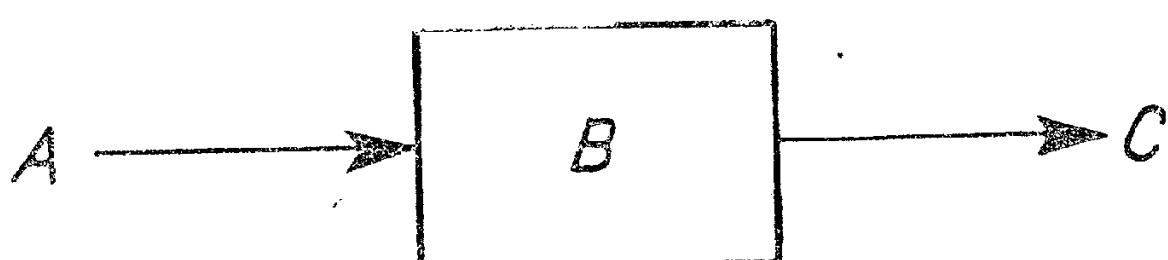
W związku z tym zachodzi konieczność rozróżnienia trzech rodzajów wielkości.

Przed wszystkim powinna być wymieniona wielkość kryterialna, do której zwiększenia bądź zmniejszenia dąży się jako do celu optymalizacji.

Następnie należy wymienić wielkości decyzyjne, tj. wielkości, które możemy zmieniać w celu wpływania na wielkość kryterialną.

I wreszcie należy wymienić parametry, tj. wielkości których nie możemy zmieniać (wskutek niemożności fizycznej lub zakazu).

Rys. 35



Zależność między wielkością kryterialną a wielkościami decyzyjnymi jest określona równaniem kryterialnym.

Zależności między wielkościami decyzyjnymi a parametrami są warunkami problemu.

Z punktu widzenia sterowania można przedstawić problem optymalizacyjny jako układ (rys. 35) o parametrach B (właściwościach), w których wpływając na wielkość decyzyjną A (wielkość wejściową) można wywierać pożądany wpływ na wielkość kryterialną C (wielkość wyjściową).

Drugi etap jest rozwiązywaniem problemu optymalnego. Ogólnie biorąc, chodzi o to, żeby przy dotrzymaniu podanych warunków dobrać wielkości decyzyjne w równaniu kryterialnym w sposób zapewniający maksimum (bądź minimum) wielkości kryterialnej, zgodnie z celem optymalizacji. Do realizacji tego właśnie etapu opracowano rozmaite metody rozwiązywania problemów optymalizacyjnych, objęte ogólną nazwą teorii decyzji. W zasadzie na tym etapie można by uważać każdy problem optymalizacyjny za zakończony.

Trzeci etap, stanowiący weryfikację dwóch pierwszych etapów, wprowadza się jedynie dla sprawdzenia, czy nie przeoczono jakiegoś czynnika mogącego mieć istotny wpływ na decyzję, czy w konfrontacji z rzeczywistością nie okaże się, że dopuszczoneo się nadmiernych uproszczeń, lub też czy nie popełniono jakichś omyłek. Etap ten służy do wprowadzenia ewentualnych poprawek przed wdrożeniem otrzymanych wyników rozwiązania.

Czwarty etap polega na opracowaniu kontroli dla sytuacji o zmiennych warunkach. Chodzi tu o dostatecznie szybkie uzyskiwanie informacji o zmianach warunków, ażeby można było w porę poprawić rozwiązanie problemu.

Poniżej zajmiemy się omówieniem spraw dotyczących drugiego etapu, tj. scharakteryzowaniem metod rozwiązywania problemów optymalizacyjnych. Metody te różnią się głównie w zależności od charakteru parametrów występujących przy podejmowaniu decyzji optymalizacyjnych.

Do najpewniejszych decyzji optymalizacyjnych należą decyzje deterministyczne, tj. podejmowane w problemach o parametrach dokładnie znanych. Rozwiążanie takich problemów daje wynik jednoznaczny.

Matematyczne rozwiązanie problemu sprowadza się do znalezienia maksimum (bądź minimum) wielkości kryterialnej w zależności od zmiennych decyzyjnych (określonej równaniem kryterialnym). W zwykłych zadaniach matematycznych osiąga się to za pomocą rachunku różniczkowego, ale w większości przypadków podejmowania decyzji deterministycznych sposób ten jest nieprzydatny, gdyż zespół warunków występujących w tego rodzaju problemach nie daje się sprowadzić do funkcji ciągłych. Na wykresach zamiast krzywych ciągłych otrzymuje

się linie łamane. W przypadkach, gdy poszczególne odcinki linii łamanej można z dostatecznym przybliżeniem uważać za prostoliniowe, a więc dające się wyrazić równaniami liniowymi (tj. takimi, w których wielkości zmienne występują w pierwszej potędze), można problem rozwiązać metodą programowania liniowego (nazwa ta pochodzi właśnie od występowania wspomnianych powyżej równań liniowych).

W najprostszych przypadkach, np. gdy w problemie występują tylko dwie zmienne decyzyjne można zastosować zarówno wykreślny jak i algebraiczny sposób rozwiązania. Przy wykreślnym sposobie rozwiązania odkłada się jedną zmienną decyzyjną na jednej osi współrzędnych, a drugą na drugiej osi, a następnie kreśli się odcinki odpowiadające poszczególnym warunkom problemu.

W wyniku otrzymuje się linię łamana, ograniczającą pole dopuszczalnych rozwiązań.

Następnie prowadzi się prostą przedstawiającą równanie kryterialne tak, żeby była ona styczna do linii łamanej przedstawiającej zespół warunków problemu, a wówczas współrzędne punktu styczności są szukanym rozwiązaniem problemu optymalizacyjnego.

Przy trzech zmiennych decyzyjnych trzeba się posługiwać wykresami o trzech osiach współrzędnych, ale wówczas przebieg rozwiązania staje się mniej przejrzysty.

Powyżej trzech zmiennych decyzyjnych pozostaje do dyspozycji wyłącznie sposób algebraiczny. Przy wielu zmiennych decyzyjnych trudno sobie wyobrazić poszczególne zależności występujące w toku rozwiązania, toteż w tych przypadkach trzeba polegać na często formalnych przekształceniach matematycznych, przeprowadzanych według algorytmu, tj. zbioru przepisów ułożonych z góry dla danego typu problemu optymalizacyjnego. Posiadanie algorytmu zwalnia rozwiązuje go z rozumienia sensu dokonywanych przezeń obliczeń; wymaga się od niego jedynie ścisłego wykonywania przekształceń formalnych w sposób przewidziany w algorytmie. Ułożenie algorytmu jest oczywiście konieczne, gdy przekształceń ma dokonywać maszyna matematyczna.

*

Aby umożliwić czytelnikowi lepsze zrozumienie zasad programowania liniowego, objaśnimy zastosowanie tej metody za pomocą prostego przykładu.

Fabryka obrabiarek, produkująca tokarki i frezarki ma dwa oddziały: odlewnię i montownię. Zdolność produkcyjna odlewni umożliwia produkcję roczną 350 tokarek lub 700 frezarek. Zdolność produkcyjna montowni umożliwia produkcję roczną 600 tokarek lub 450 frezarek. Cena tokarki wynosi 60000 zł, a cena frezarki 40000 zł. Pytanie: ile tokarek i ile frezarek fabryka powinna produkować, aby uzyskać największą wartość produkcji.

W zadaniu tym wielkością kryterialną jest wartość produkcji. Wielkościami decyzyjnymi są liczby tokarek i frezarek produkowanych rocznie. Parametrami są

ceny tokarek i frezarek oraz liczby określające, ile obrabiarek jednego tylko rodzaju fabryka może produkować.

Wprowadzimy następujące znaczenia:

x_1 — liczba produkowanych rocznie tokarek,

d_1 — czas potrzebny na wykonanie odlewów do jednej tokarki,

m_1 — czas potrzebny na montaż jednej tokarki,

x_2 — liczba produkowanych rocznie frezarek,

d_2 — czas potrzebny na wykonanie odlewów do jednej frezarki,

m_2 — czas potrzebny na montaż jednej frezarki,

D — rozporządzalny roczny czas pracy odlewni,

M — rozporządzalny roczny czas pracy montowni.

Na czas D odlewni składa się czas $d_1 x_1$, zużywany na wykonanie odlewów do x_1 tokarek i czas $d_2 x_2$, zużywany na wykonanie odlewów do x_2 frezarek, można więc napisać równanie

$$d_1 x_1 + d_2 x_2 = D \quad (7.1)$$

Na czas M montowni składa się czas $m_1 x_1$, zużywany na montaż x_1 tokarek, i czas $m_2 x_2$, zużywany na montaż x_2 frezarek, można więc napisać równanie:

$$m_1 x_1 + m_2 x_2 = M \quad (7.2)$$

Z danych zadania wiadomo, że gdy fabryka produkuje same tokarki (czyli liczba frezarek $x_2 = 0$), to odlewnia może wykonać odlewy do $x_1 = 350$ tokarek, wobec czego równanie (7.1) przybierze postać

$$350 d_1 = D$$

skąd

$$d_1 = \frac{D}{350}$$

Natomiast gdy fabryka produkuje same frezarki (czyli liczba tokarek $x_1 = 0$), to odlewnia może wykonać odlewy $x_2 = 700$ frezarek, wobec czego równanie (7.1) przybiera postać $700 d_2 = D$

skąd

$$d_2 = \frac{700}{D}$$

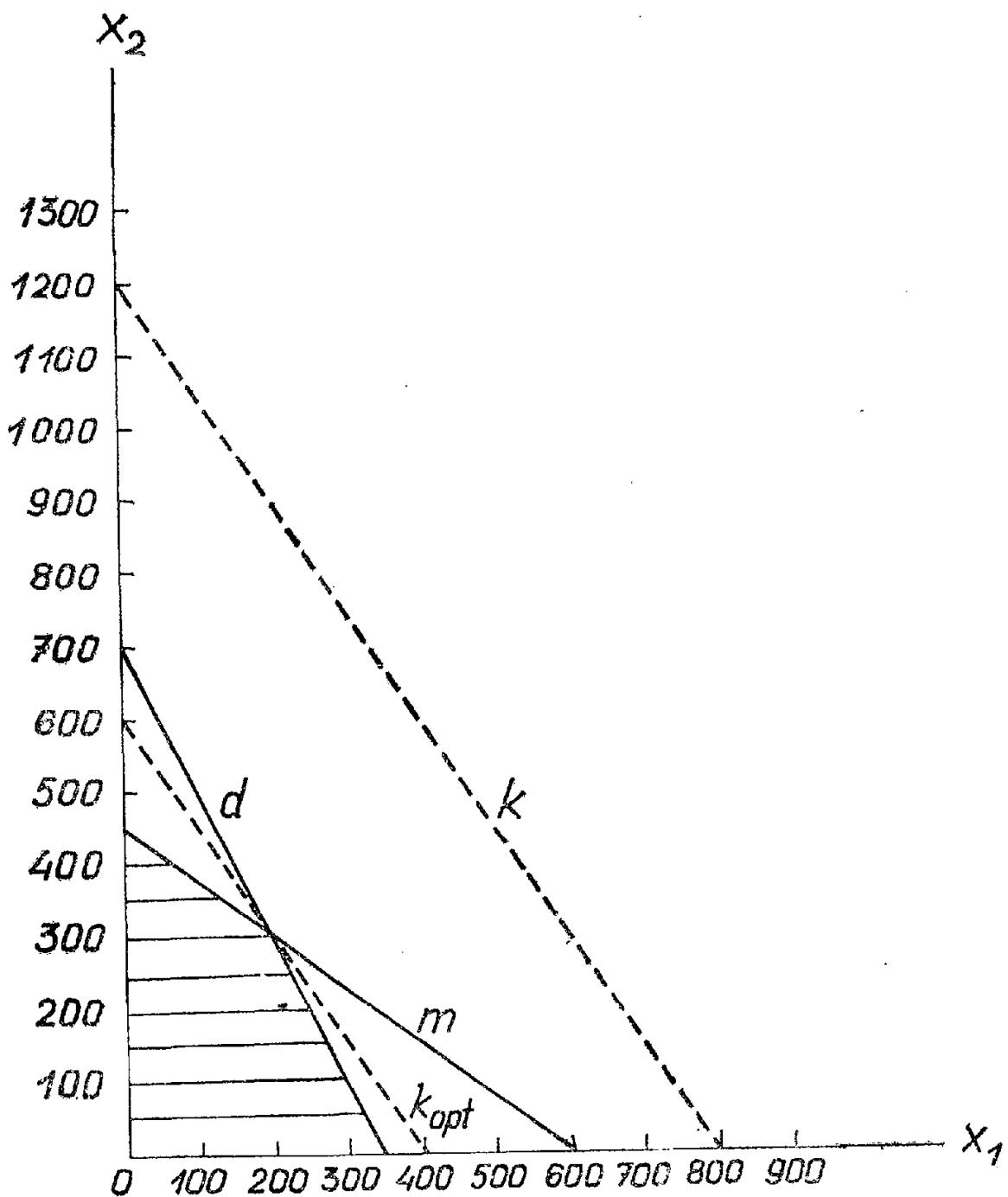
Podstawiając wyrażenia d_1 i d_2 do równania (7.1) otrzymamy

$$\frac{D}{350} \cdot x_1 + \frac{D}{700} \cdot x_2 = D$$

czyli

$$\frac{x_1}{350} + \frac{x_2}{700} = 1$$

Rys. 36



skąd po pomnożeniu obu stron równania przez 700

$$2x_1 + x_2 = 700 \quad (7.3)$$

Równanie to jest przedstawione prostą d na wykresie (rys. 36). Wyraża ono związek między liczbą tokarek x_1 a liczbą frezarek x_2 przy pełnym wyzyskaniu zdolności produkcyjnej odlewni. Z równania (7.3) łatwo obliczyć, że fabryka mogłaby produkować np. 50 tokarek i 600 frezarek, lub 100 tokarek i 500 frezarek, lub 150 tokarek i 400 wiertarek itd. Liczbom tym odpowiadają punkty położone na prostej d .

Fabryka mogłaby też produkować mniejszą ilość tych obrabiarek, np. 50 tokarek i 500 frezarek, tyle tylko, że zdolność produkcyjna odlewni nie byłaby wyzyskana. Punkt odpowiadający tym liczbom nie znajdowałby się już na prostej d , lecz wewnątrz trójkąta utworzonego przez prostą d oraz osie współrzędnych x_1 i x_2 . Pole tego trójkąta przedstawia zakres możliwości fabryki pod względem zdolności produkcyjnej odlewni.

Natomiast niemożliwa byłaby produkcja np. 400 tokarek i 100 frezarek, gdyż przekraczałoby to zdolność produkcyjną odlewni. Na wykresie łatwo to poznać po tym, że punkt odpowiadający tym liczbom znajdowałby się na zewnątrz trójkąta możliwości produkcyjnych odlewni.

Analogiczne postępowanie zastosujemy do równania (7.2). Z danych zadania wiadomo, że gdy fabryka produkuje same tokarki ($x_2 = 0$), to montownia może wykonać montaż $x_1 = 600$ tokarek, wobec czego równanie (7.2) przybierze postać

$$600 m_1 = M$$

skąd

$$m_1 = \frac{M}{600}$$

Natomiast gdy fabryka produkuje same frezarki ($x_1 = 0$), to montownia może wykonać montaż $x_2 = 450$ frezarek, wobec czego równanie (7.2) przybierze postać

$$450 m_2 = M$$

skąd

$$m_2 = \frac{M}{450}$$

Podstawiając wyrażenia m_1 i m_2 do równania (7.2) otrzymamy

$$\frac{M}{600} \cdot x_1 + \frac{M}{450} \cdot x_2 = M$$

czyli

$$\frac{x_1}{600} + \frac{x_2}{450} = 1$$

skąd

$$3x_1 + 4x_2 = 1800 \quad (7.4)$$

Równanie to jest przedstawione prostą m na wykresie (rys. 7). Wyraża ono związek między liczbą tokarek x_1 a liczbą frezarek x_2 przy pełnym wyzyskaniu zdolności produkcyjnej montowni. Z równania (7.4) można obliczyć, że fabryka mogłaby produkować np. 400 tokarek i 150 frezarek. Punkt odpowiadający tym liczbom leży na prostej m .

Mogliwości fabryki pod względem zdolności produkcyjnej montowni są przedstawione polem trójkąta utworzonego przez prostą m oraz osie współrzędnych x_1 i x_2 . Punkty położone wewnątrz tego trójkąta oznaczają produkcję przy niepełnym

wyzyskaniu zdolności produkcyjnej montowni. Na przykład, produkcja 400 tokarek i 100 frezarek, przekraczająca zdolność produkcyjną odlewni, byłaby jednak możliwa pod względem zdolności produkcyjnej montowni, a nawet odbywałaby się przy niepełnym jej wyzyskaniu. Natomiast produkcja 50 tokarek i 500 frezarek, zupełnie możliwa ze względu na zdolność produkcyjną odlewni, byłaby niemożliwa ze względu na zdolność produkcyjną montowni.

Jest oczywiste, że dla całej fabryki wchodzi w grę tylko taka produkcja, która nie przekracza zdolności produkcyjnych odlewni ani montowni. Na wykresie przedstawia się ona jako zakreskowane pole stanowiące wspólną część obu trójkątów. Jest to pole czworokąta, którego boki są odcinkami prostej d , prostej m , osi x_1 i osi x_2 .

Punkt przecięcia prostej d z prostą m można wyznaczyć z równań (7.3) i (7.4). Mnożąc obie strony równania (7.3) przez 4 otrzymamy

$$8x_1 + 4x_2 = 2800$$

Odejmując od tego równanie (7.4) otrzymamy

$$5x_1 = 1000$$

skąd

$$x_1 = 200$$

Po podstawieniu tego wyniku do równania (7.3) otrzymamy

$$2 \cdot 200 + x_2 = 700$$

skąd

$$x_2 = 300$$

W wyniku dotychczasowych rozważań dowiedzieliśmy się, jakie są techniczne możliwości produkcyjne fabryki (punkty w polu czworokąta zakreskowanego na rys. 36), a nawet przy jakiej produkcji możliwości te są całkowicie wyczerpane (punkty na odcinkach prostej d i prostej m stanowiących boki czworokąta), ale nadal nie wiemy, którą z tych możliwości należy wybrać. Odpowiedź na to pytanie będziemy mogli uzyskać biorąc pod uwagę dane ekonomiczne.

Na wartość produkcji K składa się przychód ze sprzedaży x_1 tokarek po 60 000 zł oraz przychód ze sprzedaży x_2 frezarek po 40 000 zł.

$$60000x_1 + 40000x_2 = K \quad (7.5)$$

skąd

$$3x_1 + 2x_2 = \frac{K}{20000} \quad (7.6)$$

Przypuśćmy, że fabryka chce uzyskać za swoją produkcję 48.000.000 zł. W tym przypadku równanie (7.6) przybierze postać

$$3x_1 + 2x_2 = \frac{48.000.000}{20.000}$$

czyli

$$3x_1 + 2x_2 = 2400 \quad (7.7)$$

Równanie to jest przedstawione prostą k na wykresie (rys. 36). Punkty przecięcia tej prostej z osiami współrzędnymi można wyznaczyć w następujący sposób.

Gdyby fabryka chciała uzyskać 48.000.000 zł produkując same tokarki ($x_2 = 0$), to z równania (7.7)

$$3x_1 = 2400$$

skąd

$$x_1 = 800.$$

Natomiast gdyby fabryka chciała uzyskać 48.000.000 zł produkując same frezarki ($x_1 = 0$), to z równania (7.7)

$$2x_2 = 2400$$

skąd

$$x_2 = 1200.$$

Jak widać z rys. 36, prosta k przebiega daleko poza obszarem możliwości produkcyjnych fabryki, co oznacza że osiągnięcie wartości produkcji 48.000.000 zł jest niemożliwe.

Możliwe jest tylko uzyskanie co najwyżej takiej wartości produkcji, przy której prosta mająca taki sam kierunek, jak prosta k , styka się z polem czworokąta obejmującego obszar możliwości produkcyjnych fabryki. Jak łatwo zauważyc, prostą taką jest prosta k_{opt} (równoległa do prostej k), przechodząca przez punkt przecięcia prostej d z prostą m .

Biorąc pod uwagę, że punkt ten odpowiada produkcji 200 tokarek i 300 frezarek, otrzymamy z równania (7.5)

$$K = 60.000 \cdot 200 + 40.000 \cdot 300 = 24.000.000 \text{ zł}$$

Jest to największa wartość produkcji, jaką rozpatrywana fabryka może uzyskać.

Prowadząc inne proste równoległe do prostych k i k_{opt} , przecinające pole czworokąta przedstawiającego możliwości produkcyjne fabryki, otrzymalibyśmy zawsze mniejsze kwoty.

Na przykład, produkując same tokarki ($x_1 = 350$, $x_2 = 0$) uzyskano by wartość produkcji wynoszącą tylko

$$60.000 \cdot 350 = 21.000.000 \text{ zł.}$$

a produkując same frezarki ($x_1 = 0$, $x_2 = 450$) uzyskano by tylko

$$40.000 \cdot 450 = 18.000.000 \text{ zł.}$$

Jak widać, cały powyżej opisany przebieg programowania liniowego jest operacją optymalizacyjną, którą może przeprowadzić każdy, kto opanował technikę takich

operacji. Rola zarządzającego sprowadza się jedynie do podjęcia decyzji opartej na wyniku operacji: należy produkować rocznie 200 tokarek i 300 frezarek.

Omówione powyżej zadanie było bardzo proste, obejmowało bowiem tylko dwa rodzaje wyrobów (tokarki i frezarki) i tylko dwa ograniczenia (zdolność produkcyjna odlewni i montowni). W praktyce zachodzi potrzeba rozwiązywania zadań znacznie bardziej skomplikowanych. Na przykład, produkcja może mieć wiele innych ograniczeń, jak np. zdolność produkcyjna kontroli technicznej, powierzchnia magazynów, ilość opakowań, środki transportowe, dostępność surowców, zdolność produkcyjna kooperantów, itp. Możliwości produkcyjne są wówczas przedstawione wielokątem utworzonym przez osie współrzędnych i linię łamana składającą się z wielu odcinków o różnym nachyleniu.

Ponadto może wchodzić w grę produkcja nie dwóch lecz dziesiątek, setek i tysięcy rodzajów wyrobów. Wówczas niemożliwe jest posługiwanie się wykresami. Trzeba polegać wyłącznie na operacjach algebraicznych, przy czym są one tak skomplikowane, że ręczne obliczenia stają się praktycznie niewykonalne. Muszą one być wykonywane przez maszynę matematyczną, po jej odpowiednim zaprogramowaniu.

I wreszcie możliwe są przypadki, gdy do optymalizacji trzeba brać pod uwagę nie tylko punkty skrajne pola możliwości ale i punkty znajdujące się wewnątrz tego pola. Wówczas zamiast równań otrzymuje się nierówności. Aby je doprowadzić do postaci równań, trzeba wprowadzać dodatkowe zmienne, co jeszcze bardziej komplikuje zadanie.

*

Programowanie liniowe znajduje coraz szersze zastosowanie do podejmowania decyzji w różnych dziedzinach. Oprócz rozpatrzonego powyżej zagadnienia optymalizacji asortymentu produkcji wchodzą w grę również inne zadania jak np.:

- optymalizacja narzędzi produkcji, zmierzająca do uzyskania najmniejszego łącznego czasu przy produkcji różnych wyrobów za pomocą różnych maszyn,

- optymalizacja środków transportu, zmierzająca do uzyskania najmniejszego łącznego kosztu, bądź najkrótszej łącznej drogi, bądź też najkrótszego łącznego czasu przejazdów przy rozwożeniu towarów z różnych źródeł do różnych miejsc przeznaczenia,

- optymalizacja mieszanek, zmierzająca do uzyskania najmniejszego łącznego kosztu składników mieszanek o określonych właściwościach technologicznych, np. stopów metali, preparatów farmaceutycznych itp.,

- optymalizacja diety, zmierzająca do uzyskania najmniejszego kosztu składników pożywienia o określonej wartości kalorycznej.

Od decyzji deterministycznych odróżnia się decyzje probabilistyczne, podejmowane w takich problemach optymalizacyjnych, w których parametry (lub choćby jeden z nich) nie są dokładnie znane, ale mogą być ocenione z pewnym prawdopodobieństwem.

*

Dla przykładu rozpatrzmy następujący uproszczony problem optymalizacyjny.

Stołówka fabryczna została zobowiązana do sprzedaży, po cenie kosztu, 1 litra świeżego mleka każdemu pracownikowi, który się zgłosi. Jeżeli stołówka zamówi zbyt wielką ilość mleka, to każdy nie sprzedany litr mleka spowoduje stratę 1 zł (np. wskutek konieczności późniejszej sprzedaży jako mleka zsiadłego po cenie o 1 zł niższej od ceny mleka świeżego). Natomiast jeżeli mleka zabraknie, to każdy brakuje litr pociągnie za sobą stratę 0,50 zł, spowodowaną kosztami dodatkowej dostawy.

Ze statystyki sprzedaży wynika, że prawdopodobieństwo sprzedaży 100 litrów dziennie wynosi 0,2; 200 litrów — 0,7; 300 litrów — 0,8. Ile litrów mleka dziennie powinna zamawiać stołówka, aby ponosić przy tym najmniejsze koszty?

Chodzi tu o typ problemu optymalizacyjnego, w którym niekorzystne jest utrzymywanie zbyt dużego i zbyt małego zapasu.

Wielkością kryterialną jest koszt ponoszony w związku z utrzymywaniem zapasu mleka. Wielkością decyzyjną jest ilość zamawianego mleka. Parametrami znymi są koszty jednostkowe spowodowane nadmiarem lub niedomiarem mleka. Parametrem niedokładnie znanym jest liczba zgłaszających się nabywców; można ją tylko ocenić z pewnym prawdopodobieństwem, opartym na danych statystycznych.

Rozpatrzmy trzy przypadki, gdy stołówka zamówi 100, 200 lub 300 litrów, oraz trzy przypadki, gdy zgłosi się 100, 200 lub 300 nabywców. Łącznie daje to dziewięć możliwości, które należy kolejno rozpatrzyć.

Jeżeli stołówka zamówi 100 litrów, a zgłosi się 100 nabywców, to koszt jest równy zeru. Gdy zgłosi się 200 nabywców, koszt dodatkowej dostawy wyniesie 50 zł. Gdy zgłosi się 300 nabywców, koszt dodatkowej dostawy 200 litrów wyniesie 100 zł.

Jeżeli stołówka zamówi 200 litrów, a zgłosi się 100 nabywców, to nadmiar 100 litrów spowoduje stratę 100 zł. Gdy zgłosi się 200 nabywców, koszt jest równy zeru. Gdy zgłosi się 300 nabywców, koszt dodatkowej dostawy 100 litrów wyniesie 50 zł.

I wreszcie, jeżeli stołówka zamówi 300 litrów, a zgłosi się 100 nabywców, to nadmiar 200 litrów spowoduje stratę 200 zł. Gdy zgłosi się 200 nabywców, nadmiar 100 litrów spowoduje stratę 100 zł. Gdy zgłosi się 300 nabywców, koszt jest równy zeru.

Wyniki tych obliczeń są zestawione w poniższej tablicy.

		Liczba nabywców		
		100	200	300
Ilość zamówione- go mleka	100	0	50	100
	200	100	0	50
	300	200	100	0

Prawdopodobieństwo kosztu wymienionego w poszczególnych pozycjach tej tablicy jest takie samo jak prawdopodobieństwo zgłoszenia się odpowiadającej mu liczby nabywców.

Tak na przykład, przy zamówieniu 100 litrów, prawdopodobieństwo kosztu równego zeru będzie 0,2, tj. takie jak prawdopodobieństwo zgłoszenia się 100 nabywców, prawdopodobieństwo kosztu 50 zł będzie 0,7 (jako równe prawdopodobieństwu zgłoszenia się 200 nabywców) oraz prawdopodobieństwo kosztu 100 zł będzie 0,8 (jako równe prawdopodobieństwu zgłoszenia się 300 nabywców).

Łącznie spodziewany koszt przy zamówieniu 100 litrów wyniesie

$$0 \cdot 0,2 + 50 \cdot 0,7 + 100 \cdot 0,8 = 115 \text{ zł}.$$

Postępując w podobny sposób otrzymamy spodziewany koszt przy zamówieniu 200 litrów

$$100 \cdot 0,2 + 0 \cdot 0,7 + 50 \cdot 0,8 = 60 \text{ zł},$$

oraz spodziewany koszt przy zamówieniu 300 litrów

$$200 \cdot 0,2 + 100 \cdot 0,7 + 0 \cdot 0,8 = 110 \text{ zł}$$

Jak widać, pomimo że największe było prawdopodobieństwo zgłoszenia się 300 nabywców, najmniejszy spodziewany koszt wypada przy ilości 200 litrów, a więc taką ilość powinna zamawiać rozpatrywana stołówka.

*

Oprócz wspomnianego problemu zapasów decyzje probabilistyczne są podejmowane w szeregu innych problemów optymalizacyjnych.

Jednym z nich jest problem zatorów, zwany też problemem kolejek (ogonków). Problem ten znany jest każdemu, kto starał się kupić bilet kolejowy na krótko przed odejściem pociągu. Gdyby podróżni przybywali na dworzec w regularnych odstępach czasu, to liczba czynnych kas w zupełności wystarczyłaby do obsłużenia wszystkich. W praktyce taka regularność jest nieosiągalna, gdyż podróżni nie ustalają między sobą pory przyjścia (zresztą nawet się nic znają), a poza tym nikt nie chce przychodzić na dworzec zbyt wcześnie, gdyż po wykupieniu biletu traciłby niepotrzebnie czas.

W rezultacie, na pewien czas przed odejściem pociągu, następuje spiętrzenie liczby podróżnych w postaci długich kolejek przed kasami. Dla zarządu kolei problem zatorów polega na konieczności ustalenia optymalnej liczby czynnych kas. Jeżeli liczba kas jest zbyt duża, to kasjerzy przeważnie nie mają nic do roboty, niepotrzebnie obciążając finanse kolei swoimi wynagrodzeniami. Jeżeli liczba kas jest zbyt mała, ustawiają się długie kolejki podróżnych, a wówczas kierownictwo dworca musi wysłuchiwać skarg i pretensji; albo postarać się o rezerwowych kasjerów, co zwykle następuje trudności.

Problem zatorów występuje także w sklepach, kinach i wszelkich innych instytucjach usługowych, w których zgłoszanie się klientów jest nierównomiernie. Jest on znany również w centralach telefonicznych, co też przyczyniło się np. do obniżenia opłat za rozmowy międzymiastowe prowadzone wieczorem, gdy ruch jest znacznie słabszy.

I wreszcie problem zatorów może występować w przemyśle, gdy element konstrukcyjny podlega kolejnej obróbce na wielu maszynach, przy czym czas operacji na poszczególnych maszynach nie jest jednakowy. Wówczas przed maszyną o dłuższym czasie operacji powstaje zator elementów dostarczonych z poprzedniej maszyny o krótszym czasie operacji.

Skutki zatorów mogą być trojakiego rodzaju:

1) klient rezygnuje z usługi — straty z tego powodu ponosi klient (bo nie otrzymał tego, czego potrzebował), a w przypadku usług rentowych, również instytucja usługowa (jeżeli zysk za świadczenie usługi byłby większy niż koszt stworzenia rezerwy),

2) klient przenosi się do innej instytucji usługowej — stratę ponosi instytucja, z której usług klient zrezygnował (z wyjątkiem przypadku, gdy klient przechodzi do innego oddziału tej samej instytucji lub po prostu do miejsca obsługiwaneego przez innego jej pracownika),

3) klient cierpliwie oczekuje swojej kolejności — tracąc czas (i ewentualnie ponosząc inne związane z tym straty).

Występowanie tych trzech możliwości ujawnia, że celowość rozwiązywania problemu zatorów zależy od tego, czy rozpatrywana sytuacja jest *rynkem dostawcy*, czy też *rynkem nabywcy*.

W przypadku *rynku dostawcy*, tj. gdy dostawcy nie zależy na nabywcy (np. gdy podaż jest mniejsza od popytu lub gdy usługi są nierentowne lub też gdy dostawca jest monopolistą), dostawca nie jest zainteresowany w likwidacji kolejek, bo i tak wszystko zostanie sprzedane, przy czym dostawcy jest obojętne gdzie (przenoszenie się klientów z większej kolejki w jednym miejscu do mniejszej kolejki w innym miejscu) u tego samego dostawcy przyczynia się do wyrównania kolejek bez starań dostawcy, a nawet może sobie życzyć, żeby sprzedano jak najmniej (przy nierentowności usług).

Natomiast w przypadku *rynku nabywcy*, tj. gdy dostawcy zależy na nabywcy (gdy podaż rentowych usług z wielu źródeł przeważa nad popytem), dostawca jest zainteresowany w likwidacji kolejek, ponieważ przejście klienta do innej instytucji usługowej lub rezygnacja powodują straty dla dostawcy. W tym przypadku rozwiązywanie problemu zatorów ma sens i polega na dobraniu tylu stanowisk obsługi, żeby suma ich kosztu i strat spowodowanych odchodzeniem klientów ze zbyt dużych kolejek była najmniejsza.

Suma ta jest w takim problemie optymalizacyjnym wielkością kryterialną. Liczba stanowisk obsługi jest wielkością decyzyjną. Koszt jednego stanowiska i strata spowodowana odejściem jednego klienta są parametrami.

Główna trudność rozwiązywania problemu zatorów tkwi w tym, że parametry te nie są dokładnie znane, toteż w obliczeniach trzeba się posługiwać ich prawdopodobieństwem.

Rozwiązywanie problemów zatorów wymaga znajomości rachunku prawdopodobieństwa, toteż nie będziemy tu bliżej omawiać szczegółów postępowania.

Do grupy decyzji probabilistycznych należą również decyzje w problemach, w których parametry są wielkościami niewymiernymi lub nieporównywalnymi. Rozwiążanie takich problemów uzyskuje się przez ocenę poszczególnych parametrów w sposób zapewniający ich ujednolicenie (sprowadzenie ich do wielkości jednego tylko rodzaju), dzięki czemu stają się one porównywalne i wymierne.

W takich problemach jak np. czy pójść do teatru czy na koncert, albo czy pójść do kina na film historyczny czy na film kryminalny, czy pojechać na wczasy do Krynicy czy Międzyzdrojów, czy ożenić się z Irką, która jest bardzo ładna, czy z Janką, która ma bardzo miły charakter, itp. podejmuje się decyzję samorodną (odruchową, intuicyjną lub refleksyjną), w której ujednolicenie różnorodnych bodźców następuje dzięki temu, że receptory przetwarzają wszystkie bodźce w potencjał rejestracyjny w korelatorze osobnika podejmującego decyzję. W zależności od rozkładu potencjału rejestracyjnego powstają rejestraty bodźców polegające na wzroście przewodności korelacyjnej, czyli również jednej i tej samej wielkości fizycznej bez względu na rodzaj bodźca. Odpowiednio do rozkładu potencjału rejestracyjnego i rozkładu przewodności korelacyjnej następuje rozpływ mocy korelacyjnej, a więc znów jednej i tej samej wielkości fizycznej dla wszelkich bodźców. Wywierność i porównywalność ujednolicionych w ten sposób różnorodnych parametrów problemu decyzyjnego zostaje zapewniona dzięki temu, że większa moc korelacyjna, odpowiadająca jednemu z parametrów, spowoduje wzrost potencjału estymacyjnego ponad potencjał decyzyjny w odpowiedniej grupie estymatorów, zanim mniejsza moc korelacyjna, odpowiadająca innemu parametrowi, zdąży spowodować wystarczający wzrost potencjału estymacyjnego w innej grupie estymatorów. W ten sposób dochodzi do takiej a nie innej decyzji (samorodnej).

W problemach omówionego rodzaju zamiast decyzji samorodnej może być podjęta decyzja probabilistyczna, gdy zainteresowany w podjęciu decyzji powierza rozwiązanie problemu komu innemu, np. grupie specjalistów umiejących dokonywać ocen. Podobnie jak i w poprzednio omawianych problemach ekonomicznych i technicznych opierają się oni na statystyce i prawdopodobieństwie.

Decyzje probabilistyczne podejmujemy częściej, niżby się mogło wydawać, i to nawet w takich sprawach jak wybranie się do kina. Przecież rozczytywanie się w recenzjach filmowych to nic innego niż korzystanie z rozwiązań problemu zaproponowanych przez specjalistów, zwłaszcza gdy punktują oni wartość filmu ocenami liczbowymi (w tygodniku *Film*).

Jeszcze wyraźniej występuje to w problemach, w których oceny liczbowe nadaje się każdemu parametrowi z osobna. Postępowanie takie bywało u nas stosowane np. przy przydzielaniu mieszkań pra-

cownikom. Komu dyrektor zakładu pracy powinien przydzielić mieszkanie: *czy pracownikowi zatrudnionemu w tym zakładzie od kilkunastu lat, czy pracownikowi dojeżdżającemu do pracy z odległości kilkudziesięciu kilometrów, czy pracownikowi mającemu na utrzymaniu kilkoro małych dzieci i chorą matkę?*

Dyrektor zakładu jest w trudnej sytuacji, gdyż parametry dotyczące poszczególnych pracowników są różnorodne, a podjęcie decyzji samorodnej na rzecz któregokolwiek z nich spowoduje, że pozostali poczuja się pokrzywdzeni.

Aby umożliwić dyrektorowi podjęcie decyzji probabilistycznej, zamiast decyzji samorodnej, organizacje związkowe w niektórych zakładach pracy opracowały system ocen, np. w postaci następującej punktacji: za każdy kilometr odległości od miejsca pracy — 3 punkty, za każdy rok pracy w zakładzie — 2 punkty, za każdego członka rodziny — 10 punktów, itp.

Na przykład, jeżeli o przydziału mieszkania ubiegają się następujący pracownicy:

A — 4 lata pracy, odległość 8 km, 3 dzieci,

B — 18 lat pracy, odległość 6 km, 2 dzieci,

C — 7 lat pracy, odległość 15 km, 1 dziecko,

to dla każdego z nich można obliczyć sumę punktów:

$$A : 4.2 + 8.3 + 3.10 = 62 \text{ punkty},$$

$$B : 18.2 + 6.3 + 2.10 = 74 \text{ punkty},$$

$$C : 7.2 + 15.3 + 1.10 = 69 \text{ punktów}.$$

A zatem mieszkanie należy przydzielić pracownikowi *B*. Gdyby wkrótce zakład dysponował jeszcze jednym mieszkaniem, to należało by je przydzielić pracownikowi *C*.

Jak widać, rozwiązanie tego problemu ma taki sam schemat jak rozwiązanie omawianego poprzednio problemu zapasów i polega na operowaniu parametrami niedokładnie znanymi, z których każdy jest iloczynem parametru dokładnie znanego przez przydany mu współczynnik.

Współczynniki tego rodzaju są ważkosciami parametrów dokładnie znanych, umożliwiającymi przekształcenie tych parametrów w parametry wprawdzie niedokładnie znane, ale ujednolicone, a więc dające się porównywać, sumować itp.

Prawdopodobieństwa występujące w przykładzie problemu zapasów również są ważkosciami, określając bowiem, że pewne warianty sprzedaży odgrywają większą rolę niż inne.

Podobnie w przykładzie na temat przydziału mieszkania różne ważkoscie przewidziane w systemie punktacji określają stosunkowy wpływ poszczególnych czynników. Oczywiście, można by wysunąć wątpliwość, dlaczego za każdy rok pracy miało by się przyznawać 2 punkty, a nie np. 8 punktów, albo dlaczego za każdy kilometr odległości od miejsca pracy przyznaje się 3 punkty a nie np. 1 punkt. Gdyby inaczej ustalić

ważkości, to w wyniku obliczeń w omówionym przykładzie mogłoby się okazać, że przydział mieszkania powinien otrzymać np. pracownik *A*, a nie pracownik *B*.

Z analogicznym ujęciem spotykamy się przy obliczaniu łącznego kosztu różnych składników, np. w zespołach urządzeń, materiałów itp. Ilości składników (np. ich masa) są dokładnie znane, natomiast ceny składników, odgrywające rolę ważkości, mogą być ustalone w rozmaity sposób.

Niemniej, dowolność w ustalaniu ważkości nie jest bynajmniej tak duża, jak można by sądzić. Służą one przecież do rozwiązywania problemów optymalizacji, gdyby więc nawet zostały ustalone błędnie, to okazałoby się to po szkodliwych skutkach decyzji podjętych na ich podstawie, w związku z czym ważkości zostałyby poprawione na przyszłość. Dlatego też decyzje probabilistyczne są na ogół trafniejsze od decyzji samorodnych, podejmowanych w takich samych problemach. Poza tym w problemach dotyczących spraw ludzkich w pewnej społeczności decyzje probabilistyczne budzą mniej sprzeciwów, gdy ważkości zostały uprzednio ustalone przez tę społeczność, a sam fakt, że są z góry znane, usuwa możliwości przykrych zaskoczeń.

Po decyzjach deterministycznych (o dokładnie znanych parametrach) i decyzjach probabilistycznych (o niedokładnie znanych parametrach) przejdziemy do omówienia decyzyj strategicznych, podejmowanych w problemach o nieznanych parametrach. Podejmującemu decyzję w takich problemach wiadomo tylko, jakie te parametry mogą w ogóle być.

Problemy tego rodzaju mają charakter gry (strategicznej, tj. takiej, której wynik może zależeć, poza innymi czynnikami, również od umiejętności gracza, w odróżnieniu od gier hazardowych, których wynik jest zależny tylko od przypadku), stąd też teoria ich rozwiązywania nazywa się teorią gier (twórcą tej teorii jest J. Neumann).

Wielkością kryterialną gry jako problemu optymalizacyjnego jest wielkość wygranej.

Wielkością decyzyjną jest zbiór możliwych zagrań gracza jako osobnika podejmującego decyzję; w teorii gier są one nazywane strategiami. Optymalizacja w grze polega na wybraniu strategii najskuteczniej prowadzącej do wygranej. Parametrami są reguły gry i strategie przeciwnika.

W teorii gier pojęcie gry jest znacznie szersze niż w języku potocznym i obejmuje wszelkie problemy optymalizacyjne o nieznanych parametrach, a więc również prowadzenie wojen, ściganie przestępów, procesy sądowe, a nawet walkę z naturą, np. zwalczanie uszkodzeń w urządzeniach technicznych. O ile reguły gry w pokera, brydża, szachy itp. mają charakter czysto umowny, nie dozwalaając np. dobierania ciuchaczem kart z innej talii ukrytej w kieszeni, zagładania w cudze karty, przedstawiania figur na szachownicy w chwilach nieuwagi przeciwnika

itp., to w grach jako problemach optymalizacyjnych do reguł gry należą wszelkie fizyczne ograniczenia wynikające z charakteru problemu.

Optymalizacja w każdym problemie jest procesem sterowniczym, ale w grze procesy sterownicze odbywają się w możliwie najgorszych warunkach, nie tylko bowiem nie znamy strategii przeciwnika, ale nawet mamy wszelkie powody przypuszczać, że przeciwnik dołoży starań, żeby nam sterowanie jak najbardziej utrudnić.

W świetle tych wyjaśnień nie powinno nikogo dziwić traktowanie walki ze zjawiskami naturalnymi również jako gry. Wprawdzie naturze nie przypisujemy złośliwości, ale wśród fizycznie dopuszczalnych zjawisk wszystko może się zdarzyć, nawet najgorsze, a wtedy z punktu widzenia optymalizacji jest obojętne, czy zdarzyło się to przypadkiem, czy też zgodnie z intencją jakiegoś nieznanego nam przeciwnika.

Teoria gier znajduje się jeszcze w początkowej fazie swojego rozwoju. Jej dotychczasowe osiągnięcia są obłożone rozmaitymi warunkami upraszczającymi i ograniczającymi, co zmniejsza przydatność praktyczną tych osiągnięć. Niemniej wypracowała ona pewne metody, zwiększające szanse rozwiązyania takich problemów optymalizacyjnych, które do niedawna trzeba było uważać za nierozwiążalne. Ponadto nawet w problemach, których nie mamy jeszcze możliwości rozwiązywać, aparat pojęciowy stworzony przez teorię gier umożliwia przynajmniej zrozumienie, na czym trudności polegają, a to jest niewątpliwie jednym krokiem więcej w kierunku rozwiązania.

Najprostsze są gry rozgrywane przez dwie strony o wzajemnie sprzecznych interesach. Do analizy możliwych strategii stosuje się zapis w postaci macierzy (tj. zestawienia stanów wynikających ze skojarzenia dowolnego elementu jednego zbioru z dowolnym elementem drugiego zbioru — z tego rodzaju zapisem mieliśmy już do czynienia przy rozpatrywaniu przykładu problemu zapasu). W teorii gier nosi ona nazwę macierz wypłaty, gdyż zapisuje się w niej wygrane jednego gracza bądź przegrane drugiego; przy grze na pieniądze zapisy te oznałyby kwoty, jakie przegrywający powinien wypłacić wygrywającemu.

Aby czytelnik mógł sobie lepiej przyswoić zasady tego sposobu zapisu rozpatrzmy dla przykładu następującą, bardzo prostą grę.

Każdy z obu graczy trzyma za swoimi plecami talię potasowanych kart, wyciąga z niej jedną i kładzie na stół. Uzgodniono, że jeżeli obie karty będą czerwone, to gracz B wypłaci graczowi A kwotę 1 zł, a jeżeli obie będą czarne, to gracz A wypłaci graczowi B 1 zł; jeżeli okaże się, że karty mają różne kolory, to nikt nic nie płaci. (Kompletny zapis wszystkich możliwych wyników powinien wyglądać jak na tabeli).

Jeżeli każdy gracz wyciągnie czerwoną kartę, to zgodnie z ustalonimi regułami gry gracz B powinien wypłacić 1 zł graczowi A , czyli wynik gry dla gracza A jest +1, a dla gracza B jest -1.

Na odwrót, jeżeli każdy gracz wyciągnie czarną kartę, to wynik gry dla gracza A jest -1, a dla gracza B +1.

		B	
		czerwona karta	czarna karta
		-1	0
A	czerwona karta	+1	0
	czarna karta	0	+1

W dwóch powstałych przypadkach występuje niezgodność kolorów, wobec czego wynik dla każdego gracza jest 0.

Zapisywanie wyników dla każdego z graczy oddziennie jest kłopotliwe i niepotrzebne, wiadomo bowiem, że ile jeden gracz wygrał, tyle drugi musiał przegrać. Z informacyjnego punktu widzenia, zapisywanie wyników drugiego gracza jest redundancją.

Dlatego też umówiono się, żeby przy sporządzaniu macierzy wypłat zapisywać wyniki tylko dla jednego gracza, tego mianowicie, do którego odnoszą się wiersze (poziome) macierzy, czyli do gracza zaznaczonego po lewej stronie macierzy. Wobec tego rozpatrując kolumny (pionowe) macierzy, odnoszące się do gracza zaznaczonego u góry macierzy, należy pamiętać, że umieszczone w nich zapisy mają dla niego znaczenie odwrotne do ich znaczenia dla przeciwnika.

Zgodnie z tą umową macierz wypłat dla omawianego przykładu przybierze postać:

		B	
		czerwona karta	czarna karta
A	czerwona karta	1	0
	czarna karta	0	1

Z punktu widzenia optymalizacji gra ta, jako hazardowa (wyciągnięcie karty takiego czy innego koloru jest zupełnie przypadkowe), jest nieinteresująca.

Obecnie przejdziemy do innego przykładu, tym razem dotyczącego problemów optymalizacji i pociągającego konieczność podjęcia decyzji strategicznej.

W wojnie między Alanią i Belnią oddział alański, dążąc do połączenia się z siłami głównymi, musi przejść przez teren górzysty po przecinany dolinami, kierując się z północy na południe. Oddział belański, znajdujący się w podobnej sytuacji, musi przejść przez ten sam teren kierując się z zachodu na wschód. Każdy z dowódców obu oddziałów, domyślając się zamiaru przeciwnika, postanawia z nim stoczyć bitwę. Dowódca alański wolałby stoczyć bitwę na szlakach górskich, gdyż jego żołnierze zostali wyszkoleni do walk w takich terenach i mają odpowiednio lekkie uzbrojenie. Na odwrót, dowódca belański wolałby stoczyć bitwę w dolinach ze względu na rodzaj wyszkolenia i uzbrojenia swoich żołnierzy.

Jak wynikało z mapy, każdy oddział miał do wyboru cztery szlaki o wysokościach, wyrażonych w metrach nad poziomem morza, jak zaznaczono poniżej:

		B				
		1	2	3	4	
A		1	500	1000	1500	500
2	1000		500	1000	1500	
	1500		1000	1500	1500	
3		500	1000	1000	2000	
4						

Powyższy diagram jest zarazem macierzą wypłat, ponieważ im większe liczby (oznaczające wysokość) figurują w poszczególnych pozycjach, tym lepiej jest dla Alańczyków, a tym gorzej dla Belańczyków.

Pytanie: *jaką decyzję powinien podjąć dowódca alański, a jaką belański?*

Dowódca alański ma do wyboru cztery szlaki, a więc cztery strategie. Najchętniej wybrałby strategię A4, tj. szlak 500-1000-1000-2000, gdyż występuje tam rejon położony na wysokości 2000 m, ale niepokoi go myśl, że dowódca belański z pewnością także posiadający mapę, może mu z łatwością pokrzyżować jego zamiary wybierając strategię B1, tj. szlak 500-1000-1500-500, a wówczas do bitwy doszłoby na wysokości 500 m, czyli w warunkach najkorzystniejszych dla Belańczyków. Dowódca alański dochodzi więc do wniosku, że wybierając strategię A4 może być zmuszony do przyjęcia bitwy w warunkach dla siebie najgorszych, zamiast w najlepszych, i że niebezpieczeństwo, na jakie go taka decyzja może narazić, ma źródło w postępowaniu dowódcy belańskiego.

Aby się uwolnić od takiego ryzyka, dowódca belański zaczyna się zastanawiać, jaka decyzja byłaby dla niego najbezpieczniejsza. W tym celu sprawdza on, jaka jest najmniejsza wysokość na poszczególnych

szlakach, aby wybrać ten szlak, na którym występuje największa z tych najmniejszych wysokości.

Okazuje się, że decyzją optymalną jest wybór strategii *A3*, tj. szlaku 1500-1000-1500-1500, ponieważ najniższy jego rejon ma jednak wysokość 1000 m, a wobec tego żadna strategia dowódcy belańskiego nie może zmusić Alańczyków do przyjęcia bitwy w rejonie jeszcze niżej położonym.

Z drugiej strony, nad wyborem strategii namyśla się również dowódca belański. Z jego punktu widzenia najbardziej atrakcyjne byłyby strategie *B1*, *B2* lub *B4*, gdyż na odpowiadających im szlakach znajdują się rejony położone najniżej, tj. na wysokości 500 m, a szczególnie strategia *B1*, której odpowiada szlak zawierający dwa rejony o tej wysokości. Wie on jednak, że mógłby być zmuszony do przyjęcia bitwy na wysokości 1500 m przy wyborze strategii *B1* (jeżeli przeciwnik wybierze strategię *A3*), a nawet na wysokości 2000 m przy wyborze strategii *B4* (jeżeli przeciwnik wybierze strategię *A4*). Wobec tego sprawdza on, jaka jest największa wysokość na poszczególnych szlakach, aby wybrać ten szlak, na którym występuje najmniejsza z tych największych wysokości. Decyzją optymalną okazuje się wybór strategii *B2*, tj. szlaku 1000-500-1000-1000, ponieważ najwyższy jego rejon ma zaledwie wysokość 1000 m, a wobec tego żadna strategia dowódcy alańskiego nie może już zmusić Belańczyków do przyjęcia bitwy w rejonie jeszcze wyższym.

Zauważmy, że Alańczyk wybrał strategię *A3* dlatego, że na odpowiadającym jej szlaku znajduje się rejon 1000 m. Z drugiej strony, Belańczyk wybrał strategię *B2* również dlatego, że na odpowiadającym jej szlaku znajduje się ten sam rejon 1000 m. Okazuje się, że obydwaj, przy wzajemnie wrogim nastawieniu i bez żadnego porozumiewania się ze sobą, postanowili stoczyć bitwę w jednym i tym samym rejonie 1000 m, chociaż z wręcz przeciwnych motywów: Alańczyk dla tego żeby nie być zmuszonym do walki w rejonie jeszcze niższym, Belańczyk dla tego żeby nie być zmuszonym do walki w rejonie jeszcze wyższym.

Do przyjęcia takich decyzji strategicznych, zgodnych co do wyboru miejsca bitwy, są oni zmuszeni względami bezpieczeństwa. Rzecz jasna, każdy z nich mógłby wybrać jakąkolwiek inną strategię, ale z ryzykiem, że przyjdzie mu stoczyć bitwę w gorszych warunkach.

Wynika stąd wniosek, że jeżeli jeden przeciwnik wybierze najbezpieczniejszą dla siebie strategię, to drugi też musi wybrać najbezpieczniejszą dla siebie strategię, jeśli bowiem wybierze inną, to napewno przegra. Ponieważ każdy z nich musi brać pod uwagę, że jego przeciwnik wybierze strategię dla siebie najbezpieczniejszą, więc dzięki temu było możliwe do przewidzenia dla każdego z nich, gdzie dojdzie do spotkania.

Jak widać, dla każdej strony podejmującej decyzję, strategia przeciwnika była początkowo parametrem nieznanym (znany był tylko

repertuar możliwych strategii), ale w wyniku analizy można było określić granicę tego parametru i na tej podstawie podjąć decyzję.

Należy podkreślić, że analiza polegała na wyszukiwaniu najgorszych miejsc w każdej strategii (szukaniu minimum w każdej strategii) i wyborze najlepszego z tych najgorszych miejsc (szukaniu ich maksimum). Dlatego też strategie tego rodzaju nazwano strategiami minimaksowymi.

Jak widzieliśmy, strategie minimaksowe prowadzą do punktu wspólnego dla strategii wybranych przez obie strony; nosi on nazwę punktusiodłowy, w związku z tym, że na wykresie zbiór rozpatrywanych możliwości ma kształt siodła, którego środek jest najniższym punktem w przekroju wzdłużnym, a zarazem najwyższym punktem w przekroju poprzecznym. Inaczej mówiąc, dla podejmującego decyzję punkt siodłowy stanowi najgorsze z tego, czego by chciał, ale najlepsze z tego, czego by nie chciał.

W rozpatrywanych powyżej decyzjach strategicznych istotne jest to, że macierz wypłat ma punkt siodłowy. Żaden z graczy nie ma powodu do zmienia swojej strategii, chociażby sytuacja powtarzała się jeszcze wiele razy. Każdy z nich mógłby nawet przed pierwszą rozgrywką ujawnić przeciwnikowi, jaką strategię zamierza wybrać, a jednak nie zmieniłoby to przebiegu gry. W takich przypadkach używa się nazwy: strategia minimaksowa czyasta.

Strategia taka nie jest jednak optymalna w przypadkach, gdy punkt siodłowy nie istnieje, tzn. gdy najlepszy z najgorszych wyników nie jest dla obu graczy jednakowy.

Objaśnimy to za pomocą następującego przykładu.

Dowództwo alańskie przeznaczyło jeden bombowiec do zbombardowania jednego z dwóch odległych od siebie obiektów przemysłowych na terenie Belanii. Jednym z tych obiektów jest zespół fabryk (który dla uproszczenia będziemy dalej nazywać krótko fabryką), drugim zaś zespół magazynów (zwany dalej krótko magazynem). Strata zadana Belanii przez zniszczenie fabryki wynosi 40 milionów zł., a przez zniszczenie magazynu 10 milionów zł. Belania ma do obrony tych obiektów jeden myśliwiec. Jeżeli wyleci on w kierunku tego obiektu, na który Alańczycy skierowali swój bombowiec, to do bombardowania nie dojdzie. *Jakie strategie powinny wybrać obie strony?*

Jeżeli Alańczycy zaatakują fabrykę, a Belańczycy zapewnili jej ochronę, to zysk Alańczyków (strata Belańczyków) wyniesie 0. Jeżeli jednak Belańczycy wysłali swój myśliwiec dla ochrony magazynu, to ich fabryka zostanie trafiona bombą, a więc zysk Alańczyków wyniesie 40 mln zł.

Jeżeli Alańczycy zaatakują magazyn, a tymczasem belański myśliwiec został wysłany dla ochrony fabryki, to magazyn zostanie zbombardowany i zysk Alańczyków wyniesie 10 milionów zł. Jeśli jednak Belańczycy zapewnili właściwie ochronę magazynu, to zysk Alańczyków wyniesie 0.

Na podstawie tych danych możemy sporządzić macierz wypłat.

		B	
		F	M
A	F	40	0
	M	0	10

Alańczycy mają więc do wyboru strategię AF (atakować fabrykę) i strategię AM (atakować magazyn). Belańczycy zaś strategię BF (bronić fabryki) i strategię BM (bronić magazynu).

Podchodząc do problemu intuicyjnie można by sądzić, że w interesie alańczyków leży bardziej atakowanie fabryki niż magazynu, jako zagrażające Belańczykom większymi stratami. Z tego samego powodu Belańczycy powinniby również bronić fabryki. Zbadajmy, jak to się przedstawia w oparciu o zasady teorii gier.

Przede wszystkim łatwo stwierdzić, że macierz nie ma punktu siodłowego. Wprawdzie Belańczycy — stosując zasadę strategii minimaksowej wybralioby strategię BF jako dającą pewność, że ich strata w najgorszym razie wyniesie 10 (przy wyborze strategii BM mogliby wynosić 40), ale Alańczycy nie mają tak wyraźnych podstawa do wyboru swojej strategii, gdyż zarówno przy strategii AF jak i strategii AM , najgorszy dla nich wynik jest jednakowy, a mianowicie wynosi 0, mogą więc wybrać zarówno jedną, jak i drugą strategię. Mogliby się oni kierować tylko tym, że w razie powodzenia strategia AF daje wygraną 40, większą niż wygrana 10 przy strategii AM . Przy jednorazowym bombardowaniu Alańczycy wybralioby więc strategię AF , co, wobec wybrania przez Belańczyków strategii BF , dałoby wynik 0.

Jednakże przy powtórnych bombardowaniach Alańczycy, spostrzegły, że Belańczycy stosują wyłącznie strategię BF , przeszliby na strategię AM zapewniając sobie tym wygraną 10. Wówczas i Belańczycy byliby zmuszeni przejść na strategię BM , aby sprowadzić wygraną Alańczyków do zera. Z kolei Alańczycy, widząc, że Belańczycy zaczęli teraz stosować strategię BM , powróiliby do strategii AF jako dającej im wygraną 40. Wtedy również Belańczycy powróiliby do strategii BF . W ten sposób zostałaby przywrócona sytuacja pierwotna i cały obieg przerzucania się obu stron od jednej strategii do drugiej zacząłby się powtarzać. Jest to konsekwencją braku punktu siodłowego. Stosowanie strategii minimaksowej czystej, z góry zmierzającej do wyniku odpowiadającego punktowi siodłowemu, okazało się niemożliwe.

Jest też widoczne, że tym razem żadna strona nie może sobie pozwolić na ujawnienie przeciwnikowi swojej strategii, gdyż zostałoby to wykorzystane przez przeciwnika na jej niekorzyść.

I wreszcie, z powyższych rozważań wynika nader istotny wniosek, że najlepszym postępowaniem każdej ze stron jest zmienianie stra-

tegii. Nosi to nazwę strategii minimaksowej mieszanej.

Nasuwa się z kolei pytanie, jak często każda strona powinna stosować jedną i drugą strategię.

Rozpatrzmy sprawę najpierw od strony alańskiej i oznaczmy częstość bombardowań fabryki belańskiej przez p . Wobec tego częstość bombardowań magazynu belańskiego będzie wynosić $1-p$.

Jeżeli Belańczycy będą stosować strategię BF , to średnia wygrana Alańczyków wyniesie

$$A_{BF} = 0 \cdot p + 10(1-p) = 10 - 10p$$

a jeżeli Belańczycy będą stosować strategię BM , to średnia wygrana Alańczyków wyniesie

$$A_{BM} = 40p + 0 \cdot (1-p) = 40p$$

W tym stanie rzeczy przed Alańczykami staje pytanie, jaka powinna być częstość p . Jeżeli Belańczycy będą bronić głównie fabryki (strategia BF), to Alańczykom nie opłaci się często ją atakować: lepiej skierować ataki na magazyn. Na przykład, przy $p = 0,1$ (tzn. że z 10 nalotów alańskich odbyłby się 1 nalot na fabrykę, a pozostałe 9 nalotów na magazyn) wygrana Alańczyków wynosiłaby

$$A_{BF} = 10 - 10 \cdot 0,1 = 9$$

natomiast przy $p = 0,9$ (9 nalotów na fabrykę, 1 nalot na magazyn) wynosiłaby

$$A_{BF} = 10 - 10 \cdot 0,9 = 1$$

a więc znacznie mniej.

Na odwrót, jeżeli Belańczycy będą bronić głównie magazynu (strategia BM), to częstość bombardowania fabryki powinna być duża. Na przykład, przy $p = 0,9$ wygrana Alańczyków wynosiłaby:

$$A_{BM} = 40 \cdot 0,9 = 36$$

podczas gdy przy $p = 0,1$ wynosiłaby zaledwie

$$A_{BM} = 40 \cdot 0,1 = 4$$

Niestety, Alańczycy nie wiedzą, czy powinni bombardować fabrykę z częstością p dużą czy małą, ponieważ nie wiedzą, jaką strategię wybiorą Belańczycy. Alańczycy mogą jednak zabezpieczyć się od niespodzianek stawiając sobie pytanie, przy jakiej częstości p wygrana ich będzie niezależna od tego, jaką strategię Belańczycy wybiorą, czyli przy jakiej częstości p zachodzi równość

$$A_{BF} = A_{BM}$$

Podstawiając do niej wyrażenia podane powyżej otrzymuje się

$$10 - 10p = 40p$$

skąd

$$p = 0,2$$

wówczas

$$A_{BF} = 10 - 10 \cdot 0,2 = 8$$

$$A_{BM} = 40 \cdot 0,2 = 8$$

a zatem jeżeli Alańczycy z każdych 10 nalotów skierują 2 naloty na fabrykę, a pozostałe 8 nalotów na magazyn, to bez względu na strategię Belańczyków osiągną średnią wygraną 8.

Do tego samego wyniku można dojść metodą wykresową, przedstawiając na jednej osi współrzędnych częstość p , a na drugiej wygraną A , uzyskiwaną przez Alańczyków (rys. 37b).

Kreśląc proste przedstawiające wygrane A_{BF} i A_{BM} otrzymuje się ze współrzędnych punktu ich przecięcia: $p = 0,2$ oraz $A = 8$.

Z kolei rozpatrzmy sprawę od strony Belańczyków i oznaczmy częstość wysyłania myśliwca do obrony fabryki przez q . Wobec tego częstość wysyłania myśliwca do obrony magazynu będzie wynosić $1 - q$.

Jeżeli Alańczycy będą stosować strategię AF , to średnia strata Belańczyków wyniesie

$$B_{AF} = 0 \cdot q + 40(1 - q) = 40 - 40q$$

a jeżeli Alańczycy będą stosować strategię AM , to średnia strata Belańczyków wyniesie

$$B_{AM} = 10q + 0(1 - q) = 10q$$

Teraz, podobnie jak Alańczycy, Belańczycy zadają sobie pytanie, jaka powinna być częstość q . Jeżeli Alańczycy będą atakować głównie fabrykę (strategia AF), to Belańczykom opłaci się głównie tam wysyłać myśliwiec. Na przykład, przy $q = 0,1$ (a więc np. z 10 lotów 1 lot odbyły się dla ochrony fabryki, a 9 lotów dla obrony magazynu) strata Belańczyków wynosiłaby

$$B_{AF} = 40 - 40 \cdot 0,1 = 36$$

natomiast przy $q = 0,9$ (np. 9 lotów dla ochrony fabryki, 1 lot dla ochrony magazynu) wynosiłaby jedynie

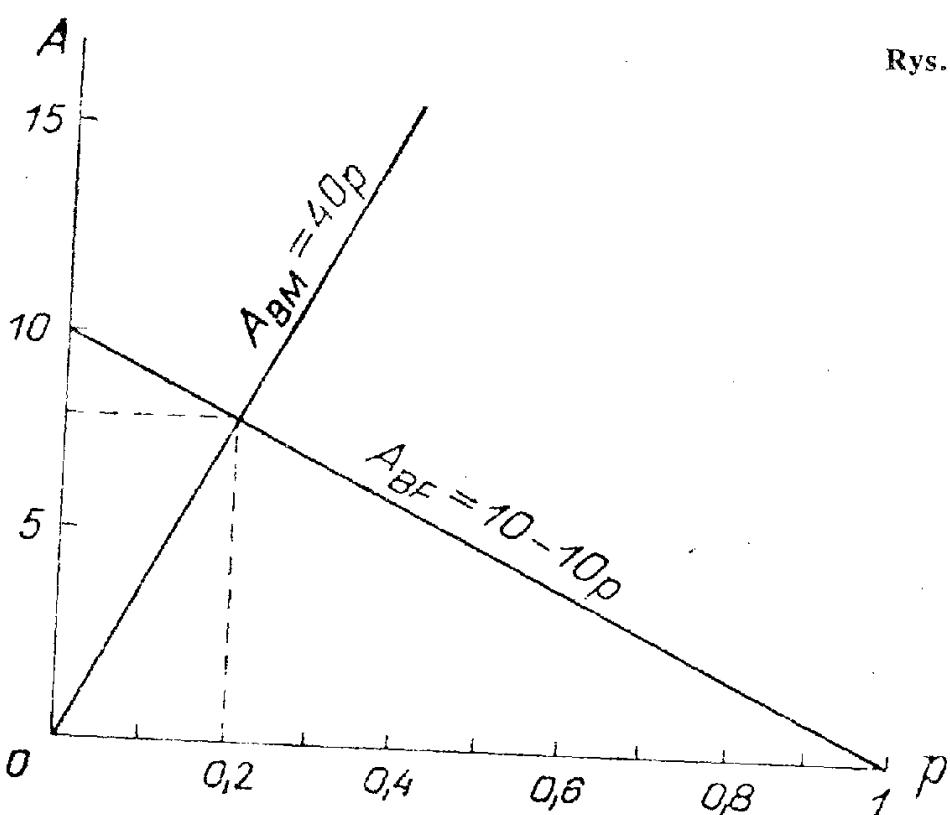
$$B_{AF} = 40 - 40 \cdot 0,9 = 4.$$

Natomiast jeżeli Alańczycy będą atakować głównie magazyn (strategia AM), to częstość lotów belańskiego myśliwca dla ochrony fabryki powinna być mała (loty powinny się odbywać głównie dla ochrony

magazynu). Na przykład, przy $q = 0,1$ strata Belańczyków wynosiłaby

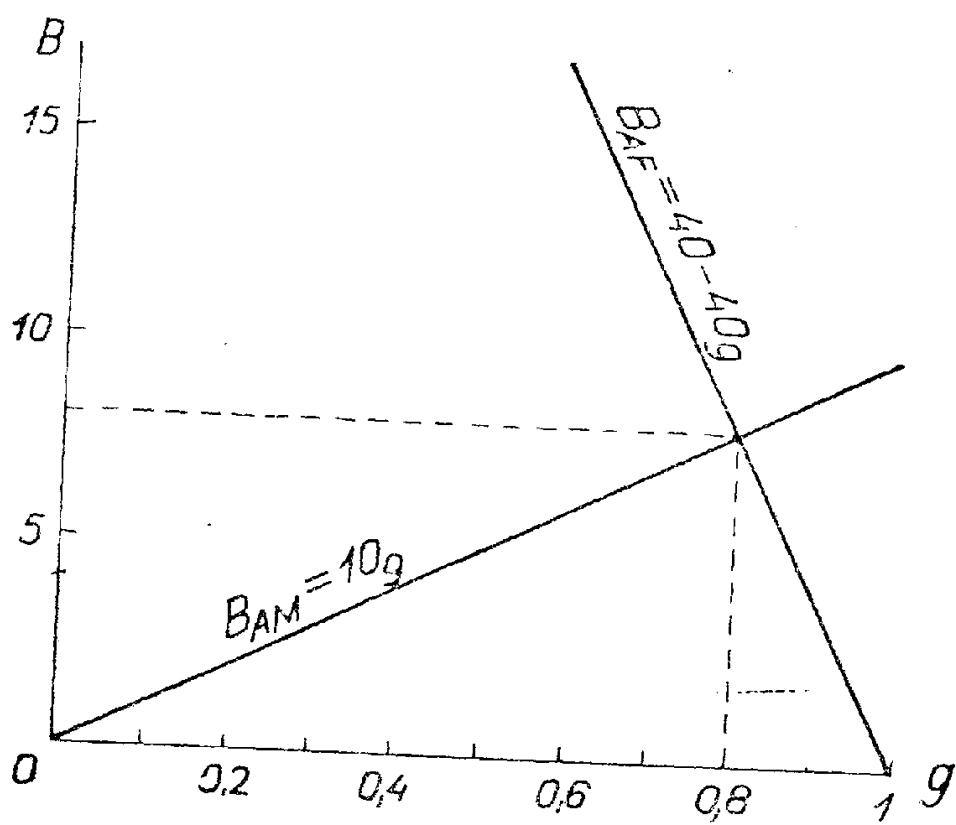
$$B_{AM} = 10 \cdot 0,1 = 1$$

a)



Rys. 37

b)



podczas gdy przy $q = 0,9$ wynosiłaby

$$B_{AM} = 10 \cdot 0,9 = 9.$$

Z braku informacji, czy Alańczycy będą atakować głównie fabrykę czy magazyn, Belańczycy nie wiedzą, czy ich loty dla ochrony fabryki powinny miećczęstość q dużą czy małą. Jednakże, podobnie jak Alańczycy, mogą się oni uniezależnić od strategii Alańczyków przez dobranie takiej częstotliwości q , przy której

$$B_{AF} = B_{AM}$$

czyli

$$40 - 40q = 10q$$

skąd

$$q = 0,8$$

wówczas

$$B_{AF} = 40 - 40 \cdot 0,8 = 8$$

$$B_{AM} = 10 \cdot 0,8 = 8$$

a więc jeżeli Belańczycy na 10 lotów swojego myśliwca przeznaczają 8 lotów do ochrony fabryki a 2 loty do ochrony magazynu, to średnia ich strata wyniesie 8, bez względu na strategię Alańczyków.

Ten sam wynik można otrzymać na wykresie (rys. 37b), kreśląc proste przedstawiające straty B_{AF} i B_{AM} i odczytując współrzędne punktu przecięcia: $q = 0,8$ oraz $B = 8$.

Jak widać, Belańczycy powinni cztery razy częściej zajmować się obroną fabryki niż magazynu (zresztą czegoś w tym rodzaju można było oczekiwac), ale Alańczycy powinni atakować cztery razy częściej magazyn niż fabrykę (a to już jest wniosek, którym czytelnicy mogą się czuć zaskoczeni). Przy takich strategiach Alańczycy zyskują pewność, że średnia strata Alańczyków wyniesie co najmniej 8 milionów zł. Belańczycy zaś, że średnia ich strata wyniesie co najwyżej 8 milionów zł. Jeżeli obie strony będą się ściśle trzymać swoich optymalnych strategii, to średnia strata nie będzie ani mniejsza ani większa od 8 milionów zł.

Pozostaje wyjaśnić, jaka powinna być kolejność lotów, przy dotrzymaniu ich częstotliwości. Na przykład, czy Alańczycy, wiedząc, że powinni atakować fabrykę z częstotliwością $p = 0,2$ mają dokonać najpierw 2 nalotów na fabrykę a potem 8 nalotów na magazyn?

Rzecz w tym, że średnia wygrana i średnia przegrana mają tylko wtedy sens, kiedy jeden z graczy nie może się dopatrzyć żadnego uporządkowania w strategiach drugiego, inaczej bowiem od razu wykorzystałby to przy wyborze własnych strategii, jak to przedstawiliśmy przystępując do omawiania tego przykładu. Aby tego uniknąć, każda strona musi nadać zmianom swoich strategii charakter jak najbardziej przypadkowy (losowy), chociażby rzucaniem kostki do gry lub zabawianiem

się w orła i reszkę przez podrzucanie monety (to ostatnie jest przydatne przy częstości wynoszącej 0,5). Można też korzystać z tablic liczb losowych, opracowanych do celów wymagających dokonywania wyboru w sposób zupełnie nieuporządkowany.

Czytelnik może powątpiewać o wartości strategii, której wybór pozostawia się w końcu przypadkowi. Jest to wrażenie złudne. Przypadkowe są tylko poszczególne strategie, ale to właśnie zapewnia najdokładniejsze z możliwych przewidywanie wyniku całego zespołu strategii.

Należy podkreślić uderzające podobieństwo między strategią minimaksową czystą i mieszanaą. W strategii minimaksowej czystej wystarcza znaleźć punkt siodłowy i wybrać zawierającą go strategię, ażeby mieć pewność osiągnięcia co najmniej wyniku określonego tym punktem, bez względu na strategię wybraną przez przeciwnika. W strategii minimaksowej mieszanej wystarcza znaleźć odpowiedni rozkład częstości poszczególnych strategii, ażeby mieć pewność osiągnięcia co najmniej wyniku określonego tym rozkładem częstości. Podobieństwo między obydwoma rodzajami strategii wynika po prostu stąd, że strategia minimaksowa czysta jest szczególnym przypadkiem strategii minimaksowej mieszanej, takim mianowicie, w którym częstość wybranej strategii jest równa 1, tzn. że strategia ta jest stale stosowana, a częstość pozostałej strategii jest równa 0, tzn. jest to strategia wcale nie stosowana w danej grze.

Warto zapamiętać niezwykle prostą regułę*) obliczania częstości optymalnej dla strategii minimaksowych mieszanych.

W tym celu należy od zapisów jednej strategii przeciwnika odjąć zapisy drugiej jego strategii, a otrzymane w wyniku dwie liczby przedstawić miejscami (opuszczając minus przy liczbie ujemnej) i podzielić każdą z nich przez sumę obu liczb. Pierwsza z otrzymanych w ten sposób liczb będzie częstością, z jaką powinniśmy stosować pierwszą naszą strategię, druga zaś częstością, z jaką powinniśmy stosować drugą naszą strategię.

Zastosujmy tę regułę do ostatnio rozpatrywanego przykładu.

Stawiając się w położeniu Belańczyków odejmujemy od zapisów alańskiej strategii *AF* zapisy alańskiej strategii *AM*:

$$\begin{array}{r} 0 \\ 10 \\ \hline -10 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 40 \\ 0 \\ \hline 40 \end{array}$$

przestawiamy otrzymane liczby (opuszczając minus)

$$10 \qquad 40$$

*) J. D. Williams *Strateg doskonały — wprowadzenie do teorii gier*, Warszawa 1965, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, seria *Omega*.

i dzielimy każdą z nich przez ich sumę

$$\frac{40}{40+10} = 0,8 \quad \frac{10}{40+10} = 0,2$$

skąd wynika częstość 0,8 dla strategii *BF* i 0,2 dla strategii *BM*.

Stawiając się w położeniu Alańczyków odejmujemy od zapisów belańskiej strategii *BF* zapisy belańskiej strategii *BM*:

0	10
40	0
<hr/> — 40	<hr/> 10

przestawiamy otrzymane liczby (opuszczając minus)

10	40
----	----

i dzielimy każdą z nich przez ich sumę

$$\frac{10}{10+40} = 0,2 \quad \frac{40}{10+40} = 0,8$$

skąd wynika częstość 0,2 dla strategii *AF* i częstość 0,8 dla strategii *BM*.

Są to takie same wyniki, jakie otrzymaliśmy poprzednio.

Jako przykład historyczny problemu, w którym decyzja mogłaby być podjęta w oparciu o teorię gier, można przytoczyć znaną z wojny rosyjsko-japońskiej sprawę przepłygnięcia floty rosyjskiej przez cieśniny malajskie. Gdy admirał Rożdestwieński dopłynął do cieśnin malajskich, znalazł się wobec konieczności podjęcia decyzji, którą z cieśnin wybrać: szeroką czy wąską.

Rozumowanie, jakie w związku z tym przeprowadził, przebiegało mniej więcej następująco: *Japończycy, wiedząc niewątpliwie o zbliżaniu się floty rosyjskiej, zechcą zająć stanowisko u wylotu cieśnin. W zasadzie powinieneś się zdecydować na wybór drogi najdogodniejszej, tj. przez szeroką cieśninę. Jednakże wie o tym również admiral japoński i wobec tego będzie nas oczekivał właśnie u wylotu szerokiej cieśniny. Licząc się z tym powinieneś wybrać wąską cieśninę, ale admiral japoński z łatwością się domyśli, dlatego też postanawiam przepłynąć szeroką cieśnинą.*

Decyzja Rożdestwieńskiego okazała się trafna — przepłynął bez przeszkód, gdyż flota japońska istotnie oczekiwana była u wylotu wąskiej cieśniny.

Gdy po klęsce pod Cuszimą dowództwo rosyjskie zdecydowało się wysłać drugą flotę na teren wojny, następca Rożdestwieńskiego, dopłynąwszy do cieśnin malajskich, znalazł się wobec takiego samego problemu. Rozumował on tak: *Decyzja Japończyków, żeby flotę Rożdestwieńskiego oczekivać u wylotu wąskiej cieśniny, okazała się dla nich błędna. Nauczeni tym doświadczeniem będą oni tym razem oczekivać nas przy wylocie szerokiej cieśniny, wobec czego powinienym płynąć*

wąską cieśniną. Jednakże admiral japoński niewątpliwie się tego domyślił i będzie nas oczekwał przy wylocie wąskiej cieśniny. Dlatego też postanawiam płynąć szeroką cieśniną.

Jak się następnie okazało, i ta decyzja Rosjan była trafna, gdyż Japończycy oczekiwali ich znów przy wylocie wąskiej cieśniny.

Jak widać, każda ze stron podjęła taką samą decyzję jak za poprzednim razem i sytuacja powtórzyła się.

Czytelnik może słusznie zauważać, że rozumowanie obu rosyjskich admirałów, oparte na domniemaniach o domyślności japońskiego dowództwa, mogło równie dobrze doprowadzić do nietrafnej decyzji, np. gdyby Japończycy zdecydowali się zająć stanowiska u wylotu szerokiej cieśniny, bądź też gdyby któryś z rosyjskich admirałów zakończył swoje rozumowanie decyzją popłynięcia wąską cieśniną. Innymi słowy, obie decyzje obu stron wydają się przypadkowe.

Wobec tego postarajmy się zanalizować sprawę w oparciu o zasady teorii gier. W tym celu sporządzimy macierz, w której oceny poszczególnych możliwości przedstawimy z punktu widzenia np. strony japońskiej.

Decyzja Japończyków będzie trafna, jeżeli wybiorą tę samą cieśninę, co Rosjanie, nietrafna zaś, jeżeli wybiorą inną cieśninę, niż Rosjanie.

		Dowództwo floty rosyjskiej	
		szeroka cieśnina	wąska cieśnina
Dowództwo floty japońskiej	szeroka cieśnina	+	—
	wąska cieśnina	—	++

Jeśli chodzi o nietrafne decyzje Japończyków, to są one dla nich jednakowo nietrafne, jest im bowiem wszystko jedno, czy nie zdołali Rosjan zatrzymać dlatego, że wybrali szeroką cieśninę, podczas gdy Rosjanie popłynęli wąską cieśniną, czy też dlatego, że wybrali wąską cieśninę, podczas gdy Rosjanie wybrali szeroką cieśninę. Natomiast inaczej jest gdy chodzi o trafne decyzje Japończyków: jest dla nich korzystniej stoczyć bitwę, gdy flota rosyjska znajdzie się w wąskiej cieśninie niż szerokiej. A zatem dla Japończyków wybór szerokiej cieśniny może się okazać decyzją nietrafną (—) lub trafną (+). Wybór zaś wąskiej cieśniny może się dla nich okazać decyzją nietrafną (—) lub bardzo trafną (++) .

Analogiczne rozumowanie można przeprowadzić dla strony rosyjskiej, z tym że oceny poszczególnych możliwości wypadłyby przeciwnie.

Jeżeli chodzi o trafne decyzje Rosjan, tj. wybór innej cieśniny niż wybrana przez Japończyków, to jest im wszystko jedno, czy wymkną się Japończykom dzięki temu, że wybrali szeroką cieśninę, podczas gdy Japończycy czekali na nich przy wylocie wąskiej cieśniny, czy też dzięki temu, że wybrali wąską cieśninę, podczas gdy Japończycy czekali na nich u wylotu szerokiej cieśniny. Natomiast jeżeli chodzi o nietrafne decyzje Rosjan, to jest dla nich mniej groźne stoczyć bitwę w szerokiej cieśninie niż w wąskiej. A zatem dla Rosjan wybór szerokiej cieśniny może się okazać decyzją trafną lub nietrafną, wybór zaś wąskiej cieśniny może się dla nich okazać decyzją trafną lub bardzo nietrafną.

Łatwo stwierdzić, że macierz problemu przepłygnięcia cieśnin malajskich ma postać podobną do macierzy problemu bombardowania obiektów belańskich przez Alańczyków. Wobec braku punktu siodłowego nie można wskazać strategii minimaksowej czystej. Gdyby problem polegał na wielokrotnym przepływaniu cieśnin, można by spróbować oceny liczbowej wyników minus (—), plus (+), i dwa plusy (++), i wyznaczyć częstości wyboru cieśnin dla Rosjan i dla Japończyków, tj. zastosować strategię minimaksową mieszaną. Strategia taka jednak również nie wchodzi w grę, gdyż problem przepłygnięcia cieśnin jest jednorazowy. Wprawdzie powtórzył się on jeszcze raz, ale jest to zbyt mało do oparcia się na obliczaniu wyników średnich.

Wobec tego pozostaje do dyspozycji jedynie następujące rozumowanie. Z braku jakichkolwiek danych Rosjanie muszą założyć, że z równym prawdopodobieństwem Japończycy mogą ich oczekивать u wylocu szerokiej jak i wąskiej cieśniny. Jeżeli Rosjanom zdarzy się podjąć decyzję trafną, tj. wybrać inną cieśninę niż Japończycy, to ponieważ w obu możliwych przypadkach wynik jest dla Rosjan jednakowo korzystny, nie daje im to podstawy do uważania jednej ich strategii za lepszą lub gorszą od drugiej. Natomiast w razie nietrafnej decyzji Rosjan jest dla nich bezpieczniej przyjąć bitwę w szerokiej cieśninie, i dlatego tą właśnie cieśnинą powinni płynąć. I rzeczywiście taką decyzję podjęło dowództwo rosyjskie w obu przypadkach.

Podobnie Japończycy muszą się liczyć z różnym prawdopodobieństwem wyboru jednej lub drugiej cieśniny przez Rosjan. W razie podjęcia nietrafnej decyzji przez Japończyków, wynik jest dla nich w obu przypadkach jednakowo niekorzystny, nie daje im to więc podstawy do wyboru strategii. Natomiast w razie trafnej decyzji Japończyków korzystniejsze jest dla nich stoczenie bitwy w wąskiej cieśninie, toteż u jej wylotu powinni oczekивать Rosjan, i tak też postąpiło dowództwo japońskie w obu przypadkach.

Jest godne uwagi, że chociaż za pierwszym i za drugim razem wynik był korzystny dla Rosjan (w sensie przepłygnięcia cieśnin bez przeszkód ze strony japońskiej), to jednak decyzje obu stron były prawidłowe.

Wspomnieliśmy już uprzednio o możliwości traktowania *walki z naturą* jako gry. Na przykład organizując przedsiębiorstwo tury-

styczne można by traktować różne propozycje jego lokalizacji (nad mорzem czy w górach itp.) jako strategie własne, pogodę zaś, od której powodzenie przedsięwzięcia niewątpliwie byłoby zależne, jako strategie natury. Określając liczbowo wszelkie możliwe wyniki, można by ułożyć macierz wypłat i na jej podstawie wybrać strategię optymalną.

Między grą z naturą a grą z żywym przeciwnikiem istnieje jednak istotna różnica.

W grze z żywym przeciwnikiem stosowanie strategii minimaksowej jest uzasadnione dążeniem do zapewnienia sobie najlepszego wyniku spośród najgorszych możliwych, wiadomo bowiem, że odstępstwo od takiej strategii mogłoby być przez przeciwnika niezwłocznie wykorzystane. Jest to więc strategia pesymistyczna.

Natura jednak nie jest zainteresowana w szkodzeniu nam. Gdyby stosować do niej strategię minimaksową, tj. zakładać że we wszystkich dzielnicach kraju będą występować trzaskające mrozy, zawieje śnieżne i przewlekłe deszcze, to przy takim pesymizmie trzeba byłoby rezygnować z wielu rzeczy, np. z wyjazdów na wczasy, i to najzupełniej niepotrzebnie, nie ma bowiem obawy, żeby natura zechciała nam te zamiary pokrzyżować.

Równie dobrze można by obrać strategię optymistyczną, zakładając, że lata będą słoneczne a zimy łagodne, ale należy brać pod uwagę, że i ten skrajny stan jest mało prawdopodobny (można tu sobie pozwolić na złośliwe spostrzeżenie, że zakład oczyszczania miasta z uporem trzyma się takiej właśnie strategii optymistycznej — każdy śnieg jest tam traktowany jako nie dający się przewidzieć wybryk natury).

Najrozsądzniejsze wydaje się założenie, że w naturze zachodzą zjawiska przeciętne, i opieranie na tym wyboru strategii.

Obecnie poświęcimy nieco uwagi optymalizacji w problemach wymagających kolejnego podejmowania wielu decyzji, z których każda polega na dokonywaniu wyboru spośród pewnej liczby możliwości, przy czym każda następna decyzja dotyczy stanu spowodowanego przez poprzednią decyzję.

Na przykład, w polityce inwestycyjnej obejmującej wieloletni okres czasu nie przydziela się funduszy inwestycyjnych z góry na cały ten okres (choćby z tego powodu, że nie ma się ich w całości do dyspozycji na początku tego okresu) lecz np. na jeden rok, z zamiarem dokonania następnego przydziału po upływie pierwszego roku i w zależności od stanu, jaki będzie po tym roku istniał w wyniku pierwszego przydziału, oraz dalszych przydziałów po upływie drugiego roku, trzeciego itd. Pomimo takiego rozstawienia decyzji w odstępach rocznych, stawia się jednak wymagania optymalizacji inwestycji za cały wieloletni okres.

Problemy tego rodzaju występują np. w rolnictwie, gdzie zbiorami w przyszłych latach będzie się dysponować w zależności od zbiorów w roku poprzedzającym, w przedsiębiorstwach przemysłowych i handlowych przy ustalaniu zapasów surowców i towarów na następny miesiąc

w zależności od stanu, jaki powstanie po upływie poprzedniego miesiąca, itp.

W problemach takich parametrami wejściowymi do podejmowania następnej decyzji są parametry wyjściowe będące wynikiem poprzedniej decyzji.

W zależności od tego, czy parametry te dają się określić dokładnie, czy tylko z pewnym prawdopodobieństwem, czy też są one nieznane, będą podejmowane decyzje deterministyczne, probabilistyczne lub strategiczne. Postępując według zasad omówionych w odniesieniu do poszczególnych rodzajów decyzji, należało by w problemach wymagających pewnej serii decyzji potraktować zespół związków występujących między wszystkimi wchodzącyymi w grę wielkościami jako jedno zadanie wymagające optymalizacji. Przy wielu zmiennych postępowanie takie jest jednak bardzo kłopotliwe i czasochłonne.

Do rozwiązywania takich problemów została opracowana przez R. Bellmana prostsza metoda zwana programowaniem dynamicznym. Jest ona oparta na twierdzeniu, że aby cała seria kolejnych decyzji dała wynik optymalny, to każde przejście od poprzedniej decyzji do następnej powinno być optymalne. Dzięki temu rozwiązywanie złożonego problemu optymalizacyjnego można zastąpić kolejnym rozwiązywaniem znacznie prostszych zadań cząstkowych, przy czym do rozwiązywania każdego z tych zadań wykorzystuje się rozwiązanie poprzedniego zadania. Po rozwiązaniu ostatniego zadania bierze się pod uwagę warunek ograniczający decyzję, dany dla całego problemu, i na tej podstawie, cofając się do rozwiązań poprzednich, rozwiązań cząstkowych, aż do pierwszego, znajduje się wszystkie decyzje cząstkowe.

*

Zilustrujemy to następującym przykładem.

Zadanie. Powierzchnia projektowanego magazynu w postaci prostokąta, którego jeden bok wynosi 30 m, ze względu na segregację towarów ma być podzielona prostopadle do tego boku na cztery pasy w taki sposób, żeby pierwszy pas składał się z 6 kwadratów, drugi z 3 kwadratów, trzeci z 2 kwadratów, czwarty zaś z 4 kwadratów. Jakie powinny być szerokości tych pasów, aby powierzchnia magazynu była najmniejsza?

Zadanie to można rozwiązać metodą programowania dynamicznego w następujący sposób. Oznaczając szukane szerokości przez x, y, z, w , powierzchnię zaś przez S możemy napisać

$$x + y + z + w = 30$$

$$S = 6x^2 + 3y^2 + 2z^2 + 4w^2$$

przy czym szukana jest najmniejsza powierzchnia S_{\min} .

Zajmiemy się najpierw tylko pierwszym pasem o szerokości x . Oczywiście przy takim założeniu szerokość magazynu wynosiłaby mniej niż 30 m. Oznaczmy ją przez c_1 . Jest ona równa szerokości x pierwszego pasa, jako jedynie branego pod uwagę

$$x = c_1$$

oznaczając w tym przypadku powierzchnię przez S_1 możemy napisać

$$S_1 = 6x^2$$

czyli

$$S_1 = 6c_1^2$$

Ponieważ przy braniu pod uwagę tylko jednego pasa jest to zarazem najmniejsza możliwa powierzchnia, więc

$$S_{1\min} = 6c_1^2$$

Teraz uwzględnimy również drugi pas o szerokości y . W tym przypadku szerokość magazynu wyniosłaby więcej niż c_1 o szerokość y . Oznaczając ją przez c_2 możemy napisać

$$c_2 = c_1 + y$$

skąd

$$c_1 = c_2 - y$$

Przy uwzględnieniu drugiego pasa powierzchnia magazynu byłaby równa najmniejszej powierzchni $S_{1\min}$, jaką otrzymuje się biorąc pod uwagę tylko pierwszy pas, zwiększonej o składnik $3y^2$

$$S_2 = S_{1\min} + 3y^2$$

czyli

$$S_2 = 6c_1^2 + 3y^2$$

a po podstawieniu c_1 z poprzedniego wzoru

$$S_2 = 6(c_2 - y)^2 + 3y^2$$

Teraz musimy znaleźć, przy jakiej szerokości y powierzchnia S_2 będzie najmniejsza. W tym celu przekształcimy to równanie w następujący sposób:

$$\begin{aligned} S_2 &= 6(c_2^2 - 2c_2y + y^2) + 3y^2 = \\ &= 6c_2^2 - 12c_2y + 6y^2 + 3y^2 = \\ &= 6c_2^2 - 12c_2y + 9y^2 = \\ &= 9y^2 - 2 \cdot 3y \cdot 2c_2 + 4c_2^2 - 4c_2^2 + 6c_2^2 = \\ &= (3y - 2c_2)^2 + 2c_2^2 \end{aligned}$$

Przedstawiśmy powierzchnię S_2 jako sumę dwóch składników, z których tylko pierwszy zależy od y . Gdy ten składnik będzie równy zeru, czyli gdy

$$3y - 2c_2 = 0$$

skąd

$$y = \frac{2c_2}{3}$$

wówczas suma S_2 będzie najmniejsza

$$S_{2\min} = 2c_2^2$$

Z kolei uwzględnimy również trzeci pas o szerokości z . W tym przypadku szerokość magazynu wynosiłaby więcej niż c_2 o szerokość z . Oznaczając ją przez c_3 możemy napisać

$$c_3 = c_2 + z$$

skąd

$$c_2 = c_3 - z$$

Powierzchnia magazynu byłaby równa najmniejszej powierzchni $S_{2\min}$, jaką otrzymuje się przy uwzględnieniu tylko pierwszego i drugiego pasa, zwiększonej o składnik $2z_2$

$$S_3 = S_{2\min} + 2z^2$$

czyli

$$S_3 = 2c_2^2 + 2z^2$$

a po podstawieniu c_2 z poprzedniego wzoru

$$S_3 = 2(c_3 - z)^2 + 2z^2$$

Aby znaleźć, przy jakiej szerokości z powierzchnia S_3 będzie najmniejsza, przekształcimy to równanie podobnie jak dla S_2

$$\begin{aligned} S_3 &= 2(c_3^2 - 2c_3z + z^2) + 2z^2 = \\ &= 2c_3^2 - 4c_3z + 2z^2 + 2z^2 = \\ &= 2c_3^2 - 4c_3z + 4z^2 = \\ &= 4z^2 - 2 \cdot 2z \cdot c_3 + c_3^2 - c_3^2 + 2c_3^2 = \\ &= (2z - c_3)^2 + c_3^2 \end{aligned}$$

Gdy pierwszy składnik będzie równy zeru, czyli

$$2z - c_3 = 0$$

skąd

$$z = \frac{c_3}{2}$$

wówczas suma S_3 będzie najmniejsza

$$S_{3\min} = c_3^2$$

I wreszcie uwzględnimy również czwarty pas o szerokości w . W tym przypadku szerokość c_3 magazynu będzie wynosić więcej niż c_4 o szerokość w

$$c_4 = c_3 + w$$

skąd

$$c_3 = c_4 - w$$

Powierzchnia magazynu będzie równa najmniejszej powierzchni $S_{3\min}$, jaką otrzymuje się przy uwzględnieniu pierwszego, drugiego i trzeciego pasa, zwiększonej o składnik $4w^2$

$$S_4 = S_{3\min} + 4w^2$$

czyli

$$S_4 = c_3 + 4w^2$$

a po podstawieniu c_3 z poprzedniego wzoru

$$S_4 = (c_4 - w)^2 + 4w^2$$

Aby znaleźć, przy jakiej szerokości w powierzchnia S_4 będzie najmniejsza, przekształcimy to równanie podobnie jak w poprzednich przypadkach:

$$\begin{aligned} S_4 &= c_4^2 - 2c_4w + w^2 + 4w^2 = \\ &= c_4^2 - 2c_4w + 5w^2 = \\ &= 5\left(w^2 - \frac{2}{5}c_4w\right) + c_4^2 = \\ &= 5\left(w^2 - 2w \cdot \frac{c_4}{5} + \frac{c_4^2}{25} - \frac{c_4^2}{25}\right) + c_4^2 = \\ &= 5\left(w^2 - 2w \cdot \frac{c_4}{5} + \frac{c_4^2}{25}\right) - \frac{c_4^2}{5} + c_4^2 = \\ &= 5\left(w - \frac{c_4}{5}\right)^2 + \frac{4c_4^2}{5} \end{aligned}$$

Gdy pierwszy składnik będzie równy zeru, czyli

$$w - \frac{c_4}{5} = 0$$

skąd

$$w = \frac{c_4}{5}$$

wówczas suma S_4 będzie najmniejsza

$$S_{4\min} = \frac{4c_4}{5}$$

Ponieważ uwzględniliśmy już wszystkie cztery pasy, a z warunków zadania wiadomo, że szerokość całego magazynu wynosi 30 m, więc

$$c_4 = 30 \text{ m}$$

Najmniejsza powierzchnia $S_{4\min}$ jest zarazem szukaną najmniejszą powierzchnią S_{\min} całego magazynu wynoszącą

$$S_{\min} = S_{4\min} = \frac{4c_4^2}{5} = \frac{4 \cdot 30^2}{5} = 720 \text{ m}^2$$

Cofając się do początku poprzez wszystkie etapy obliczeń znajdujemy szerokość czwartego pasa

$$w = \frac{c_4}{5} = \frac{30}{5} = 6 \text{ m}$$

i możemy obliczyć

$$c_3 = c_4 - w = 30 - 6 = 24 \text{ m}$$

wobec czego szerokość trzeciego pasa wynosi

$$z = \frac{c_3}{2} = \frac{24}{2} = 12 \text{ m}$$

co pozwala obliczyć

$$c_2 = c_3 - z = 24 - 12 = 12 \text{ m}$$

a więc szerokość drugiego pasa wynosi

$$y = \frac{2c_2}{3} = \frac{2 \cdot 12}{3} = 8 \text{ m}$$

Z kolei obliczamy

$$c_1 = c_2 - y = 12 - 8 = 4 \text{ m}$$

wobec czego szerokość pierwszego pasa wynosi

$$x = c_1 = 4 \text{ m}$$

Zadanie zostało rozwiążane: najmniejsza powierzchnia magazynu wynosi 720 m^2 , przy czym uzyskuje się ją przy szerokościach pasów $x = 4 \text{ m}$, $y = 8 \text{ m}$, $z = 12 \text{ m}$, $w = 6 \text{ m}$. Zgodnie z warunkami zadania suma ich jest równa 30 m. Długość drugiego boku magazynu jest równa długości pasów wynoszącej 24 m (6 kwadratów o boku

4 m, 3 kwadraty o boku 8 m, 2 kwadraty o boku 12 m, 4 kwadraty o boku 6 m).

Przebieg rozwiązania uwydatnia ideę programowania dynamicznego: rozkład problemu optymalizacyjnego na kilka prostych zadań cząstkowych. Gdyby w omawianym przykładzie było nie cztery pasy lecz nawet sto pasów, to rozwiązanie nie stałoby się przez to trudniejsze. Trzeba byłoby tylko rozwiązać kolejno sto prostych zadań cząstkowych.

*

Metodą programowania dynamicznego można również rozwiązywać zadania z zakresu planowania, w których decyzje odnoszące się do poszczególnych lat powinny zapewnić wynik optymalny dla pewnego wieloletniego okresu czasu. Można tu wymienić takie zadania, jak np. jaką w każdym roku ilość ziarna przeznaczyć na zasiew a jaką na sprzedaż, jaką część stali przeznaczyć na wyroby użytkowe a jaką na nowe maszyny produkcyjne, ilu specjalistów skierować do pracy produkcyjnej a ilu do kształcenia dalszych specjalistów, itp.

Metoda ta nadaje się również do rozwiązywania problemów o nieskończonej liczbie stanów. Otrzymuje się wówczas wzór określający po prostu zasadę decydowania w optymalizowanym procesie.

Obecnie omówimy podejmowanie decyzji optymalizacyjnych zapewniających osiągnięcie najkrótszego czasu realizacji przedsięwzięć złożonych z wielu czynności.

Do tego celu stosowana jest metoda wykresów sieciowych.

Bywa ona też określana skrótem PERT angielskiego wyrażenia „Program Evaluation and Review Technique” (metoda oceny i kontroli programu). Niekiedy określa się ją też skrótem PEP angielskiego wyrażenia „Program Evaluation Procedure” (procedura oceny programu) lub skrótem CPA angielskiego wyrażenia „Critical Path Analysis” (analiza drogi krytycznej). W Polsce bywa ona określana skrótem MOP (metoda organizacji przedsięwzięć).

Po raz pierwszy metoda wykresów sieciowych została zastosowana przez amerykańską marynarkę wojenną w 1958 r. przy opracowywaniu rakiety Polaris, w wyniku czego termin wykonania, przewidziany początkowo na 1963 r., został skrócony o dwa lata.

Metoda wykresów sieciowych polega na następującym postępowaniu. Analizując możliwości wykonania zamierzzonego przedsięwzięcia wyodrębnia się poszczególne jego czynności, z których każdą przedstawia się za pomocą odcinka, przy czym jeden jego kraniec (początek) odpowiada rozpoczęciu czynności, a drugi kraniec (koniec) jej zakończeniu. Czynności następujące bezpośrednio po sobie przedstawia się łącząc koniec jednego odcinka z początkiem następnego. Czynności jednocześnie się rozpoczynające przedstawia się za pomocą odcinków, których początki stanowią wspólny punkt. Czynności jednocześnie się kończące przedstawia się za pomocą odcinków, których końce stanowią

wspólny punkt. W wyniku takiego postępowania otrzymuje się sieć utworzoną z odcinków przedstawiających poszczególne czynności i zależności między nimi oraz z punktów przedstawiających fakty (stany) między czynnościami. Końce odcinków zaznacza się strzałkami, punkty zaś oznacza się numerami, co pozwala zapisać każdą czynność za pomocą numeru punktu początkowego i numeru punktu końcowego.

Na każdym odcinku zaznacza się przewidywany czas trwania czynności odpowiadającej temu odcinkowi (i ewentualnie koszty wykonania czynności). Od punktu odpowiadającego rozpoczęciu najwcześniej-szych czynności (początek przedsięwzięcia) do punktu odpowiadającego zakończeniu najpóźniejszych czynności (zakończenie przedsięwzięcia) można przejść po rozmaitych drogach w postaci linii łamanych utworzonych z odcinków odpowiadających następującym po sobie czynnościom. Sumując czasy trwania czynności dla każdej z tych dróg otrzymuje się łączny czas każdej drogi. Droga, dla której łączny czas jest największy, nosi nazwę drogi krytycznej. Czas drogi krytycznej jest zarazem czasem potrzebnym na wykonanie całego przedsięwzięcia.

Wykonanie przedsięwzięcia w krótszym czasie jest możliwe jedynie przez skrócenie czynności objętych drogą krytyczną; skracanie pozostałych czynności nie przyczyni się do wcześniejszego wykonania przedsięwzięcia.

Jeśli wskutek skrócenia czasu czynności drogi krytycznej, czas drogi krytycznej stanie się krótszy od innej drogi, to ta inna droga staje się drogą krytyczną, wobec czego tylko przez skrócenie czynności nowej drogi krytycznej można będzie uzyskać dalsze przyspieszenie terminu wykonania przedsięwzięcia.

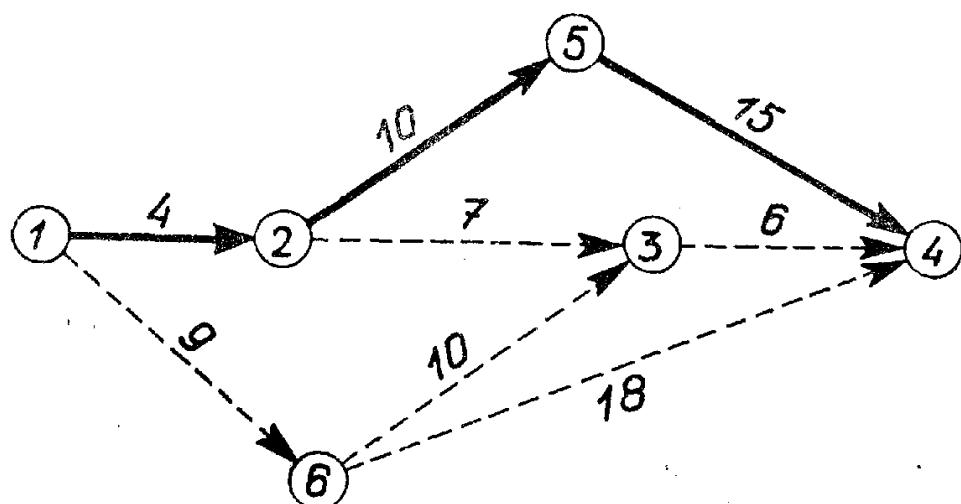
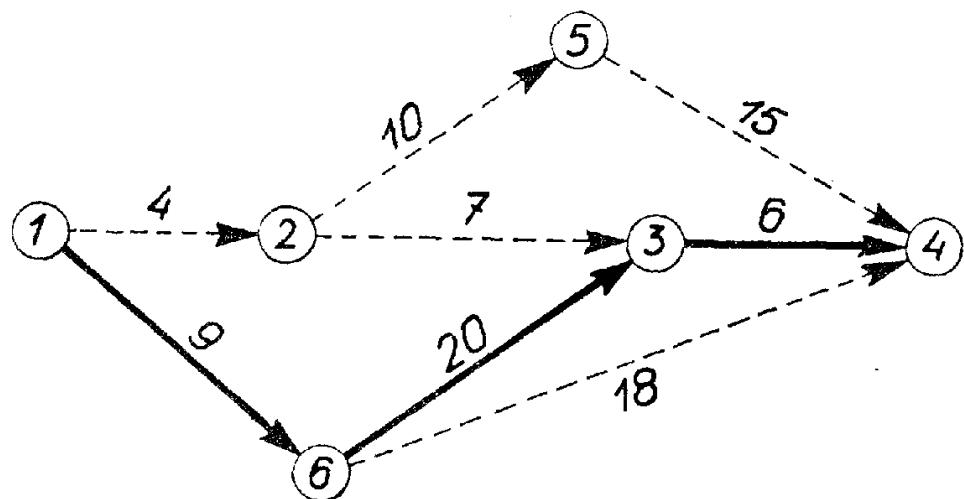
Dla ilustracji przyjmijmy, że pewne przedsięwzięcie wymaga wykonania ośmiu czynności o następujących czasach trwania:

1—2 (4 dni), 2—3 (7 dni), 3—4 (6 dni), 2—5 (10 dni), 5—4 (15 dni),
1—6 (9 dni), 6—3 (20 dni), 6—4 (18 dni). Ponadto, jak to uwidoczniono na siatce (rys. 38a), dopiero po zakończeniu czynności 1—2 mogą się rozpocząć czynności 2—3 i 2—5, a dopiero po zakończeniu czynności 1—6 mogą się rozpocząć czynności 6—3 i 6—4. Przed rozpoczęciem czynności 5—4 musi się zakończyć czynność 2—5 a przed rozpoczęciem czynności 3—4 muszą się zakończyć czynności 2—3 i 6—3.

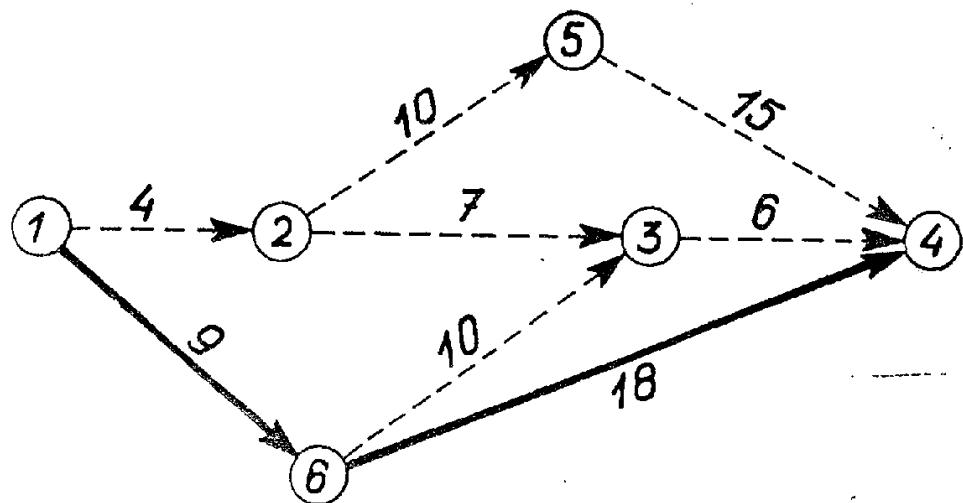
Śledząc przebieg czynności na wykresie sieciowym można wyznać następujące drogi i ich łączne czasy:

1—2—5—4	$4+10+15 = 29$ dni
1—2—3—4	$4+7+6 = 17$ dni
1—6—3—4	$9+20+6 = 35$ dni
1—6—4	$9+18 = 27$ dni

Z porównania łącznych czasów wynika, że największy łączny czas, wynoszący 35 dni, ma droga 1—6—3—4, jest to więc droga krytyczna.



Rys. 38



Jej łączny czas (35 dni) jest czasem potrzebnym na wykonanie przedsięwzięcia.

Inne drogi mają l u z, tj. pewien zapas czasu, o który objęte nimi czynności mogłyby być wydłużone, bez spowodowania wydłużenia czasu całego przedsięwzięcia.

Najskuteczniejszym sposobem skrócenia łącznego czasu drogi krytycznej jest skrócenie czasu trwania najdłuższej czynności. W omawianym przykładzie jest nią czynność 6—3, trwająca 20 dni. Przypuśćmy, że uda nam się skrócić ją do 10 dni (np. przez skierowanie większej liczby pracowników do jej wykonania, zastosowanie lepszych maszyn itp.). Wówczas łączny czas drogi (1—6—3—4) wyniesie $9+10+6 = 25$ dni. Przystaje ona być drogą krytyczną, gdyż ma obecnie krótszy czas łączny niż inne drogi. Najdłuższy jest czas łączny drogi 1—2—5—4 (29 dni), która wobec tego staje się drogą krytyczną (rys. 38b).

Gdyby z kolei udało się skrócić czas trwania czynności 5—4 (należącej obecnie do drogi krytycznej), np. z 15 do 11 dni, to łączny czas tej drogi zmalałby do $4+10+11 = 25$ dni, wobec czego drogą krytyczną stanie się droga 1—6—4, której czas łączny wynosi 27 dni (rys. 38c).

Jeżeli nie uda się skrócić czasu trwania czynności 1—6 lub 6—4, to droga 1—6—4 pozostanie drogą krytyczną, a więc na wykonanie przedsięwzięcia potrzeba 27 dni.

Skracanie czasu przedsięwzięć zazwyczaj prowadzi do obniżenia kosztów (przez zmniejszenie ich składnika wynikającego z kosztów ogólnych, ponoszonych nawet wtedy, gdy nic się nie dzieje), a poza tym im wcześniej przedsięwzięcie zostanie wykonane, tym wcześniej zacznie przynosić przewidziane korzyści. Należy jednak mieć na uwadze, że jeżeli przechodzenie na coraz krótsze drogi krytyczne wymaga coraz większych kosztów dodatkowych, to koszty te mogą wreszcie przewyższyć korzyści osiągane ze skrócenia czasu wykonania przedsięwzięcia, a wówczas szukanie jeszcze krótszych dróg krytycznych przestaje się opłacać. Przypadek taki występuje np. w przemyśle, gdy w celu przyspieszenia produkcji trzeba zatrudniać robotników w drożej wynagradzanych godzinach nadliczbowych.

Metoda wykresów sieciowych jest szczególnie użyteczna do podejmowania decyzji w przedsięwzięciach składających się z bardzo wielu czynności. Opieranie takich przedsięwzięć na decyzjach intuicyjnych z reguły prowadzi do błędów pociągających poważne straty. Metoda wykresów sieciowych pozwala uniknąć tych błędów, toteż znajduje ona coraz powszechniejsze zastosowanie, np. w budowie mostów, dróg i budynków, konstruowaniu maszyn itp. Do wykrywania drogi krytycznej spośród wielu możliwych dróg szczególnie użyteczne okazało się wykonywanie obliczeń za pomocą maszyn matematycznych (przy przedsięwzięciach obejmujących ponad 200 czynności).

Ogólnie biorąc metoda wykresów sieciowych zapewnia następujące korzyści:

- a) wyznaczanie czasu potrzebnego na wykonanie przedsięwzięcia, jeżeli czasy trwania poszczególnych czynności są znane,
- b) wyznaczanie najprawdopodobniejszego czasu wykonania przedsięwzięcia, jeżeli znane są najprawdopodobniejsze czasy trwania poszczególnych czynności,
- c) wyznaczanie najkrótszego czasu wykonania przedsięwzięcia, jeżeli znane są najkrótsze czasy trwania poszczególnych czynności (optimistyczna ocena czasu wykonania przedsięwzięcia),
- d) wyznaczanie najdłuższego czasu wykonania przedsięwzięcia, jeżeli znane są najdłuższe czasy trwania poszczególnych czynności (pesymistyczna ocena czasu wykonania przedsięwzięcia),
- e) wykrywanie czynności, których skrócenie umożliwi przyspieszenie wykonania przedsięwzięcia (jeżeli wymaga to wydłużenia jakiejś czynności z innej drogi, to nie należy do tego wybierać drogi, która przez to stałaby się krytyczna),
- f) kontrolowanie przebiegu wykonania przedsięwzięcia (np. zużycia już czasu, poniesionych kosztów), a w szczególności wykrywanie czynności opóźnionych, mogących spowodować opóźnienie całego przedsięwzięcia,
- g) orientację wykonawców poszczególnych czynności co do wpływu przebiegu tych czynności na całość przedsięwzięcia.

Dokładne przewidywanie czasu każdej czynności jest zazwyczaj niemożliwe. W związku z tym można rozróżnić następujące czasy trwania czynności:

t_a — czas optimistyczny (minimalny), tj. osiągany w sprzyjających warunkach,

t_b — czas najprawdopodobniejszy, tj. osiągany przy przeciętnie występujących trudnościach,

t_e — czas pesymistyczny (maksymalny), tj. osiągany przy największych możliwych trudnościach.

Do obliczeń przyjmuje się czas wyrażany wzorem

$$t = \frac{t_a + 4t_b + t_e}{6} \quad (7.8)$$

Liczba 4 przy t_b uwzględnia okoliczność, że przewidywany czas t będzie bardziej zbliżony do najprawdopodobniejszego czasu t_e niż do skrajnych czasów t_a i t_e . Inaczej mówiąc, najprawdopodobniejszemu czasowi t_e przypisano ważkość 4.

Dla rozweselenia czytelników zakończymy rozważania anegdotką. Dyrektor wielkich zakładów przemysłowych stwierdził, że jego zegarek przestał chodzić, wobec czego postanowił oddać go do naprawy. Zegarmistrz orzekł jednak, że zegarek jest już do niczego i radził kupić nowy, co też jego klient uczynił. Gdy wkrótce potem instalowano w jego zakładach nowoczesną maszynę matematyczną i przeprowadzano próby jej niezawodności, postawił dla żartu pytanie, czy rada zegarmistrza

była trafna. Ku jego zdumieniu maszyna dała odpowiedź, że należy wyrzucić nowy zegarek a zachować stary. Ponieważ maszyna dawała tę odpowiedź za każdym razem, polecił sprawdzić program maszyny. Okazało się, że maszyna dokonała wyboru na takiej podstawie, iż nowy zegarek spóźniał się dwie sekundy na tydzień, a więc nigdy nie wskazywał dokładnego czasu, natomiast stary, nie chodzący zegarek wskazywał dokładny czas dwa razy na dobę, czyli czternaście razy na tydzień.

Z anegdotki tej wynika morał, że wartość rozwiązania problemu optymalizacyjnego zależy od właściwego doboru kryteriów.

R O Z D Z I A Ł Ó S M Y

K I E R O W N I C T W O

W najogólniejszym ujęciu, przedmiotem techniki zarządzania jest rola społeczności ludzkiej w procesie sterowania przyrodą. Rolę tę społeczność może spełniać najsukutczniej, wykorzystując swoją wiedzę o sprzężeniach, procesach informacyjnych, sterowaniu, decyzjach i ich optymalizacji, co było tematyką poprzednich rozdziałów.

Obecnie zajmiemy się szczególnym fragmentem techniki zarządzania, dotyczącym kierownictwa, tj. stosunków między członkami społeczności w procesie zarządzania. Inaczej mówiąc, zamiast układem społeczności — przyroda, będziemy się zajmować układem kierownik — wykonawca. Rozpoczniemy rozważania od porównania cybernetycznych schematów obu tych układów.

Najprostszym przykładem układu społeczność — przyroda jest układ człowiek — narzędzie (rys. 39). Jest to układ sprzężenia zwrotnego (por. rys. 2), w którym człowiek oddziałuje na narzędzie oraz narzędzie oddziałuje na człowieka.

Jeśli w tych oddziaływaniach rozróżnić przebiegi informacyjne i przebiegi energetyczne, to schemat z rys. 39 przekształci się w schemat przedstawiony na rys. 40. Na przykład, kolarz jadący na rowerze dostarcza swojemu pojazdowi informacji co do pożądanego kierunku jazdy oraz energii napędowej, a otrzymuje od niego informacje o rzeczywistym kierunku jazdy oraz energię, dzięki której przemieszcza się wzdłuż drogi.

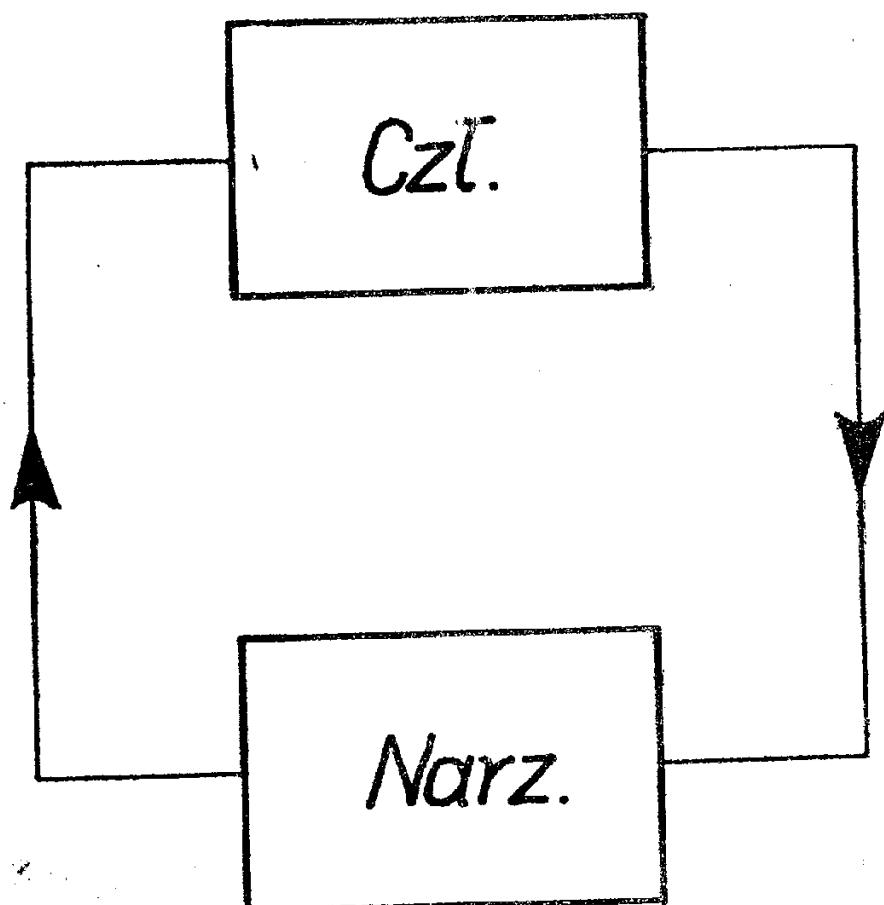
Aby sporządzić schemat układu kierownik-wykonawca, rozpatrzmy bliżej obieg informacji na rys. 40. Między przepływem informacji od człowieka do narzędzia a przepływem informacji od narzędzia do człowieka występuje dość istotna różnica. Przepływ informacji od człowieka do narzędzia odbywa się wskutek działania człowieka; informacje te są rozkazami. Wobec symetrii schematu na rys. 40 można by sądzić, że przepływ informacji od narzędzia do człowieka odbywa się wskutek działania narzędzia, a tymczasem i ten przepływ informacji odbywa się wskutek działania człowieka; informacje te są obserwacjami. Na przykład, kolarz spostrzegając, że rower zbacza z drogi (obserwacja), wymusza pożdaną zmianę kierunku jego ruchu (rozkaz).

Natomiast nie można by powiedzieć, że rower obserwuje zachowanie się kolarza i wymusza zmianę jego postępowania.

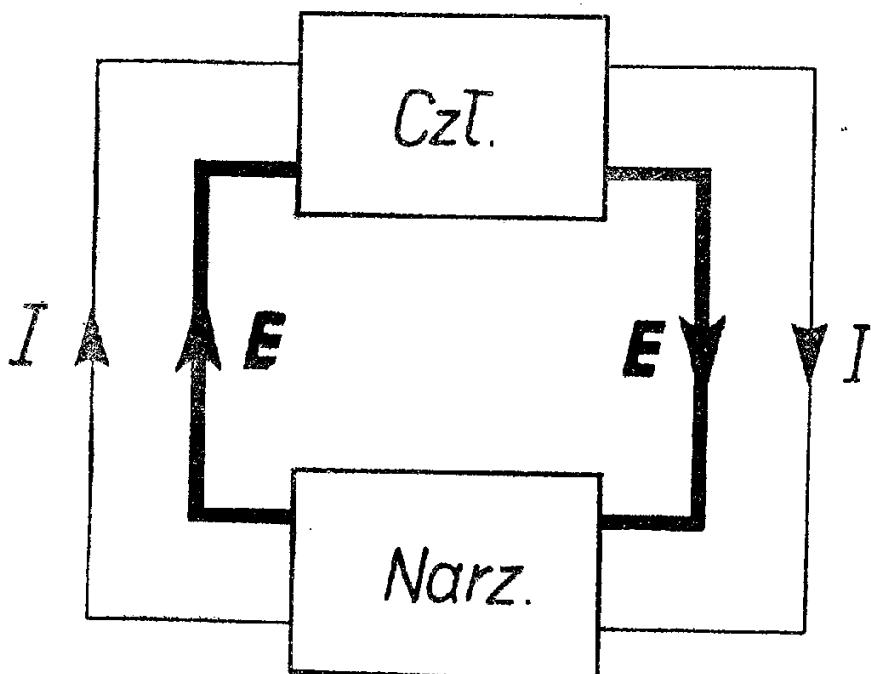
Brak symetrii w układzie człowiek-narzędzie nie wynika z okoliczności, że człowiek jest istotą żywą, narzędzie zaś martwym przedmiotem, lecz z okoliczności, że człowiek dzięki posiadaniu homeostatu jest układem samodzielny, a narzędzie nie jest takim układem (gdyby człowiek miał do czynienia nie z narzędziem lecz z autonomem, tj. maszyną wyposażoną w homeostat i dzięki temu stanowiącą układ samodzielny, to chociaż wszystkie elementy autonomu byłyby wykonane z technicznych materiałów konstrukcyjnych, zachowanie się autonomu byłoby analogiczne do zachowania się człowieka).

Ponieważ zarówno kierownik jak i wykonawca są organizmami, a więc układami samodzielnymi, więc układ kierownik-wykonawca jest symetryczny. Symetria polega na tym, że nie tylko kierownik może stawać żądania wykonawcy i obserwować ich spełnianie, ale i wykonawca może stawać żądania kierownikowi i obserwować ich spełnianie. W jakim stopniu żądania jednego i drugiego będą spełniane, zależy to od ilości energii, jaką każdy z nich rozporządza, aby wymusić spełnianie swoich żądań (rozkazów).

Przy posługiwaniu się narzędziem człowiek musi również ponosić trud obserwacji zachowania się narzędzia. Może on sobie ten trud zmniejszyć.



Rys. 39



Rys. 40

szyc wyposażając narzędzie w urządzenie sygnalizacyjne. Wówczas informacje przenoszone od narzędzia do człowieka nie są już obserwacjami dokonywanymi przez człowieka lecz m e l d u n k a m i dostarczanymi przez narzędzie.

Podobnie jest w układzie kierownik-wykonawca. Zamiast obserwować, jak wykonawca wykonał otrzymany rozkaz, kierownik może zządzić żeby wykonawca złożył mu meldunek o wykonaniu rozkazu. Również wykonawca, zamiast obserwować jak kierownik wykonuje jego rozkazy, może ządać składania meldunków o ich wykonaniu.

W rezultacie, w układzie kierownik-wykonawca (rys. 41) otrzymuje się następujących sześć możliwych oddziaływań.

K i e r o w n i k :

- wydaje wykonawcy rozkazy (*R*),
- do ich wykonania stosuje przymus (*Z*),
- o ich wykonaniu odbiera meldunki (*m*).

W y k o n a w c a :

- wydaje kierownikowi rozkazy (*r*),
- do ich wykonania stosuje przymus (*z*),
- o ich wykonaniu odbiera meldunki (*M*).

Wobec zupełnej symetrii oddziaływań czytelnik mógłby zapytać, dlaczego używamy tu nazw *kierownik* i *wykonawca*, skoro nie widać między nimi żadnej różnicy znaczeniowej. Przecież w układzie przedstawionym na rys. 41 równie jedną jak i drugą stronę można by nazwać kierownikiem (bo wydaje rozkazy) jak i wykonawcą (bo wykonuje rozkazy).

Istotnie, wyrazy te (i ich synonimy) są umowne i same przez sieńc nieznaczą z punktu widzenia procesów zarządzania.

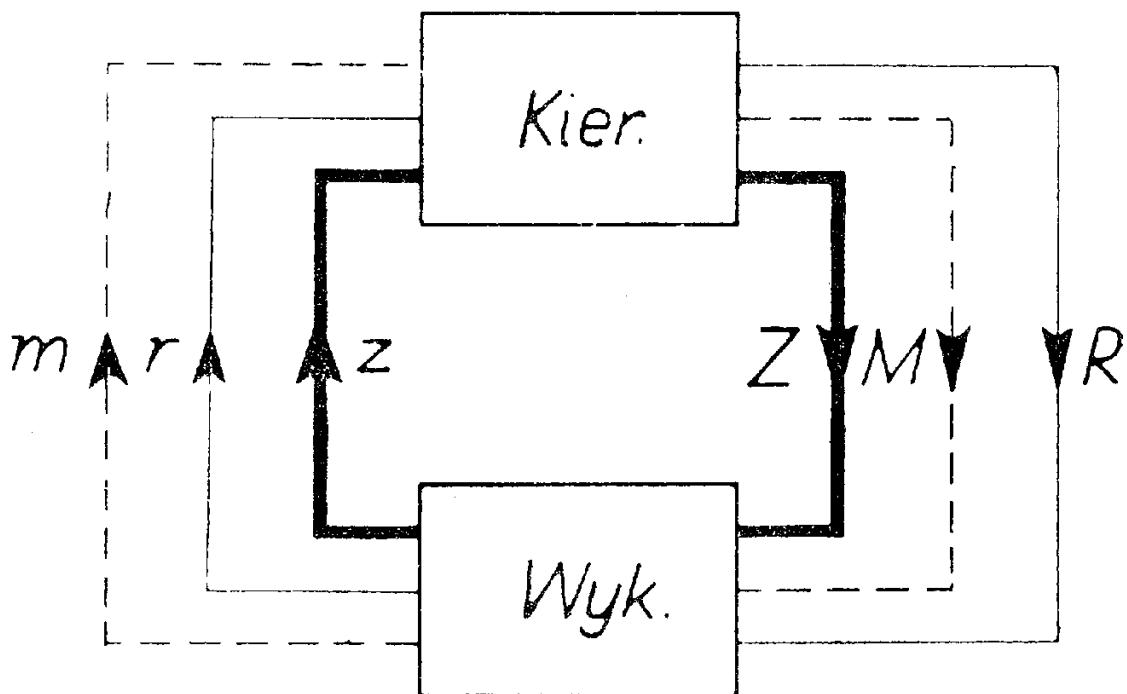
W historii znane są takie monarchie, w których król rozkazywał poddanym, oraz takie monarchie, w których król tylko wykonywał rozkazy poddanych. Bywały też fabryki, w których dyrektorzy rozkazywali robotnikom, oraz fabryki, w których robotnicy rozkazywali dyrektorom. Są rodziny w których rządzi ojciec, rodziny w których rządzi matka, a nawet rodziny w których rządzi ktoś z dzieci.

Ogólnie można powiedzieć, że każda jednostka w społeczeństwie w pewnym stopniu rozkazuje, a w pewnym stopniu wykonuje rozkazy innych. Proporcje w tych przebiegach informacyjnych zależą od przebiegów energetycznych, czyli od tzw. *układu sil*.

W tradycyjnym rozumieniu układ kierownik-wykonawca przedstawia się jak na rys. 42. Obejmuje on tylko jedno oddziaływanie: kierownik rozkazuje wykonawcy. Gdzie podział się pięć pozostałych (rys. 41) oddziaływań?

Takie pojmowanie kierownictwa wywodzi się z czasów niewolnictwa. W układzie tyran-niewolnik nie wchodziło w grę, żeby niewolnik mógł tyranowi wydawać rozkazy (*r*), odbierać od niego meldunki (*M*) o ich wykonaniu i wymierzać mu karę (*z*) za ich niewykonanie. Z pozostałych trzech oddziaływań meldunki (*m*) niewolnika nie były niczym innym niż wykonaniem rozkazu ich składania, a możliwość zmuszania (*Z*) niewolnika przez tyraną była tak wielka i niezmienna, że przestała być zauważalna.

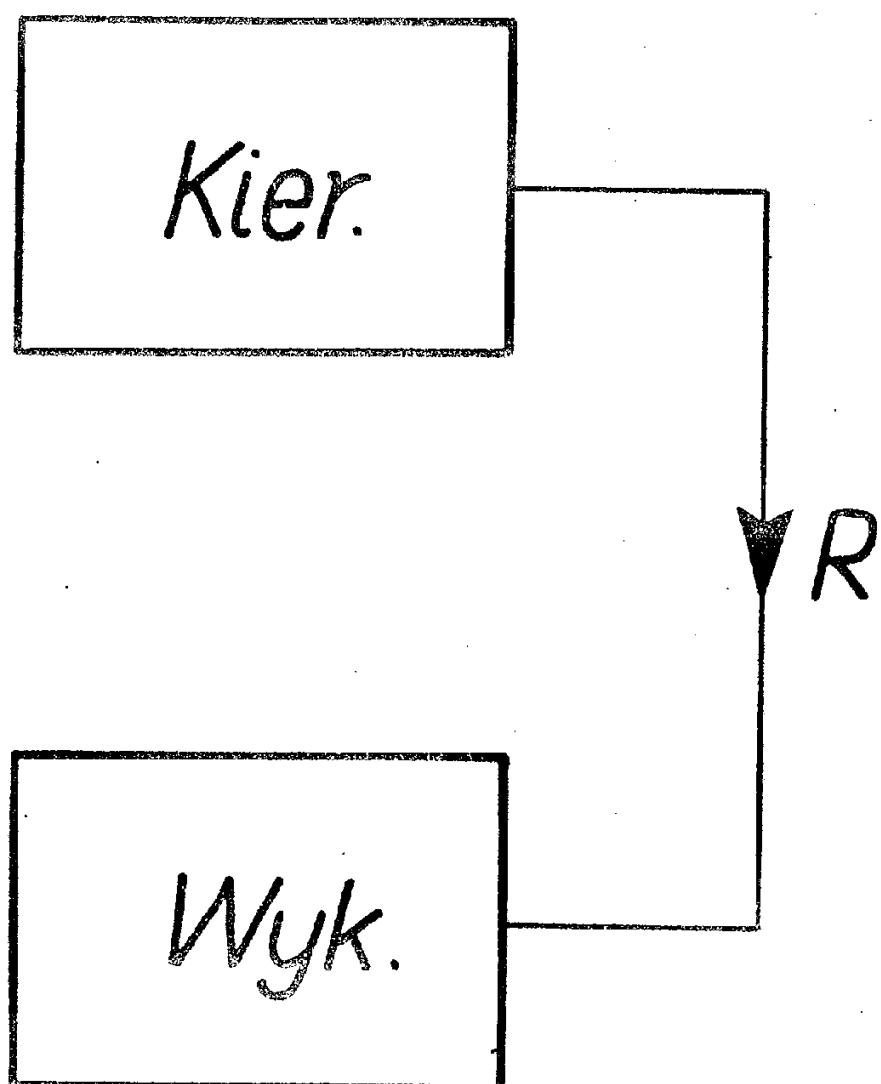
Rys. 41



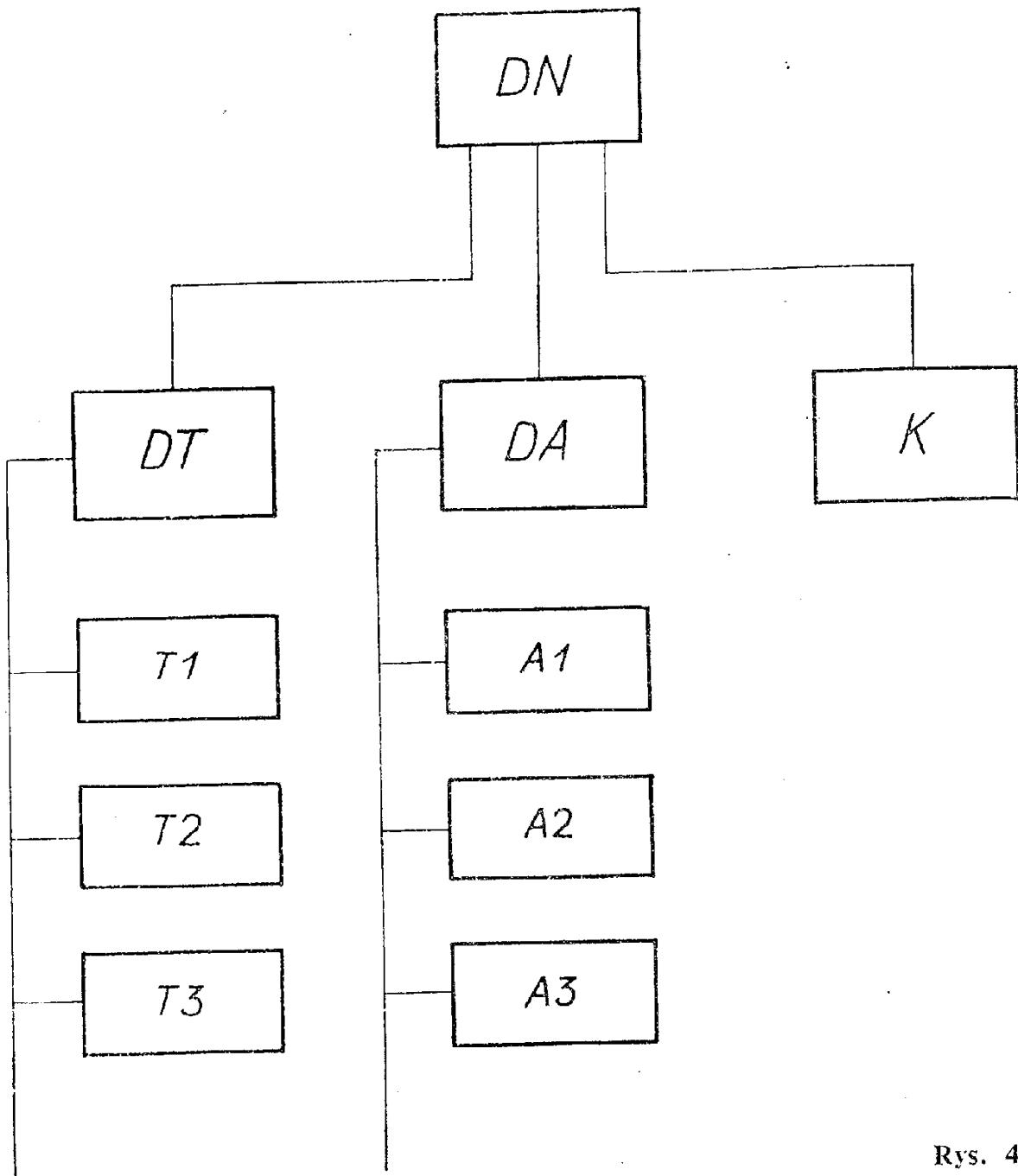
W rezultacie, za jedynie istotne oddziaływanie było uważane wydawanie rozkazów (*R*) niewolnikowi przez tyrańskiego (rys. 42). Przeświadczenie o tym było rozstrzygającym czynnikiem nawet w przypadkach, gdy przejściowo przewaga sił była wyraźnie po stronie niewolników. Co więcej, gdy z czasem niewolnictwo ustąpiło miejsca feudalizmowi, pojęcie władzy było nadal traktowane jako coś nie podlegającego kwestionowaniu (*władza pochodzi od Boga*) bez względu na realny układ sił w społeczeństwie. Wielu przywódcom rozmaitych buntów trudno się było wyzbyć przeświadczenie, że pomimo odnoszonych zwycięstw działały przeciw jakiemuś *wyższemu* porządkowi rzeczy.

W miarę rozwoju społecznego, wszystkie oddziaływanie zaznaczone na rys. 41, coraz bardziej się ujawniały, tworząc nowoczesny typ społeczeństwa.

W nowoczesnym społeczeństwie pracodawca żąda wykonania pracy, ale pracownik żąda za nią wynagrodzenia, a więc wzajemnie wydają sobie rozkazy i je wykonują. Rządzący żądają od rządnych



Rys. 42



Rys. 43

sprawozdań z ich działalności, ale i rządzeni żądają od rządzących sprawozdań z ich działalności, a więc obie strony żądają wzajemnie od siebie meldunków i je otrzymują. Siły społeczeństwa służą obronie pokrzywdzonego bez względu na to, czy jest on kierownikiem czy wykonawcą, itd.

Pomimo takiego postępu w organizacji społeczeństw trwają jeszcze resztki zakorzenionego pojmowania kierownictwa w sposób przedstawiony na rys. 42, zamiast jak na rys. 41. W wyobrażeniach wielu ludzi społeczeństwo jest jeszcze czymś w rodzaju drabiny mającej wyższe

i niższe szczeble. Kierownicy na rozmaitych jej szczeblach ciągle jeszcze wierzą, że są *lepszymi* ludźmi, że *należą się* im wygodniejsze warunki życiowe itp. Co gorsza, wierzy w to również wielu wykonawców.

Takie mniemanie kierowników o sobie sprawia, że ze swojego pojmowania schematu organizacji społeczności wyłączają oni oddziaływanie będące przekazywaniem rozkazów od wykonawców do kierowników i przekazywaniem meldunków od kierowników do wykonawców. To wszystko, co jest żądaniem wykonawcy, kierownik stara się spełniać jedynie w minimalnym zakresie wymaganym przez ustawy a samą realizację przerzucić na innych wykonawców. Okoliczność, że wykonawca odbiera wynagrodzenie u innego wykonawcy (kasjera), że jego prawo do urlopu realizuje mu inny wykonawca (pracownik kadr) i że o jego bezpieczeństwo w pracy ma się troszczyć także inny wykonawca (referent bezpieczeństwa pracy), podtrzymuje wrażenie, że wykonawca nie może niczego się domagać od kierownika, że między nim a kierownikiem nie ma symetrii oddziaływań.

Podobnie, jeżeli chodzi o meldunki od kierownika do wykonawcy, w zakresie obowiązującego minimum, kierownik przerzuci je na innych wykonawców. Zawiadomienie o przyznaniu urlopu wypoczynkowego i zaświadczenie z pracy otrzyma wykonawca od pracownika kadr. Poza obowiązującym minimum kierownik jest nieskory do meldowania wykonawcy czegokolwiek, np. w jakim kierunku zmierza rozwój zakładu pracy, jakie perspektywy ma wykonawca w tym zakładzie co do zarobków, awansu itp.

Z wykonawcami się nie dyskutuje, lecz urządza odprawy do zakończenia zarządzeń.

Porównując rys. 42 z rys. 1 łatwo stwierdzić, że jest to po prostu schemat sprzężenia prostego. Że ogół kierowników tak pojmuje zarządzanie, świadczą o tym tzw. *schematy organizacyjne*.

Jest to typ schematów sporządzanych w sposób widoczny na rys. 43.

A więc mamy prostokąt *DN*, oznaczający dyrektora zakładu oraz linie prowadzące do prostokątów oznaczających technicznego zastępcę dyrektora *DT*, administracyjnego zastępcę dyrektora *DA*, dział kadr *K* podlegający bezpośrednio dyrektorowi, itp. Z kolei, technicznemu zastępcy dyrektora podlegają działy techniczne *T1, T2, T3* itd., administracyjnemu zastępcy dyrektora podlegają działy administracyjne *A1, A2, A3* itd.

Schemat tego rodzaju, nie wiadomo dlaczego nazywany *organizacyjnym*, jest w istocie schematem hierarchicznym, wskazującym kto komu podlega, kto od kogo jest *starszy*.

Wszystkie linie na tym schemacie wskazują jedynie drogi przekazywania rozkazów od zwierzchników do podwładnych, jest to więc nic innego niż rozwinięty schemat z rys. 42.

Dla oceny tego rodzaju schematów zanalizujemy pewien prosty przykład.

Wyobraźmy sobie mały urząd pocztowy, którego personel stanowią kierownik i kilka urzędniczek załatwiających interesantów. Co w tym urzędzie może robić kierownik?

Mожет, na przykład, ponaglać pracowników opieszałych.

Mожет instruować pracowników niezupełnie jeszcze orientujących się w arkanach pracy na poczcie.

Mожет bączyć, czy pracownicy nie popełniają jakichś nieuczciwości.

Mожет pilnować, żeby sprawy były załatwiane zgodnie z przepisami.

Mожет udzielać interesantom informacji w jakichś szczególnych sprawach.

Mожет interweniować w zatargach klientów z pracownikami.

Mожет usuwać zakłócenia, spowodowane np. brakiem pracownika, który zachorował, itp.

Zauważmy, że wszystkie wymienione czynności mają charakter awaryjny! Opieszałość pracowników to rzecz nienormalna — zamiast ich ponaglać, należy przyjąć innych, pracowitych. Po co instruować pracowników? — należy zatrudniać należycie wyszkolonych. Również walka z nieuczciwością staje się zbędna, gdy się zatrudnia wyłącznie pracowników uczciwych. Co się tyczy zgodności z przepisami, to sami pracownicy powinni je dobrze znać, a jeżeli są one na to zbyt skomplikowane, to należy zatrudnić radcę prawnego. Informacji powinni udzielać interesantom sami pracownicy, a przy dużym zapotrzebowaniu, osobny informator.

Co do możliwych zatargów, to przepisy powinny być tak jasne, a pracownicy tak wyszkoleni, żeby zatargi z klientami nie mogły powstawać. Pozostaje sprawa rozmaitych zakłóceń, ale tu już sama nazwa wskazuje, że chodzi o sprawy awaryjne; zresztą kierownik niewiele tu poradzi — jeżeli pracownik zachoruje, to kierownik *nie stworzy* zastępcy, lecz przerzuci pracę na kolegów nieobecnego pracownika.

Jak widać, w instytucji należycie zorganizowanej kierownik nie ma w zasadzie nic do roboty, co zresztą widać najlepiej właśnie na poczcie.

Pracownicy pocztowi z reguły wiedzą wszystko, co do nich należy, przepisy są wywieszone i każdy interesant może je sobie przeczytać, są podane nawet wzory adresowania listów i wypełniania przekazów, ceny usług figurują w taryfach, toteż nic dziwnego, że przychodząc do urzędu pocztowego widzimy pracowników w okienkach, ale nie widzimy kierownika. Siedzi on sobie gdzieś w głębi, spokojny że wszystko biegnie należycie; prawdopodobnie sprawdza jakieś zestawienia lub studiuje zmiany przepisów.

Przykładem pocztowym posłużyliśmy się jedynie ze względu na jego prostotę. Przejedźmy jednak do dużych instytucji jak np. zakłady przemysłowe.

Skoro praca kierownika ma charakter awaryjny, to schemat informujący, kto jest czym kierownikiem, jest również schematem awaryjnym. Fakt, że jest to jedyny schemat sporządzany w instytucjach,

świerczy, że awaryjność stała się czymś powszednim i jest odczuwana jako rzecz normalna.

Nie znaczy to, że schemat hierarchiczny nigdy nie bywa użyteczny. Przeciwne, jest on nawet konieczny, ale w instytucjach, których działalność ma z natury rzeczy charakter awaryjny, jak np. wojsko (zwłaszcza w czasie wojny), milicja itp. Różne nieprzewidziane rzeczy mogą się w nich zdarzać, toteż sprawy odpowiedzialności i prawo podejmowania decyzji do natychmiastowego wykonania muszą być tam jasno postawione pod względem hierarchicznym.

Natomiast w instytucjach o naprawdę normalnym typie działalności głównym schematem powinien być s c h e m a t f u n k c j o n a l n y.

O ile schemat hierarchiczny jest sporządzany z elementów nie mających nic wspólnego z funkcjami zakładu, tj. z jego czynnościami roboczymi, gdyż jak to wskazaliśmy, obejmuje on tylko personel awaryjny zakładu, przy czym schodząc z góry na dół po szczeblach: dyrektor, zastępca dyrektora, naczelnik, itd. nawet w najwyższych komórkach nie dochodzi się do czynności roboczych lecz do niewiele mówiących nazw tych komórek i do wymieniaenia nazwisk ich kierowników — to w schemacie funkcjonalnym powinny być wymienione stanowiska robocze i występujące między nimi powiązania.

W szczególności schemat funkcjonalny powinien dawać odpowiedź na pytanie, co się w stanowiskach roboczych dzieje z informacjami, pieniędzmi i materiałami.

Ujmując sprawę cybernetycznie można powiedzieć, że schemat powinien przedstawać wszystkie sprzężenia, tzn. każde stanowisko powinno mieć zaznaczone wejście i wyjście informacyjne, wejście i wyjście pieniężne, oraz wejście i wyjście materiałowe wraz z połączonymi wyjściami jednych stanowisk z wejściami innych.

Ilustrację, jak schemat funkcjonalny powinien wyglądać pod względem zasady, podaje rys. 44, sporządzony przykładowo dla zakładu przemysłowego.

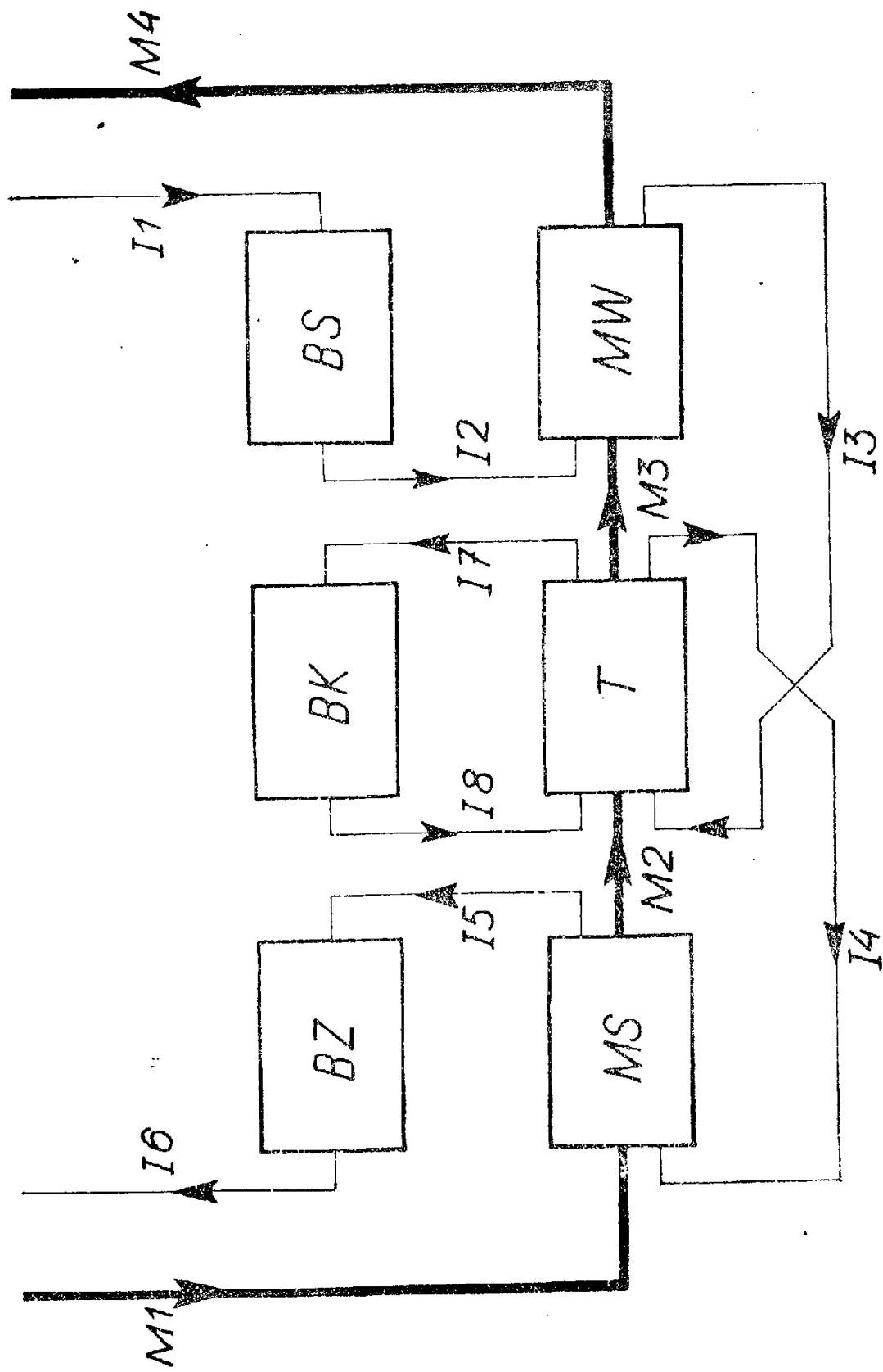
Zawiera on obiegi informacyjne oraz obiegi materiałowe (opuszczone obiegi pieniężne jako dość proste).

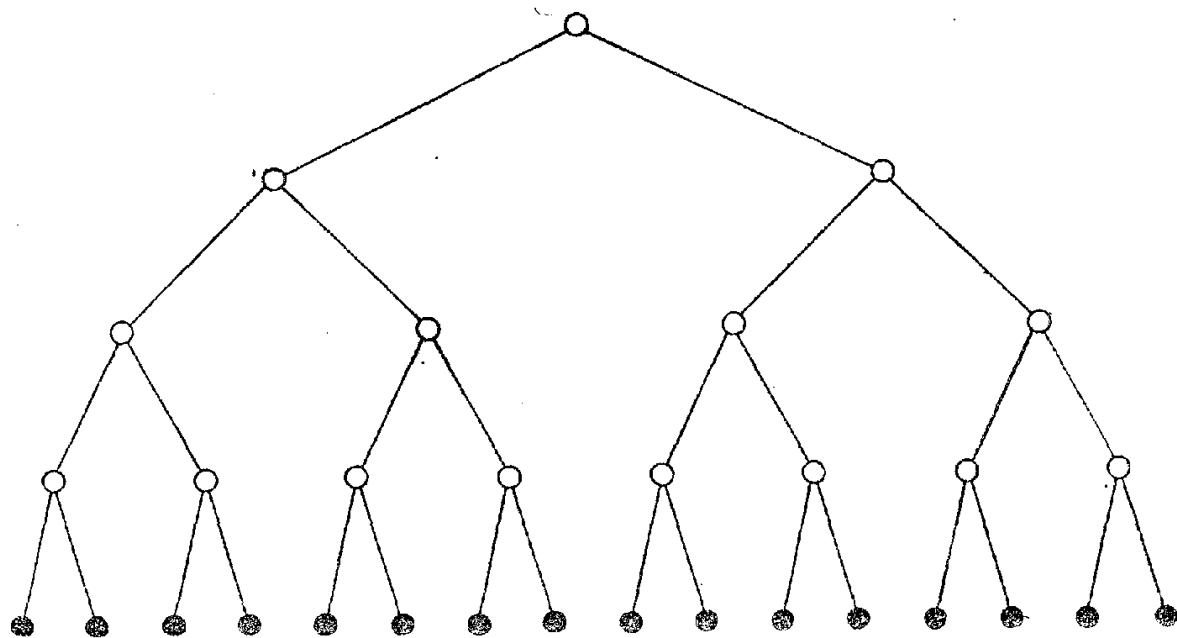
Obiegi informacyjne stanowią następujący ciąg logiczny. Odbiorca przekazuje do biura sprzedaży (BS) zlecenie (I1) na dostawę wyrobów. Biuro sprzedaży wydaje do magazynu wyrobów (MW) polecenie (I2) wykonania dostawy. Magazyn wyrobów żąda (I3) od działu technologicznego (T) dostarczenia wyrobów. Dział technologiczny żąda (I4) od magazynu surowców (MS) dostarczenia surowców. Magazyn surowców kieruje do biura zakupów (BZ) polecenie (I5) zakupu surowców. Biuro zakupów wydaje dostawcy zlecenie (I6) na dostawę surowców. Oprócz surowców dział technologiczny potrzebuje projektu konstrukcyjnego, którego żąda (I7) od biura konstrukcyjnego (BK). Biuro konstrukcyjne opracowuje projekt, który przekazuje (I8) do działu technologicznego.

Dostawca

Odbiorca

Rys. 44





Rys. 45

Równie logiczny ciąg stanowią obiegi materiałowe. Dostawca dostarcza surowce (M_1) do magazynu surowców (MS), który je kieruje (M_2) do działu technologicznego (T). Wykonane tam wyroby są przekazywane (M_3) do magazynu wyrobów (MW), skąd są dostarczane (M_4) odbiorcy.

Rzecz jasna, wskazane obiegi nie muszą dotyczyć tego samego zlecenia odbiorcy. Może on od razu otrzymać żądane wyroby z magazynu surowców, który zwróci się do działu technologicznego o dostarczenie wyrobów w celu uzupełnienia zasobu magazynowego itd.

W razie zakłóceń te same obiegi informacyjne I_1 , I_2 , I_3 itd. mogą służyć do przekazywania reklamacji.

Sporządzenie schematu funkcjonalnego umożliwia przeprowadzenie analizy w celu upewnienia się, czy nie pominięto jakiegoś sprzężenia, czy pewne stanowiska robocze nie są przeciążone a inne niedociążone, czy jakieś stanowisko robocze nie stanowi zbędnego ogniw pośredniczącego w sprzężeniu między dwoma innymi stanowiskami itd.

Przy analizie schematu funkcjonalnego warto zwrócić uwagę na to, czy jest on symetryczny, i wyjaśnić czy ewentualne asymetrie wynikają z wymagań funkcjonalnych czy też powstały wskutek błędów.

Łatwo stwierdzić, że schemat na rys. 44 ma symetrię zupełną. Widoczna jest symetria powiązań między $BZ-MS$ i $BS-MW$, między $MS-T$ i $T-ME$ itd. Symetria nie jest dowodem prawidłowości schematu, świadczą jednak o jego harmonijności; w razie jej braku powstaje domniemanie, że jakieś sprzężenie pominięto, a wówczas łatwo stwierdzić, które. Również w razie uzupełnienia schematu należy sprawdzić, czy nie są potrzebne również uzupełnienia do nich symetryczne.

Jeszcze bardziej godne uwagi jest to, że wszystkie obiegi na rys. 44 są sprzężeniami zwrotnymi, jak np. obieg I_3-M_3 , obieg I_4-M_2 , obieg I_7-I_8 , itd.

Schemat z rys. 44 jest rozwinięciem schematu z rys. 41 z tym, że pominięto na nim obiegi energetyczne wymuszania wykonania rozkazów, ponieważ są one zbędne w społeczeństwach, których interes jest zarazem interesem poszczególnych jednostek.

Na rys. 44 nie podano również obiegu meldunków. W zakresie meldunków występuje u nas i na całym świecie ogromna przesada. Nie wiadomo dlaczego uważa się, że wszystkim należy wszystko *podawać do wiadomości*, do każdego meldunku sporządza się mnóstwo kopii, które prawie przez nikogo nie czytane wędrują do pęcznujących segregatorów. Narysowanie obiegów meldunków na schemacie funkcjonalnym może być chyba jedynie dlatego pozyteczne, że dopiero na tej podstawie można stwierdzić, jak wiele ich jest i jak wiele z nich jest niepotrzebnych.

Obiegi informacyjne podane na rys. 44 są wyłącznie obiegami rozkazów (zleceń, poleceń, żądań, zamówień), przy czym, jak widać, nie pochodzą one od żadnych kierowników lecz wynikają ze sprzężeń między stanowiskami roboczymi, czyli po prostu z sensu działalności zakładu.

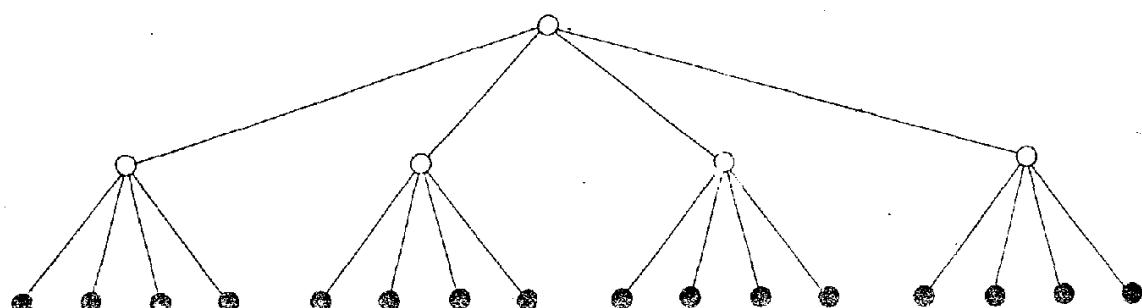
I wreszcie, jak czytelnik już się niewątpliwie zorientował, na omawianym schemacie w ogóle nie figuruje stanowisko zwane kierownikiem, dyrektorem itp. I nic dziwnego, ponieważ nie jest ono stanowiskiem roboczym, a zatem nie ma dla niego miejsca w schemacie funkcjonalnym.

Nasuwa się pytanie, dlaczego nie sporządza się schematów funkcjonalnych pomimo ich ogromnej użyteczności, a zawsze sporządza się, *organizacyjne*, schematy hierarchiczne. Wydaje się, że składa się na to kilka przyczyn.

Po pierwsze, sami kierownicy mają upodobanie w takich schematach, gdyż uwydatniają one ich znaczenie osobiste, o czym już była mowa.

Po drugie, schematy hierarchiczne są podstawą przyznawania dodatków funkcyjnych (*za kierownictwo*) i to prawdopodobnie jest ich główną racją istnienia. W każdym razie, władze żądają takich sche-

Rys. 46



matów sądząc, że dzięki nim można będzie wskazać, iż dodatków tych potrzeba mniej, niż ich żąda zakład. Z drugiej strony, zakłady chętnie je sporządzają, lecz w odwrotnym celu: aby udowodnić, że potrzeba ich wiele.

Po trzecie, sporządzenie schematu hierarchicznego jest bardzo łatwe; w zasadzie potrafi to zrobić każdy, bez względu na kwalifikacje. Natomiast sporządzenie szczegółowego schematu funkcjonalnego jest zadaniem niezwykle trudnym, wymagającym umiejętności operowania sprzężeniami funkcjonalnymi oraz bardzo dobrej znajomości strony fachowej zakładu.

Rozpatrzmy schemat hierarchiczny, taki jak np. na rys. 43, jeszcze z jednego punktu widzenia. Ilu podwładnych powinien mieć kierownik? Najczęściej wymienia się liczbę 3 jako minimalną (zresztą pochodząą z wojskowości, gdzie bywała ona niemal regułą: trzy drużyny to pluton, trzy plutony to kompania, trzy kompanie to batalion itd.).

Dlaczego 3, a nie np. 10 lub 50? Weźmy pod uwagę dwa przykłady, przyjmując w jednym liczbę 2, a w drugim zaś liczbę 4.

Przyjmując zasadę: 1 kierownik na 2 podwładnych przy ogólnej liczbie 16 wykonawców otrzymuje się schemat jak na rys. 45. Jak widać, w tym przypadku kadra kierownicza ma 4 szczeble i liczy 15 osób.

Natomiast przyjmując zasadę: 1 kierownik na 4 podwładnych przy takiej samej ogólnej liczbie 16 wykonawców otrzymuje się schemat jak na rys. 46. W tym przypadku kadra kierownicza ma 2 szczeble i liczy 5 osób.

Nasuwa się pytanie, która z tych dwóch przykładowych struktur kierownictwa jest lepsza: stroma (rys. 45) czy płaska (rys. 46)?

Gdyby o to zapytać samych kierowników, to w większości (a może nawet wszyscy) wybrałyby schemat z rys. 45 rozumując mniej więcej następująco. Przy strukturze 1:4 (rys. 46) mieliby do czynienia z czterema swoimi zastępcami, to znaczy z czterema partnerami do rozmów, uzgadniań, wyjaśnień itp. Te nieuniknione kontakty zabierają dwa razy więcej czasu niż przy strukturze 1 : 2 (rys. 45).

Ponadto znacznie więcej czasu zabiera przygotowanie poleceń, wytycznych itd. dla czterech torów zarządzania niż dla dwóch, tym bardziej, że musiałyby one być bardziej szczegółowe i wnikliwe, do tego zaś trzeba się bliżej zapoznać z wieloma dokumentami, danymi liczbowymi itp. Natomiast przy strukturze 1 : 2 polecenia mogą być ogólniejsze, a więc wymagające mniejszych przygotowań. Bardziej szczegółowe opracowanie nastąpi na następnym, niższym szczeblu zarządzania.

Rozumowaniu takiemu można zarzucić przede wszystkim to, że jest niekompletne. Niekompletność polega na tym, że w przytoczonej argumentacji mówi się, co kierownik zyskuje na przejściu od struktury płaskiej do stromej, ale nie mówi się, co on na tym traci.

Wyjaśnienia tego problemu dostarcza cybernetyka, a w szczególności teoria informacji. W swoich kontaktach z bezpośrednim pod-

władnym kierownik musi mu dostarczyć pewnej ilości informacji. Rzeczą jasna, kontaktując się z czterema podwładnymi będzie im musiał dostarczyć cztery razy więcej informacji niż kontaktując się tylko z dwoma podwładnymi. Ponieważ kierownik, jak każdy człowiek, ma ograniczoną przelotność informacyjną, więc też dostarczanie większej ilości informacji zabierze mu więcej czasu, a przy zbyt dużej liczbie podwładnych mogłoby mu go nawet zabraknąć. Natomiast przyjmując stromą strukturę kierownictwa, np. ograniczając się tylko do dwóch podwładnych, stwarza sobie luzy czasowe, co oczywiście jest wygodniejsze.

Zobaczmy jednak, co się dzieje z informacjami, które kierownik przekazuje swojemu zastępcy. Muszą one zostać przez niego przetworzone, a wynik tego przetworzenia przekazany kierownikowi następnego, niższego szczebla. Również i na tym szczeblu nastąpi przetwarzanie informacji itd., aż odpowiednio szczegółowe rozkazy dotrą do wykonawców. Każde jednak przetwarzanie informacji wprowadza zniekształcenia, czyli szum informacyjny. To, co dociera do wykonawcy, jest tym mniej podobne do intencji kierownika, im więcej operacji przetwarzania informacji odbyło się po drodze.

A zatem wybierając strukturę stromą kierownik uzyskał więcej swobodnego czasu, ale zarazem dopuścił do tego, że jego polecenia dochodzą do wykonawcy w stanie bardziej zniekształconym po przetwarzaniu na trzech pośrednich szczeblach, niż gdyby były przetwarzane tylko na jednym. Innymi słowy, przy stromej strukturze łatwiej jest wydawać zarządzenia, ale ich wynik w mniejszym stopniu z nimi się pokrywa.

Praktycznie wygląda to tak, że na każdym szczeblu kierownictwa ktoś czegoś nie rozumiał, ktoś inny coś pominął lub przeoczył, a jeszcze inny coś dodał itp. Powstające w ten sposób niejasności każdy interpretuje, jak mu wygodniej. Co gorsza, wynikłe nieprawidłowości trwają przez dłuższy czas, bo meldunki o nich również muszą przejść przez wszystkie szczeble, tym razem w kierunku z dołu do góry, a na każdym szczeblu ulegną zniekształceniu; dotklszy wreszcie do szczytu piramidy niezupełnie odzwierciadlają rzeczywisty stan rzeczy. Wielokrotne wprowadzanie szumu informacyjnego do rozkazów a później do meldunków sprawia, że główny rozkazodawca przez miesiące, a nieraz i lata całe nie orientuje się, jak jego rozkazy są naprawdę wykonywane.

Co może on zrobić w takiej sytuacji?

Mожет zastosować jedyną metodę zwalczania szumu informacyjnego jaką zna cybernetyka: wprowadzić redundancję (rozdz. 3.7), czyli, mówiąc językiem potocznym, powtarzać informację. Praktycznie znaczy to, że będzie musiał wydawać ponaglenia, przypomnienia, wyjaśnienia itp.

Czynności te jednak pochłaniają czas. I tak oto kierownik, który wybierając stromą strukturę zarządzania zredukował sobie ilość informacji użytecznych, jest zmuszony w ich miejsce dodać pewną ilość informacji redundancyjnych. Zysk czasu okazuje się iluzoryczny.

Jak widać, liczba torów, na które rozdziela się wychodzący od kierownika strumień informacji, wpływa nie tyle na ilość zawartych w nim informacji, ile na ich skład. Przy większej liczbie torów strumień ten musi zawierać więcej informacji użytecznych i nieco informacji redundancyjnych. Przy mniejszej liczbie torów może on zawierać mniej informacji użytecznych, ale za to musi zawierać sporo informacji redundancyjnych. Jak widać kierownik nie zdoła się odciążyć przechodząc od płaskiej do stromej struktury zarządzania.

Odciążenie go jest jednak możliwe na innej drodze, a mianowicie przez spowodowanie, żeby wykonawcy potrzebowali mniej informacji. Wówczas kierownik może ich mniej wydawać.

Ponieważ omawiane tu informacje są rozkazami, więc wspomniany warunek oznacza, że kierownik powinien o mniejszej liczbie spraw decydować, czyli częściowo przenieść prawo decyzji na podwładnych. W idealnym przypadku byłoby to przeniesieniem prawa decyzji w całości na samych wykonawców. A zatem i ten kierunek rozumowania prowadzi do sytuacji, w której kierownicy stają się zbędni.

Jest to do pomyślenia w odniesieniu do działalności normalnej, a więc gdy wszystko jest z góry wiadome, gdy pracownicy mają odpowiednie kwalifikacje itd. Do takiej właśnie działalności odnosi się schemat na rys. 44, gdzie też, jak wspominaliśmy, dla kierownika nie przewiduje się żadnej roli.

Pozostaje do rozpatrzenia, co robić, gdy działalność zakładu nie jest normalna, tj. ulega zakłóceniom.

Jeżeli kierownik będzie się zajmował usuwaniem zakłóceń, to jego czynności będą mieć charakter awaryjny, o jakim już mówiliśmy. Im liczniejsza jest kadra kierownicza, tym gorzej świadczy to o organizacji kierowanej przeznią społeczności.

Właściwą rolą kierownictwa jest obmyślanie takich środków, zmian strukturalnych itp., które by zapobiegały zakłóceniom. Oznacza to przeniesienie ciężaru sprawy z usuwania skutków zakłóceń na usuwanie przyczyn zakłóceń, tj. z terapii na profilaktykę.

Do rozwiązywania takich zagadnień potrzebny jest jednak sztab wysoko kwalifikowanych specjalistów z zakresu organizacji, optymalizacji, programowania itp., czyli zespół roboczy o określonych zadaniach dla każdego uczestnika, gdzie znów nie ma miejsca na kierowników w tradycyjnym znaczeniu.

Jak widać, z każdego kierunku rozważań dochodzi się wniosku, że era kierowników zbliża się ku swemu końcowi. Jeżeli dziś wydaje się to jeszcze nieprawdopodobne, to jedynie z powodu zadawnionego mniemania o znaczeniu „wodzów” w podejmowaniu decyzji, czyli wiary w wartość decyzji samorodnych. Jednakże, jak się czytelnik mógł przekonać z rozdz. 7, rozwój organizacji społeczności zmierza coraz szybciej do rezygnacji z decyzji samorodnych na rzecz decyzji optymalizacyjnych, do opierania decyzji nie na osobistych talentach, lecz na tech-

nice podejmowania decyzji. A technik podejmowania decyzji to już nie *kierownik*, lecz pracownik rozwiązujący matematycznie problemy optymalizacji, przygotowujący programy obliczeniowe dla maszyny matematycznej itp.

Jesteśmy świadkami i uczestnikami procesu, w którym struktura społeczeństw coraz bardziej traci charakter piramidy o różnych poziomach kierownictwa (rys. 43), przybierając postać układu sprzężeń zwrotnych (rys. 44), w którym na każdego członka społeczności przypada określone zadanie oraz związana z nim cząstka kierownictwa i wykonawstwa.

W wielu dziedzinach proces ten posunął się już dość daleko. Dawniej wódz mówił swoim podwładnym, co powinni zrobić; obecnie podwładni (sztab) mówią wodzowi, co powinien zrobić. Dawniej nauczyciel (guvernér) otrzymywał polecenia od ojca swojego ucznia; dziś istnieje przymus posyłania dzieci do szkoły, gdzie nauczyciel robi to, co do niego należy, a nie to, czego życzyliby sobie rodzice uczniów.

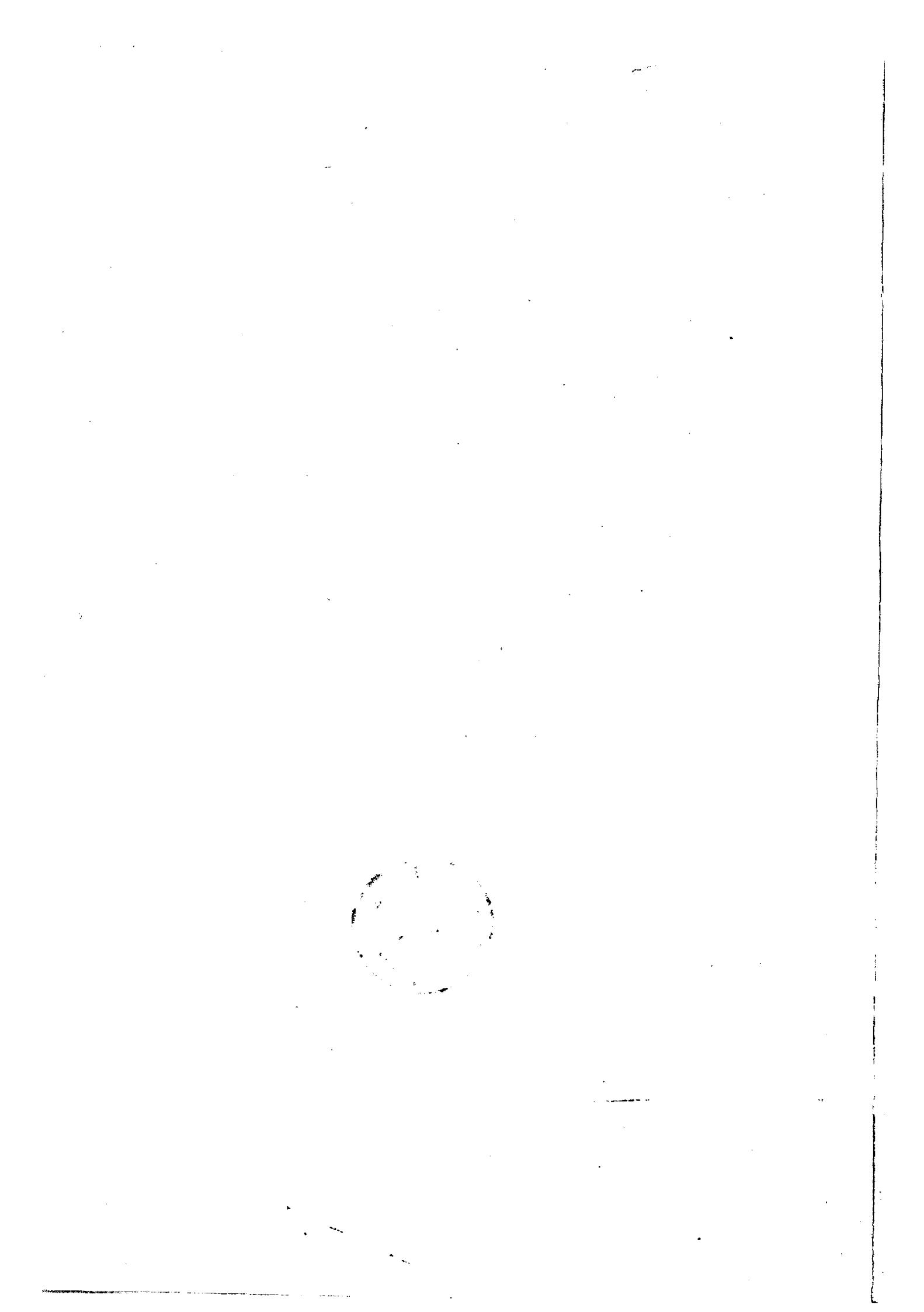
Jeżeli za rozkaz uważać każde zdanie określające, co należy robić (w odróżnieniu od meldunków jako zdań stwierdzających fakty), to rozkazodawstwo pozostanie nadal jako główny rodzaj oddziaływań informacyjnych w społecznościach (np. jak to przedstawiono na rys. 44) z tym jednak, że rozkazy typu: *ja każę zrobić tak a tak, bo ja rzqdzę* (rozkazy apodyktyczne) coraz bardziej ustępują rozkazom typu: *ja każę zrobić tak a tak, bo tak jest najlepiej, i mogę to udowodnić* (rozkazy optymalizacyjne). Jeżeli wykonawca:

1) ma możliwość zapoznania się z motywacją rozkazu, oraz

2) uzna ją za słuszną, to od tej chwili staje się on swoim własnym rozkazodawcą, wykona bowiem rzeczą słuszną, nawet gdyby mu jej nikt nie nakazał. Jest to działanie z przekonania, w odróżnieniu od działania z przymusu.

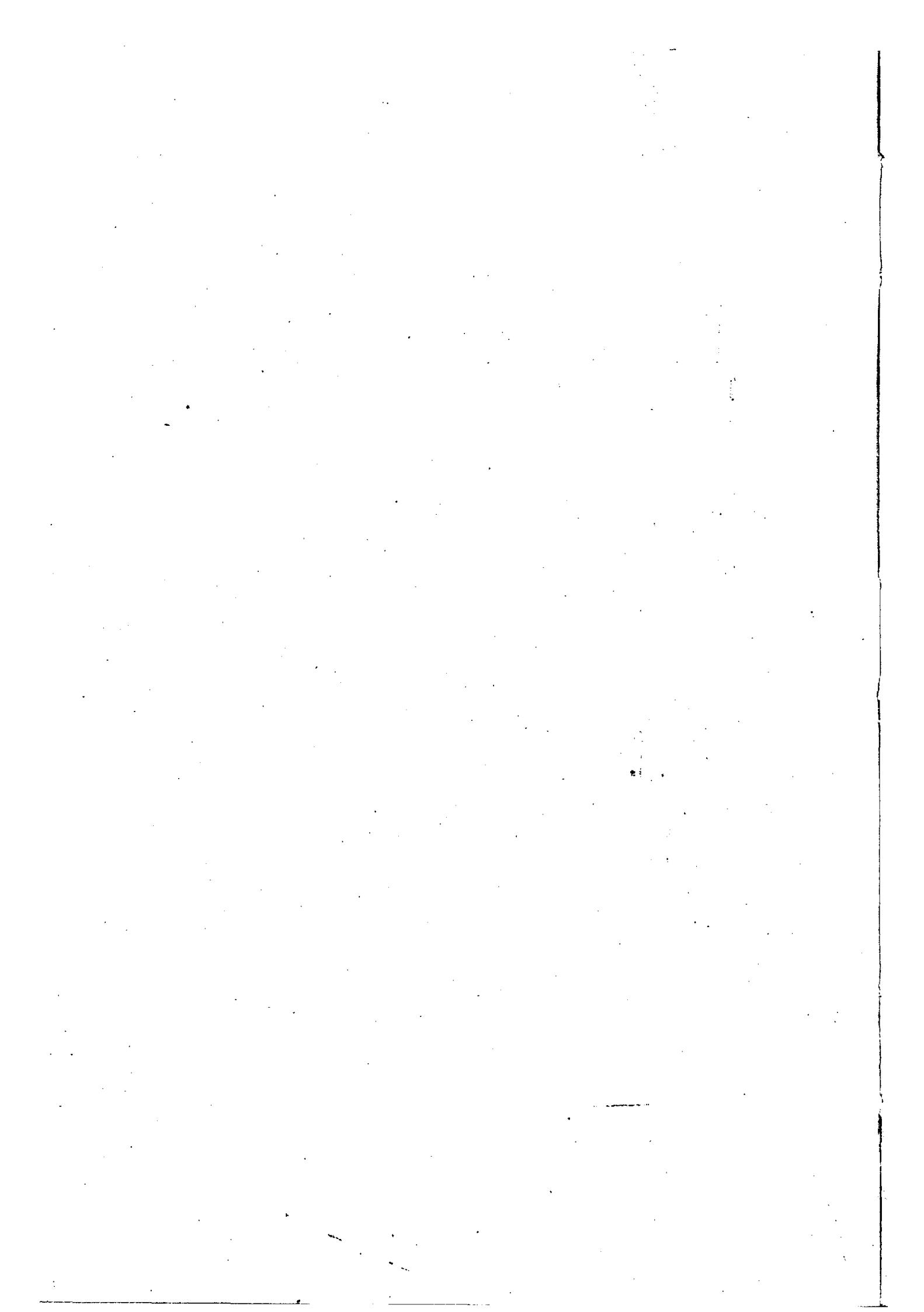
Najlepsze jest kierownictwo, które zmierza do takiego właśnie stanu. Im więcej wykonawców działa z przekonania, tym skuteczniejsze i łatwiejsze jest kierownictwo.





BIBLIOGRAFIA

1. Bross I. D. J. *Jak podejmować decyzje*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe — Biblioteka Problemów, Warszawa 1965.
2. Eddison R. T., Pennycuick K., Rivett B.H.P. (red.) *Badania operacyjne w zarządzaniu*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1964.
3. Gass S. I. *Programowanie liniowe*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1963.
4. Habr J. *Programowanie liniowe*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1964.
5. Kosler E. *Wstęp do teorii gier*, Państwowe Zakłady Wydawnictw Szkolnych, Warszawa 1963.
6. Kotarbiński T. *Traktat o dobrej robocie*, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław—Warszawa—Kraków 1965. Wyd. III.
7. Kowalewski S. *Przełożony — podwładny w świetle organizacji*, Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1967.
8. Lange O. *Optymalne decyzje*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1964.
9. Luce R. D., Raiffa H. *Gry i decyzje*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1964.
10. Łomow B. *Człowiek i technika*, Książka i Wiedza, Warszawa 1966.
11. Mazur M. *Cybernetyka* (rozdział w pracy zbiorowej *Szkoła a postęp techniczny*), Instytut Wydawniczy Nasza Księgarnia, Warszawa 1959. GC
12. Mazur M. *Cybernetyka a humanitarystyzm*, Argumenty 4, 1963.
13. Mazur M. *Cybernetyczne zagadnienia przebiegu życia*, Pomiary — Automatyka — Kontrola 3, 1963.
14. Mazur M. *Myszenie maszyn*, Problemy 9, 1963
15. Mazur M. *Cybernetyczne zagadnienia myślenia*, Przegląd Elektrotechniczny 11, 1963.
16. Mazur M. *Sprzężenie zwrotne w cybernetyce i automatyce*, Przegląd Elektrotechniczny 2, 1965.
17. Mazur M. *O potrzebie cybernetycznych badań rozwoju*, Problemy inwestowania i rozwoju 1, 1966 (Instytut Organizacji i Mechanizacji Budownictwa)
18. Mazur M. *Cybernetyczna teoria układów samodzielnych* Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1966.
19. Poletajew J. A. *Zagadnienia cybernetyki*, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, Warszawa 1961.
20. Pszczołowski T. *Zasady sprawnego działania*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1962.
21. Sadowski W. *Teoria podejmowania decyzji* Polskie Wydawnictwa Gospodarcze, Warszawa 1960.
22. Sowiński A., *Elektroniczne maszyny liczące*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1962.
23. Wiener N. *Cybernetyka i społeczeństwo*, Książka i Wiedza, Warszawa 1960.
24. Williams J. D. *Strateg doskonały — wprowadzenie do teorii gier*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe — seria "Omega", Warszawa 1965.
25. Zieleniewski J. *Organizacja zespołów ludzkich — wstęp do teorii organizacji i kierowania*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, wyd. III. Warszawa 1967.



SKOROWIDZ RZECZOWY

- Afirmacja 12
Afirmant 13
Akceptacja 99
Akumulator 68, 94
Algorytm 121
Alimentator 68, 94
Automat 69
Autonom, 70, 161
- Badanie operacyjne 114
Bit 33
Błąd 87
— praktyczny 87
— teoretyczny 87
Bodziec 57
— wewnętrzny 70
— zewnętrzny 70
- Cel 84
Cybernetyka 8
Czas decyzyjny 72
Czyn 84
Czynność 84
- Decyzja 72, 98
— asocjacyjna 106
— deterministyczna 120
— ekstrapolacyjna 104
— intuicyjna 101
— metodyczna 109
— odruchowa 100
— optymalizacyjna 103, 114
— probabilistyczna 127
— probiercza 108
— prognostyczna 103
— refleksyjna 102
— samorodna 99
— strategiczna 133
— systematyczna 109
— wyrywkowa 108
- Dekodowanie 39
Diagnoza 103
Droga krytyczna 155
Działanie 83
— czyste 85
— destrukcyjne 84
— dokładne 85
— ekonomiczne 85
— konstrukcyjne 84
— niezawodne 85
— oszczędne 85
— proste 85
— racjonalne 85
— skuteczne 85
— udatne 85
— wprawne 85
— wydajne 85
— zachowawcze 84
— zapobiegawcze 84
- Efektor 57, 62, 68, 94
Ekstrapolacja 104
Emocja 80
Energia korelacyjna 71
— robocza 71
Estymacja 71
Estymator 71
- Forma 30
- Gra 133
— hazardowa 133
— strategiczna 133
- Homeostat 70, 95
Homeostaza 70
- Ilość informacji 30, 31
Informacja 38
— redundancyjna 52
— użyteczna 51

- Kierownik 162
- Kod 39
- Kodowanie 39
- Komunikat 37
- Korelacja 71
- Korelator 62, 69
- Luz czasowy 157
- Macierz 134
 - wypłat 134
- Materiał 84
- Mechanizm 68
- Meldunek 162
- Metoda 84
 - prób i błędów 109
 - wykresów sieciowych 154
- Myślenie 79
- Moc korelacyjna 71
- Narzędzie 84
- Negacja 13
- Negant 13
- Nośnik informacji 30, 41
- Obieg korelacyjny 77
 - reakcyjny 77
 - refleksyjno-reakcyjny 78
 - refleksyjny 78
- Obiekt sterowania 57
- Obraz 37
- Obserwacja 160
- Odbiornik informacji 41
- Optymalizacja 115
- Organizacja 85
- Organizator 67
- Organizm 70
- Oryginał 37
- Otoczenie 68
- Parametr 119
- Plan 85
- Podejmowanie decyzji 99
- Pojemność informacyjna 53
- Potencjał decyzyjny 72
 - estymacyjny 72
 - korelacyjny 71
 - refleksyjny 73
 - rejestracyjny 72
- Praca 85
- Prakseologia 83-84
- Próba 84, 108
- Profilaktyka 174
- Prognoza 103
 - asocjacyjna 105
 - ekstrapolacyjna 104
- Programowanie dynamiczne 149
 - liniowe 121
- Przelotność informacyjna 54
- Przenoszenie informacji 41
- Przeswiadczenie 98
- Przetwarzanie informacji 48
 - komunikatów 41
- Przewodność korelacyjna 72
- Przyczyna 84
- Przygotowanie 84
- Przyjemność 80
- Przykrość 80
- Punkt siodłowy 138
- Reakcja 57
- Receptor 57, 62, 68
- Redundancja 52
- Refleksja 80
- Regulacja 62
- Rejestracja 71
- Rejestrator 71
- Rozkaz 160
 - apodyktyczny 175
 - optymalizacyjny 175
- Rozumowanie logiczne 102
- Rozwlekłość 52
- Równanie kryterialne 120
- Równowaga funkcjonalna 70
- Rynek dostawcy 130
 - nabywcy 130
- Schemat funkcjonalny 168
 - hierarchiczny 166
 - organizacyjny 166
- Semantyka 30
- Skutek 84
- Sposób 84
- Sprawca 84
- Sprzężenie 11
 - proste 11
 - zwrotne 11
 - dodatnie 16
 - — — krytyczne 18
 - — — rozbieżne 17
 - — — zbieżne 18
 - — ujemne 16
 - — — krytyczne 22
 - — — rozbieżne 20
 - — — zbieżne 22
- Sterowanie 56, 62
 - otwarte 62
 - zamknięte 62
- Strategia 133
 - minimaksowa 138
 - czysta 138
 - mieszana 140

- Szum informacyjny 52
- Szyfr 45
- Środowisko korelacyjne 71
- Świadomość 80
- Teoria gier 133
 - informacji 30
 - podejmowania decyzji 120
- Terapia 174
- Tor energetyczny 70
 - informacyjny 41, 70
- Treść 30
- Tworzywo 84
- Układ 57
 - cybernetyczny 57
 - samodzielny 70
 - samosterowny 69
 - sterowany 62
- Warunki problemu optymalizacyjnego 120
- Ważkość 132
- Wejście 57
- Wielkość decyzyjna 119
 - kryterialna 119
 - maksymalna 115
 - minimalna 115
 - optymalna 115
 - wejściowa 120
 - wyjściowa 120
- Wrażenie 79
- Wyjście 57
- Wykonawca 162
- Wykrywanie kodu 39
- Wynik 84
- Wyobrażenie 80
- Wytwór 84
- Zasilacz 68
- Źródło informacji 41