R G B WH GR BL Grey Scale #13 C M Y K
DANES-PICTA.COM
A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

PODSTAWY ANALIZY I INŻYNIERII SYSTEMÓW

Nowoczesne techniki operacyjnej analizy systemowej w zastosowaniach obronnych i technicznych

Załączniki

Inches Centimetres
Blue Cyan Green Yellow Red Magenta
Colour Chart #13

Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej
S/5385 zał.
05-005385-001-0
69033

WARSZAWA

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

PODSTAWY ANALIZY I INŻYNIERII SYSTEMÓW

Nowoczesne techniki operacyjnej analizy systemowej w zastosowaniach obronnych i technicznych

Załączniki

Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej
S/5385 zał.
05-005385-001-0

69033

WARSZAWA

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Akademii Obrony Narodowej
Nr ewid. 69033

PODSTAWY ANALIZY I INŻYNIERII SYSTEMÓW

Nowoczesne techniki operacyjnej analizy systemowej w zastosowaniach obronnych i technicznych

Załączniki

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Nr ewid. S/5385 zał

Warszawa **listopad 2002**

ZAŁĄCZNIK 1

Jan M. Żytkow, Andrzej Lewenstam, *Rola modeli w nauce*

ZAŁĄCZNIK 2

Józef Śmigielski, *Znaczenie analogii i modelowania z punktu widzenia integracji nauki i upowszechniania wiedzy*

ZAŁĄCZNIK 3

Czesław Berman, *Nauka Ludwiga von Bertalanffy'ego*

ZAŁĄCZNIK 4

P. K. M'Pherson (Wielka Brytania), *Systemy i nauka o systemach: Próba odpowiedzi na niektóre kwestie ontologiczne i epistemologiczne.*

ZAŁĄCZNIK 5

P. K. M'Pherson (Wielka Brytania), *Nauka o systemach i filozofia systemów*

ZAŁĄCZNIK 6

Krzysztof Tchoń, *Teoria systemów jako podstawa komunikacji międzydyscyplinowej*

ZAŁĄCZNIK 7

Georg Wintgen, *System cybernetyczny w świetle teorii mnogości*

ZAŁĄCZNIK 8

P R Z E G L Ą D Z A G A D N I E Ń, *Cybernetyka jako nauka i cybernetyka nauki*

ZAŁĄCZNIK 9

Michał Tempczyk, *Ilya Prigogine i nowy obraz materii*

ZAŁĄCZNIK 10

Ryszard Łączkowski, *Zasada wygładzania i myślenie nieliniowe*

ZAŁĄCZNIK 11

Ryszard Łączkowski, *Teoria chaosu a zasada przyczynowości*

ZAŁĄCZNIK 12

Bartłomiej Kamiński, Marek Okólski, *Teoretyczne podstawy modelowania systemu światowego*

ZAŁĄCZNIK 1

STUDIA FILOZOFICZNE
NR 12 (289), 1989

Jan M. Żytkow, Andrzej Lewenstam

ROLA MODELI W NAUCE

STUDIA FILOZOFICZNE
NR 12 (289), 1989

Jan M. Żytkow, Andrzej Lewenstam

ROLA MODELI W NAUCE

W artykule tym analizujemy związki między teorią i modelami oraz wskazujemy, że modele są równie ważnym i nieodzownym składnikiem nauki jak teorie. Konstruowanie modeli i konstruowanie teorii są uzupełniającymi się procesami. Teorie są produktem analizy, zaś modele produktem syntezy. Modele są podstawowym narzędziem i wytworem w dziedzinach badających złożone zjawiska i układy, szczególnie ważnym w badaniach nad zakrytą strukturą. Redukcjonistyczna systematyzacja wiedzy w tych dziedzinach dokonuje się poprzez modele. Analizujemy proces tworzenia modeli wskazując, że poprawmy model jest na tyle prosty, by równania modelu dały się rozwiązać i na tyle skomplikowany, by dawał adekwatny opis empiryczny badanego zjawiska.

WSTĘP

Argumentować będziemy, że obok teorii innym nieodzownym i równie podstawowym składnikiem nauki są modele. W wielu dziedzinach nauki (takich jak chemia) działalność teoretyczna koncentruje się na modelach, nie zaś na teoriach. Z sytuacją tą mamy do czynienia w większości nauk, ale, mimo że działalność teoretyczna w nauce zdominowana jest przez modelowanie, to w powszechnej opinii naukowców wiedza naukowa składa się przede wszystkim z teorii, a działalność teoretyczna to różne manipulacje na teoriach. Ogół naukowców uznaje też zasadę redukcjonizmu, według której wiedza naukowa może zostać zredukowana do teorii podstawowych. Opinia ta jest tradycyjnie odzwierciedlana w traktatach na temat historii nauki, gdzie nowe teorie są taktowane jako kamienie milowe postępu. Opisy metody naukowej, zarówno dostarczane przez naukowców, jak i filozofów nauki, koncentrują się na procesach konstruowania i weryfikacji teorii i na badaniach relacji między teoriami.

Uznając wiodącą rolę teorii, większość naukowców w swej codziennej praktyce poświęca więcej czasu konstruowaniu i stosowaniu modeli. Konstruowanie modeli nie jest jednak tak dobrze rozumiane i trudno znaleźć systematyczny opis tego procesu, nawet gdy naukowcy w różnych dziedzinach nauki postępują w podobny sposób, konstruując niezliczoną liczbę

modeli. Trudno znaleźć systematyczny . opis tego procesu oraz kryteriów, jakie musi spełniać skuteczny model. W polskiej literaturze metodologicznej poświęcono sporo miejsca modelom w latach siedemdziesiątych (Przełęcki, 1972; Wójcicki, 1972; Żytkow, 1974), kiedy to wiele kategorii metodologicznych zastosowano do modeli. Model w tamtym sensie reprezentuje przeważnie układ fizyczny widziany przez pryzmat przeprowadzonych eksperymentów, i określić go można jako zestawienie wyników eksperymentów lub reprezentacje rzeczywistości fizycznej nie zaś, jak w niniejszym artykule, jako wiedzę teoretyczną odniesioną do określonego układu fizycznego: Dlatego w cytowanych pracach jest sens mówić o prawdziwości teorii w modelu, podczas gdy w naszym artykule mówimy o prawdziwości modelu w stosunku do modelowanego układu fizycznego. Oba typy modeli odgrywają istotną rolę w analizie działalności naukowej i stanowią oddzielne elementy pełniejszego obrazu nauki.

5. MODEL A TEORIA

Listę naszych spostrzeżeń dotyczących modeli zaczniemy od ich relacji do teorii. Jaka jest rola modeli i dlaczego są one konieczne? Dlaczego nie wystarczy ograniczyć się do teorii? Teorie rozumiemy tu na wzór podstawowych teorii fizyki w sposób, w jaki ujmują je podręczniki naukowe. Każda z podstawowych teorii w nauce mówi o oddzielnym aspekcie rzeczywistości fizycznej: o ruchu pod działaniem sił, o grawitacji, elektryczności i magnetyzmie, zjawiskach cieplnych, i tym podobnych. Można utrzymywać, że każda z podstawowych teorii fizycznych stosuje się do każdego elementu świata fizycznego z osobna, opisując jakiś jego aspekt. Oddziaływania, o których mówią teorie podstawowe są uniwersalne. Każde dwa elementy masy przyciągają się z siłą określaną przez teorie grawitacji (dla prostoty nie dajemy przykładów z dziedziny nowszych teorii fizyki współczesnej). Jakkolwiek mała jest to siła dla niedużych czy też odległych mas, nie kwestionuje się, że ma ona jakąś określoną wartość, choćby była to wartość niemierzalnie mała. Dlatego uznaje się zazwyczaj uniwersalność zakresu zastosowań teorii podstawowej, a samą taką teorię daje się sformułować w prosty sposób, jako sumę prostych wyrażeń odzwierciedlających oddziaływania, o których teoria ta mówi.

Empiryczna weryfikacja tez o poszczególnych oddziaływaniach natrafia na poważne trudności w konkretnych sytuacjach. Dzieje się tak nie tylko dlatego, że efekty, które oddziaływania takie powodują, są często niemierzalne, ale też dlatego, że poszczególne oddziaływanie nie daje się wyodrębnić spośród wielu innych, to zaś co daje się zmierzyć jest

kombinacją wielu czynników. Obserwowalne zachowanie jakiegoś systemu fizycznego może być wytłumaczone dopiero po wzięciu pod uwagę wielu aspektów, opisywanych przez różne teorie. Dlatego choć uważa się, że podstawowe teorie mają zakres uniwersalny i stosują się do każdego elementu świata fizycznego, to w innym, praktycznym sensie trzeba przyznać, że poszczególna teoria stosuje się do niewielu sytuacji. Układy fizyczne są zazwyczaj zbyt skomplikowane, by dało się je skutecznie opisać przy zastosowaniu pojedynczych teorii. Nie jest to jednak wykluczone w szczególnie prostych sytuacjach, a co więcej, sytuacje takie są niezbędne, by teoria została wykryta i zweryfikowana. Tak więc, każda teoria ma pewien, na ogół bardzo ograniczony zakres prostych układów, w których może być potwierdzona za pomocą bezpośrednich pomiarów. Historia nauki wskazuje na niezliczonych przykładach, że teorie były rozwijane w rezultacie studiów empirycznych na prostych, jednostronnych układach, w których udało się praktycznie abstrahować od wpływu zjawisk wykraczających poza daną teorię. W takich prostych układach większość oddziaływań jest zaniedbywalna z perspektywy tego szczególnego oddziaływania, które znajduje się w centrum zainteresowania danej teorii. Ale systemy takie są rzadkie.

Tak więc w stosunku do większości układów fizycznych kilka teorii musi być zastosowanych jednocześnie, by uzyskać opis, który potwierdza się doświadczalnie. Do takich zastosowań naukowcy syntetyzują konstrukty nazywane zazwyczaj modelami. Wiedza o składnikach obiektu modelowanego pozwala stwierdzić, że występują w nim określone procesy. Dla każdego elementarnego oddziaływania czy procesu, znane teorie przewidują określone wyrażenia matematyczne, które je reprezentują. W procesie tworzenia modelu te wyrażenia matematyczne są zestawiane w bardziej złożone równania. Od strony formalnej można uznać model za układ równań uzupełniony o różne warunki szczegółowe. Można go więc uznać za teorię w rozumieniu logiki. Z formalnego punktu widzenia rozwiązywanie równań jest procesem wyciągania wniosków logicznych, czasem wniosków o charakterze przybliżonym. Jak natomiast wygląda porównanie modelu i teorii z punktu widzenia treści empirycznej? Jak w szczególności określone są ich zakresy zastosowań? Każda z teorii podstawowych ma zasięg uniwersalny, gdyż uchylany jest wobec niej wymóg jej bezpośredniej weryfikacji empirycznej. Tak więc nie jest wymagane ograniczanie zakresu jej zastosowań przez formułowanie jakichś warunków (stosowalność teorii fizyki klasycznej jest ograniczana warunkami takimi jak v « c). Model ,natomiast jest traktowany inaczej, ponieważ wymaga się, by był potwierdzony empirycznie. Każdy model stosuje się do ograniczonej klasy sytuacji, podobnie jak teorie podstawowe, gdy wymagamy ich bezpośredniej weryfikacji. Jednym ze sposobów określania zastosowań modelu jest wskazanie układu

empirycznego bądź szeregu układów empirycznych, do których model ten się stosuje. Sposób ten określić można jako ostensywny, czy pozajęzykowy. Wskazanie jednego lub szeregu układów różni się od wprowadzenia warunku językowego W, który można by użyć jako poprzednika okresu warunkowego W→RM, gdzie RM jest układem równań i warunków szczegółowych określających model. Okazać się może, że żaden taki warunek W, za pomocą którego chcielibyśmy określić zbiór zastosowań danego modelu, nie jest adekwatny. Jeśli tak, to zawartość empiryczna modelu jest określona poprzez wskazanie zbioru układów fizycznych, do których RM ma się stosować.

Czy rozróżnienie między teoriami i modelami jest rozróżnieniem na teorię i praktykę lub na naukę i jej zastosowania? Nie uważamy tak, ponieważ modele są konieczne w bardzo podstawowym sensie. Po pierwsze, modele są niezbędne, gdy chcemy wykazać empirycznie stosowalność wiedzy naukowej we wszystkich układach fizycznych. W zdecydowanej większości wypadków musimy to robić za pomocą złożonych modeli. Po drugie, zastosowanie modeli jest konieczne przy poszukiwaniu rozbieżności między istniejącymi teoriami i doświadczeniem. Rozbieżności te są . ważnym bodźcem do rozwoju nauki, tworzą empiryczną podstawę budowy nowych teorii. Po trzecie modelowanie pozwala na rozpoznawanie struktury obiektów fizycznych, a jest szczególnie użyteczne w rozpoznawaniu ukrytej struktury. Nowe interesujące zjawiska są zauważane na poziomie obserwowalnych obiektów i własności, ale obserwowalna struktura nie wystarcza zazwyczaj do wyjaśnienia zjawisk i potrzebne są hipotezy o ukrytej strukturze. Odkrywanie struktury obiektów fizycznych nie daje się zredukować do odkrywania teorii i należy to traktować jako proces równorzędny. Oba procesy są nieodzowne i żaden nie może być uważany za ważniejszy. Problem ukrytej struktury odnosi się do przypadków tak różnych jak modele gwiazd, elektrody jono-selektywne, DNA, czy połączenia neuronów w mózgu. Wszędzie zadanie polega na wyodrębnieniu najprostszej możliwie struktury i dobudowaniu do niej układu równań, których rozwiązanie odtwarza badane zjawisko, a następnie na uzasadnieniu przyjętych założeń. Tak więc modele jednoczą oba czynniki: wiedzę o teoriach i wiedzę o strukturze. Hipotezy o strukturze są weryfikowane przez ich konsekwencje empiryczne. Tak więc skuteczny model wyjaśnia ukrytą strukturę obiektu modelowanego.

6. MODELE A OBIEKTY MODELOWANE

„Model" jest pojęciem relacyjnym. Ma sens twierdzenie, że M jest modelem czegoś, nie zaś że jest modelem po prostu. Wskazać powinniśmy przy tym na obiekt O, który ma

strukturę podobną do M. Można wyróżnić dwa opozycyjne
typy modeli. W jednym z tych typów , M kopiuje strukturę O (model-kopia), podczas gdy drugi typ zawiera modele - prototypy. Gdy ktoś twierdzi, że Zawisza jest modelem cnót rycerskich, ma na myśli model prototyp. Układ planetarny jest modelem prototypem modelu atomu. W niniejszym artykule zajmujemy się modelami - kopiami układów fizycznych i nazywamy je po prostu modelami. Relacja modelowania zachodzi przy wystarczającym podobieństwie struktury pomiędzy M i O. Nie wymagamy jednak, by M kopiowało strukturę O we wszystkich szczegółach. Pewne cechy O mogą nie mieć odpowiedników w modelu. Przez strukturę rozumiemy nie tylko strukturę przestrzenną, ale także czasową strukturę O i strukturę procesów, którym O podlega. Relacja modelowania ustanawia korespondencję składników i procesów między M i O. Im bardziej wyraźna jest ta korespondencja, tym łatwiejsze jest posługiwanie się modelem.

7. JAK ZBUDOWAĆ MODEL:

Konstrukcja modelu jest skomplikowanym procesem, który uwzględnia szereg czynników, włączając różne teorie, wiedzę o szczególnych rodzajach struktur, rezultaty wstępnych eksperymentów i obserwacji, poprzednie modele, dokładność pomiaru, itp. W procesie tym na ogól rozważa się wiele modeli zanim znajdzie się model, który spełnia odpowiednie warunki. Jest to niezwykle skomplikowany proces i w niniejszym artykule rozważamy jedynie podstawowe kroki i warunki, które muszą być spełnione. Wyróżnić możemy szereg takich kroków:

a) zrób zestawienie obiektów, własności i procesów występujących w modelowanym układzie fizycznym (lub charakterystycznych dla modelowanego zjawiska;
b) skonstruuj równania odpowiadające wiedzy o modelowanym układzie;
c) uprość równania, aż dadzą się rozwiązać;
d) rozwiąż układ równań;
e) zweryfikuj rozwiązanie, porównując je z danymi empirycznymi.

Zadowalający model udaje się zazwyczaj osiągnąć po kilku cyklach raczej niż w rezultacie jednokrotnego zastosowania wymienionych kroków. Model można sobie początkowo wyobrazić jako pustą kartkę, na której (cf. p. a) odnotowuje się te obiekty, własności i procesy, jakie można wyodrębnić analizując wiedzę obserwacyjną o modelowanym układzie lub zjawisku. Jeśli równania nie potwierdzają się empirycznie, to w kolejnych cyklach w punkcie a. algorytmu dodaje się dalsze, na ogół przyjęte hipotetycznie obiekty i procesy, a

następnie w p. b. uzupełnia się odpowiednio równania, uwzględniając wszelkie obiekty obserwowane i postulowane oraz procesy zachodzące między nimi. Tak więc bezpośrednio obserwowalne elementy modelowanego zjawiska stają się początkowymi składnikami modelu. Pewne dodatkowe składniki muszą być dodane w świetle naszej wiedzy. Na przykład, wytwarzaniu ciepła towarzyszy szereg mechanizmów jego przekazu i nośniki takie jak promieniowanie. Gdy wymagania rozwiązalności i adekwatności nie są spełnione, możemy dodać założenia o charakterze hipotetycznym. Niektóre z tych założeń postulują dodatkowe elementy strukturalne, podczas gdy inne upraszczają model przez przyjęcie zaniedbywalnego wpływu pewnych składników (p.c).

Model składa się z dwu struktur, rozwijanych równolegle. Jedna z tych struktur jest formalna czy też symboliczna i składa się głównie z układu równań. Drugą stanowi uproszczony obraz fizyczny lub myślowy modelowanego zjawiska i jego ukrytej struktury. Może on być przedstawiony przez diagramy, modele materialne, itp. Tworząc taki obraz abstrahujemy od wszelkich szczegółów, które uważamy za nieistotne, uwzględniając jedynie znaczące obiekty, reprezentowane w uproszczonej formie punktów materialnych, idealnie sztywnych kul, itd. Składniki każdego z równań odpowiadają składnikom takiego obrazu. Składniki te odpowiadają jednocześnie obiektom i procesom w świecie fizycznym. Zastosowanie tej korespondencji między modelem a układem fizycznym pozwala weryfikować model za pomocą testowania adekwatności doświadczalnej i pozwala proponować szczegółowe poprawki do modelu w związku ze szczegółowymi problemami.

Konstrukcja modelu jest zorientowana na określony cel, na przykład na wyjaśnienie interesującego zjawiska. Skuteczny model odtwarza wystarczająco wiele z modelowanej struktury, by wyjaśnić zjawisko, jednocześnie utrzymując strukturę wystarczająco prostą, by zapewnić rozwiązanie matematyczne. Proces konstruowania modelu oscyluje między prostotą a adekwatnością produktu. Złoty środek polega na wprowadzeniu wystarczająco bogatych równań, by uzyskać model potwierdzony empirycznie, przyjmując jednocześnie wystarczająco wiele uproszczeń, by zapewnić rozwiązalność równań. Zgadza się to z naszą intuicją rozumienia zjawisk: model powinien zawierać odpowiednią ilość szczegółów - ani za mało, ani za dużo.

4. JAK ZWERYFIKOWAĆ MODEL?

Weryfikacja modelu jest procesem, który towarzyszy głównym krokom w jego konstrukcji i dostarcza sprzężenia zwrotnego na długo przed tym, zanim zostanie osiągnięte

końcowe rozwiązanie. Okresowo sprawdza się niesprzeczność modelu i jego empiryczne potwierdzenie w stosunku do modelowanych układów fizycznych. Każdy element modelu powinien zostać w miarę możliwości zweryfikowany, a nie tylko końcowe wnioski obserwacyjne. Równania mogą być sprzeczne wewnętrznie lub sprzeczne z uprzednią wiedzą. Tymczasowe rozwiązanie może dać absurdalny rezultat, jeśli, na przykład, stężenie jonów rośnie do nieskończoności. Kreując model przyjmujemy założenia, które mogą być później weryfikowane, choć ich weryfikacja jest trudna, gdyż inaczej założenia nie byłyby założeniami. Każde równanie, a nawet każde wyrażenie składowe w równaniu użyte do konstruowania modelu, ma ograniczony zakres zastosowań. Gdy równania modelu zostaną już rozwiązane, możemy sprawdzić, czy rozwiązanie spełnia warunki stosowalności wyrażeń składowych. Można też próbować bezpośredniej weryfikacji empirycznej założeń o ukrytych obiektach czy procesach, używając bardziej subtelnych metod empirycznych.

Weryfikacja nie jest pełna bez wykazania, że reszta świata fizycznego, która nie została uwzględniona w modelu, nie ma obserwowalnego wpływu. Jak można to stwierdzić? Jednym ze sposobów jest oszacowanie pominiętych oddziaływań i wykazanie, że mają one zaniedbywalny wpływ. Innym ze sposobów jest skonstruowanie bardziej skomplikowanego modelu, który uwzględnia dodatkową strukturę, ale prowadzi do tych samych wniosków obserwacyjnych. Jest to rzadko możliwe, ponieważ pierwszy model znajduje się na granicy rozwiązalności równań i na granicy rozumienia ukrytej struktury modelowanego zjawiska. Zwykle wymagany jest proces daleko idących przybliżeń, by uzasadnić tezę, że w konstrukcji modelu nie zostały przeoczone ważne elementy. Bardzo często dowód taki nie jest w ogóle przeprowadzany, a badacze są i tak zadowoleni, że w ogóle uzyskali model, który może pretendować do wyjaśnienia zjawiska.

5. TEORIE I MODELE: ANALIZA I SYNTEZA

Teorie są produktem .analizy. W tym procesie rzeczywistość fizyczna - obiekty i oddziaływania między nimi - zostaje rozłożona pojęciowo na niedużą liczbę prostych i niezależnych jednostek, z których każda opisana jest za pomocą jakiejś formuły matematycznej. Można powiedzieć, że proces konstruowania teorii zmierza w kierunku jak najdalej posuniętej modularyzacji. Konstrukcja modeli podąża w przeciwnym kierunku, wykorzystując modularność teorii. Modele są produktami syntezy, w trakcie której z podstawowych składników dostarczanych przez poszczególne teorie buduje się złożone opisy. Używane wspólnie, oba podejścia pozwalają na wydajną reprezentację i wszechstronne

zastosowania wiedzy naukowej. Teorii jest niewiele, podczas gdy liczba modeli jest ogromna, praktycznie nieograniczona. Modele są tworzone do opisu konkretnych zjawisk i układów, przez użycie metody, którą krótko scharakteryzowaliśmy.

Modele są produktem syntezy, choć można też myśleć o nich jako o abstrakcjach obiektów modelowanych. Konstruując model rozpoczynamy od „białej karty", na którą wprowadzamy poszczególne elementy. Kiedy natomiast zadawalający model zostanie skonstruowany, przez porównanie go do obiektu modelowanego możemy stwierdzić, od czego możemy abstrahować rozpatrując określone zjawisko. Część z tych abstrakcji wprowadzamy świadomie, decydując, że nie uwzględnimy tego czy innego elementu, ale wiele abstrakcji jest przyjmowanych nieświadomie, gdyż pewnych elementów po prostu nie zauważamy lub nie podejrzewamy ich istnienia.

6. NAUKI OPARTE NA MODELACH

Fizyk poszukuje elementarnych obiektów i oddziaływań, dlatego też zajmuje się obiektami i zjawiskami szczególnie prostymi. Stara się redukować wszelkie znane prawidłowości do teorii najbardziej podstawowych.: Badacze w innych dziedzinach nauki zajmują się obiektami bardziej złożonymi. Chemik analityk analizuje próbki chemiczne, geolog bada strukturę Ziemi, a biolog studiuje organizmy. Przedmiotem ich zainteresowania są więc skomplikowane struktury i trudno oczekiwać, by dały się one opisać przez proste teorie. Wiedza o konkretnych obiektach i wiedza o ich strukturze jest ważna z szeregu powodów. Po pierwsze struktura jest interesująca sama w sobie. Po drugie znajomość struktury ma ważne konsekwencje praktyczne. Po trzecie analiza struktury pozwala wykryć nowe zjawiska, tworząc materiał do rozwoju nowych teorii. Rozbieżność przewidywań modelu z danymi empirycznymi stanowi o jego nieadekwatności, ale przyczyną może być nie tylko przeoczenie jakichś składników. Zdarza się, że badania nad usunięciem takiej rozbieżności prowadzą do utworzenia nowej teorii.

Naukowcy pracujący w dziedzinie chemii czy biologii nie tylko badają złożone struktury, ale też odkrywają różnego rodzaju prawa, określane często jako równania empiryczne. Czy prawa takie redukują się do podstawowych teorii bzyki`? Z całą pewnością nie da się wyprowadzić praw empirycznych z bardziej ogólnych praw bez uwzględnienia założeń o strukturze. Redukcja wymaga więc zarówno teorii; jak i wiedzy o strukturze,. a dokonuje się poprzez zastosowanie modeli. Tak więc modele są również podstawowym czynnikiem systematyzacji wiedzy w dziedzinach badających układy złożone. Warto tu zauważyć, że ma

miejsce symetria: powody, dla których ważne są teorie, są jednocześnie powodami, dla których ważna jest znajomość struktury.

WYKAZ LITERATURY

Przełęcki *M., Problem interpretacji języka empirycznego w ujęciu teorio-modelowym,* „Studia Filozoficzne", 1972, nr 1.

Wójcicki R., *Metody formalne w problematyce teoriopoznawczej,* „Studia ilozoficzne",1972,r 1.

Żytkow J. M., *Struktura teorii fizycznej a relacje redukcji i korespondencji, [w:]* Krajewski W., Mejbaum W., Such J. (eds.) *Zasada korespondencji w fizyce a rozwój nauki,* Warszawa, 1974, PWN, str. 233-279.

Jan M. Żytkow, Andrzej Lewenstam

THE ROLE OF MODELS IN NATURE

In the article we analyse the relations between theories and models and we point out that both models and theories are equally important and indispensable as components of science. The construction of models and the construction of theories are complementary processes. Theories are products of analysis while models are products of synthesis. Models are elementary tools and products in fields examining complicated phenomena and relationships and are particularly important in research into hidden structure. The reductionist systematization of knowledge in those fields takes place by means of models. We analyze the process of the formation of models pointing out that a correct model fis simple enough for its equations to be solvable and complicated enough to give an adequate empirical description of the phenomenon examined.

ZAŁĄCZNIK 2

STUDIA FILOZOFICZNE
NR 12 (133), 1976

Józef Śmigielski

ZNACZENIE ANALOGII I MODELOWANIA Z PUNKTU WIDZENIA INTEGRACJI NAUKI I UPOWSZECHNIANIA WIEDZY

STUDIA FILOZOFICZNE
Nr 12 (133) 1976

Józef Śmigielski

ZNACZENIE ANALOGII I MODELOWANIA Z PUNKTU WIDZENIA INTEGRACJI NAUKI I UPOWSZECHNIANIA WIEDZY

Proces rozwoju nauki pociągnął za sobą *daleko posuniętą specjalizację i dezintegrację* oraz *utrudnił porozumiewanie się specjalistów z różnych dziedzin i pełne wykorzystanie osiągnięć poznawczych. Przyczyniają się do tego również powszechnie obowiązujące konwencje i kryteria oceny osiągnięć naukowych sprzyjające przyczynkarstwu. Rozwój cybernetyki tylko w nieznacznym stopniu zahamował postępujący proces dezintegracji nauki. Wynikło to w dużej mierze z braku odpowiedniego przygotowania matematycznego obserwowanego u* osób *z wykształceniem humanistycznym albo przyrodniczym i co za tym idzie - braku odpowiednich nawyków metodologicznych. Umiejętność właściwego upraszczania rozpatrywanych kompleksowych zagadnień jest zasadniczym warunkiem ich efektywnego badania i rozwiązywania. Znalazło to pełne potwierdzenie w technice, ale jest w niezadowalającym stopniu uwzględniane i uświadamiane w dziedzinie nauk społecznych. Możliwości, jakie stwarza modelowanie matematyczne, zilustrowane zostały przykładami z dziedziny ekologii, nauk społecznych i psychologii. Zostały również wskazane bliskie analogie pomiędzy niektórymi, dobrze zbadanymi zjawi*skami *fizycznymi oraz pewnymi zjawiskami społecznymi. Dostrzeżenie tych analogii umożliwia wykorzystanie opisu matematycznego stosowanego w naukach ścisłych do zjawisk w naukach społecznych, ułatwiając zarazem upowszechnianie osiągnięć naukowych z różnych dziedzin wśród niespecjalistów. Szersze korzystanie z modeli matematycznych w dziedzinach tradycyjnie niezmatematyzowanych powinno przyczynić się do stworzenia warunków do integracji nauki i podejmowania badań problemów kompleksowych, które mają największe znaczenie praktyczne.*

1. WPROWADZENIE

Proces rozwoju nauki pociągnął za sobą daleko posuniętą specjalizację, a zarazem dezintegrację. Objawia się to min. trudnościami w:

- porozumiewaniu się reprezentantów różnych dziedzin nauki,
- przenoszeniu osiągnięć uzyskanych w jednej dziedzinie do innej i ich wykorzystywaniu,
- dokonywaniu syntez i ujęć kompleksowych.

Utrzymywaniu się tego stanu sprzyja powszechnie przyjmowana, anachroniczna konwencja dotycząca oceny osiągnięć i dorobku naukowego. Skłania ona do podejmowania prac nad wycinkowymi tematami, często oderwanymi od rzeczywistości, nadającymi się za to dobrze do ścisłego ujęcia ilościowego i chroniącymi przed kontrolą przedstawicieli innych środowisk, która mogłaby się okazać uciążliwa.

Poszczególne gałęzie nauki - w miarę rozwoju - wypracowują swoje własne języki, na które składają się nowe terminy i pojęcia oraz nowe specyficzne znaczenia przypisywane terminom będącym w powszechnym użyciu[1]. Poza tym dyscypliny te zajmują się coraz bardziej wyrafinowanymi problemami i subtelnościami, nie troszcząc się o upowszechnienie poprzednich osiągnięć, co także przyczynia się do utrudniania porozumiewania się pomiędzy specjalistami i rozumienia sensu dociekań przez przeciętnie wykształconego odbiorcę[2]. Są to niewątpliwie objawy patologiczne, które powodują, że taka działalność daje rezultaty mało przydatne społecznie.

W aktualnej sytuacji śledzenie postępu w różnych dziedzinach napotyka na przeszkodę, którą stanowi konieczność opanowywania różnych języków. Stosunkowo najprościej przedstawia się sprawa w naukach ścisłych tzn. zmatematyzowanych, gdyż takim uniwersalnym, a jednocześni precyzyjnym i jednoznacznym językiem ułatwiającym porozumienie jest matematyka.

2. ISTOTA MODELOWANIA

Korzystny przełom w zakresie integracji nauki stanowił rozwój cybernetyki. Nie wdając się w rozważania, czym cybernetyka jest, jaką odegrała rolę poznawczą[3], można z pewnością uznać, że przyczyniła się w bardzo istotny sposób do lepszego zrozumienia wielu zjawisk z różnorodnych dziedzin wiedzy przez zidentyfikowanie zasadniczych, występujących w nich wspólnych elementów i podobieństw. Szczególną rolę odegrały tu pojęcia sprzężenia zwrotnego i informacji. Interpretacja zjawisk ekonomicznych, biologicznych,

[1] J.G.Kemeny *Nauka w oczach filozofa,* Warszawa 1967, rozdz.1.
[2] Wywiad z prof. J. Szackim: *W zakamarkach struktur,* „Życie i Nowoczesność", 1975, nr 251
[3] *Cybernetyka. Argumenty za i przeciw*, Warszawa 1965

psychologicznych i społecznych w języku cybernetyki ułatwia ich zrozumienie i kierowanie nimi[4]. Niestety, zarówno terminologia cybernetyczna, jak i matematyka bywają również nieco nadużywane dla „unaukowienia rozważań[5], co można dość często zaobserwować w pracach m. in. z dziedziny psychologii i socjologii matematycznej oraz prakseologii[6]. Inna sprawa, że łatwiej jest wtedy o krytycyzm naukowy wobec metody i rezultatów niż to ma miejsce w przypadku rozwlekłych i zagmatwanych wywodów czysto werbalnych, które polegają czasem na pustej informacyjnie frazeologii i żonglerce nieostrymi terminami[7].

Z tych względów jest rzeczą pożądaną dokonywanie prób zastosowania opisów matematycznych do analizy zagadnień uważanych tradycyjnie za nie nadające się do takiego ujęcia. W aktualnej sytuacji, w dążeniu do źle pojętej wszechstronności ujęcia, w wielu pracach z dziedziny nauk społecznych następuje zatarcie hierarchii ważności rozpatrywanych czynników, co poważnie utrudnia uchwycenie (zidentyfikowanie) zasadniczych związków i zależności istotnych dla rozpatrywanego zagadnienia. Nic, więc dziwnego, że w tych warunkach wielu badaczy woli ograniczyć swoją działalność do problemów wycinkowych wypreparowanych z większej całości i modeli tak dalece uproszczonych, że niewiele przypominają już rzeczywisty przedmiot (obiekt) badań[8]. Rezultaty takiej działalności?Mają bardzo problematyczną wartość poznawczą, nawet jeśli się je określa jako badania podstawowe. Podobne symptomy można też zaobserwować w działalności badawczej z zakresu nauk ścisłych, gdzie również wszechwładnie panuje przyczynkarstwo. W tych dziedzinach jednak łatwiejsza jest merytoryczna weryfikacja.

Rozwój techniki (sztuki inżynieryjnej) wyprzedzał na ogóle rozwój teorii (badań podstawowych) a nawet był,stymulatorem dzielności poznawczej (np. maszyna p arowa d la termodynamiki). Podobnie inżynieria społeczna również wyprzedza rozwój teorii społecznych, opierając się z konieczności jedynie na wyczuciu, indywidualnym doświadczeniu i intuicji, gdyż wiele problemów wymaga doraźnego rozwiązania mimo braku podstaw naukowych. Pociąga to za sobą żywiołowość i konieczność improwizacji oraz stosowania metody „prób i błędów", bez oglądania się na naukowców zamkniętych w swojej hermetycznej „wieży z kości słoniowej".

Problemy społeczne są złożone i wskutek tego niezbyt dobrze nadają się do algorytmizacji. Z tego względu przy ich praktycznym rozwiązywaniu szczególną rolę mają do

---

[4] O Lange, *Wstęp do cybernetyki ekonomicznej*, Warszawa 1970; S. Lem, *Dialogi*, Kraków 1972, rozdz. VII i VIII

[5] J.R. Pierce, *Symbole, sygnały, szumy*, Warszawa 1967, s. 353

[6] *Problemy psychologii matematycznej*, Warszawa 1971

[7] J. G. Kemeny, *Nauka...*, s.245-246

odegrania proste modele i analogie zapożyczone z innych, bardziej zmatematyzowanych dziedzin wiedzy, nawet jeśli stanowią je znacznie prostsze układy czy systemy modelujące rozpatrywany :obiekt tylko pod pewnym względem (z ograniczeniami).W związku z tym wydaje się słuszne, aby osoby zajmujące się niektórymi działami inżynierii społeczne j miały dobre przygotowanie nie tylko matematyczne, ale i w takich dziedzinach nauk technicznych, jak :cybernetyka (teoria regulacji i sterowania) oraz dynamika układów fizycznych[9]. Umożliwiłoby to im swobodne korzystanie w szerokim zakresie z osiągnięć uzyskanych w innych dziedzinach i przenoszenie ich na grunt nauk społecznych oraz ułatwiłoby upowszechnianie własnych rezultatów badań[10].

Przygotowanie w zakresie nauk ścisłych wyrabia też specyficzną dyscyplinę umysłową, która przyczynia się korzystnie do zmniejszenia nieokreśloności, mglistości i wieloznaczności późniejszych dociekań. Taka sugestia natrafia na opory zarówno ze strony „humanistów", (których zresztą prześladuje kompleks nieznajomości matematyki) jak i „techników", którzy nie mają chęci przestawiania się na obcą im dziedzinę nauk społecznych, odmawiając im cechy naukowości. Zagadnieniu modelowania (podobieństw, analogii) poświęcono wiele specjalnych prac i studiów. Niestety, prace te mają zwykle ambicję przedstawiania całości zagadnienia modelowania i to w sposób możliwie najbardziej ogólny i abstrakcyjny. Wskutek tego nie przyczyniają się one zbytnio do upowszechnienia i popularyzacji metod modelowania, zwłaszcza, że wiele miejsca poświęca się w tych pracach na dociekania terminologiczne i polemiki, zaniedbując praktyczne aspekty zagadnienia[11]. Inne prace, które wydają się bardziej obiecujące, są niestety rozproszone w różnych trudno dostępnych periodykach[12].

Najwięcej danych i informacji dotyczących zagadnienia modelowania można znaleźć w pracach poświęcanych cybernetyce. Na szczególną uwagę zasługuje tu idea „czarnej skrzynki", tj. układu o nieznanej strukturze, dla którego określa się jedynie charakterystykę (odpowiedź na wyjściu na różne pobudzenia na wejściu[13]). W odniesieniu do nauk społecznych taką funkcję spełniają opisowe modele matematyczne[14].

---

[8] J. S. Coleman, *Wstęp do socjologii matematycznej,* Warszawa 1968, s. 105
[9] R. H. Cannon Jr., *Dynamika układów fizycznych,* Warszawa 1973
[10] Tamże, s.65
[11] W. Sztoff, Modelowanie i filozofia, Warszawa 1971; B. A. Glinskij i in., Modielirowanie kak mietod. naucznogo issliedowanija, Moskwa 1965.
[12] A. Rosenblueth, N. Wiener, *The Role of Models in Science,* „Philosophy of Science", 12, 329 (1945); L. Apostel, *Towards the Formal Study of Models in Nonformal Sciences, "Synthese", 12,No 2-3 (1960)*
[13] S.Beer, *Cybernetyka a zarządzanie,* Warszawa 1966, s. 56-66.
[14] J. G. Kemeny, *The Socjal Sciences Call on Mathematics,* The Mathematical Sciences, The MIT Press ,Cambridge 1969, s. 21-35; J .G. Kemeny ,J. L. Snell, Mathematical Models in Socjal Sciences, Ginn, Boston

Metoda ta nie jest wykorzystywana tak, jak na to zasługuje, mimo że w oparciu o wielowiekowe doświadczenie można w pewnych sytuacjach z dużym prawdopodobieństwem przewidywać zachowanie się niektórych układów społecznych i jednostek ludzkich i robi się zresztą z tego powszechny, choć nie w pełni uświadamiany, użytek praktyczny.

Trudno się oprzeć przekonaniu, że nauki społeczne rozwijają się aktualnie nurtem równoległym do praktycznej działalności w zakresie inżynierii społecznej {socjotechniki) i powiązania między obu tymi nurtami są niestety ciągle za słabe. Usiłowania mające na celu skonstruowanie,ogólnej teorii zjawisk społecznych albo teorii osobowości poprzez badanie zjawisk elementarnych nie rokują nadziei na osiągnięcie tego celu w najbliższej możliwej do przewidzenia przyszłości. Bardziej obiecujące i pożyteczne(z punktu widzenia działalności praktycznej wydaje się aproksymowanie obserwowanych - dla rozpatrywanych układów społecznych (systemów) - zależności reakcji i bodźców prostymi relacjami funkcyjnymi, czasem z konieczności o charakterze na wpół jakościowym wskutek braku odpowiednich miar albo nieznajomości współczynników. W niektórych zagadnieniach taki opis jest znacznie bardziej przydatny niż opisy czysto; werbalne i umożliwia wykrycie właściwości, które inaczej uchodził uwadze[15]. Podejście tego rodzaju okazuje się bardzo owocne także w fizyce, czego ilustracją może być np. porównanie zawiłego opisu słownego i przejrzystego, zwięzłego opisu matematycznego dla ruchu jednostajnie przyspieszonego.

3. PRZYKŁADY MODELOWNIA

W dalszym ciągu przedstawione zostaną proste opisowe modele matematyczne wybranych prostych zjawisk społecznych i psychicznych, nie wykraczające poza zakres analizy, a więc zrozumiałe dla odbiorcy o przeciętnym przygotowaniu matematycznym. Mają one na celu wykazanie walorów poznawczych i dydaktycznych takiego podejścia stanowiąc jedynie próby i propozycje przedstawienia znanych faktów innej formie i nie roszcząc sobie pretensji do ścisłości. Modele takie mogą dopomóc przy interpretacji wyników dalszych badań empirycznych i obserwacji oraz przy planowaniu takich badań. W przypadku pojawienia się faktów nie zgodnych z modelem musi on ulec odpowiedniej modyfikacji.

Rozpatrując liczebność populacji zwierząt x posiadających nieograniczony dostęp do zasobów pożywienia, można przyjąć, że szybkość jej wzrostu:jest proporcjonalna do liczby

---

1962; P. Abell, *Modele w socjologii,* (w druku); K. Szaniawski, *Modele matematyczne a rzeczywistość społeczna,* [w:] S. Nowak, (red.), *Metodologiczne problemy teorii socjologicznych,* Warszawa 1971.

[15] J. S. Caleman, *Wstęp...,* s. 62 i 516; S. Nowak, *Metodologia badań socjologicznych,* Warszawa 1970.

osobników

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)_{+} = Ax$$

W przypadku braku pożywienia inna populacja y będzie zanikać zgodnie z relacją:

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)_{-} = -Py$$

Gdy populacja *y* żywi się osobnikami z populacji *x,* można przyjąć, że szybkość ubytku osobników x wyniesie:

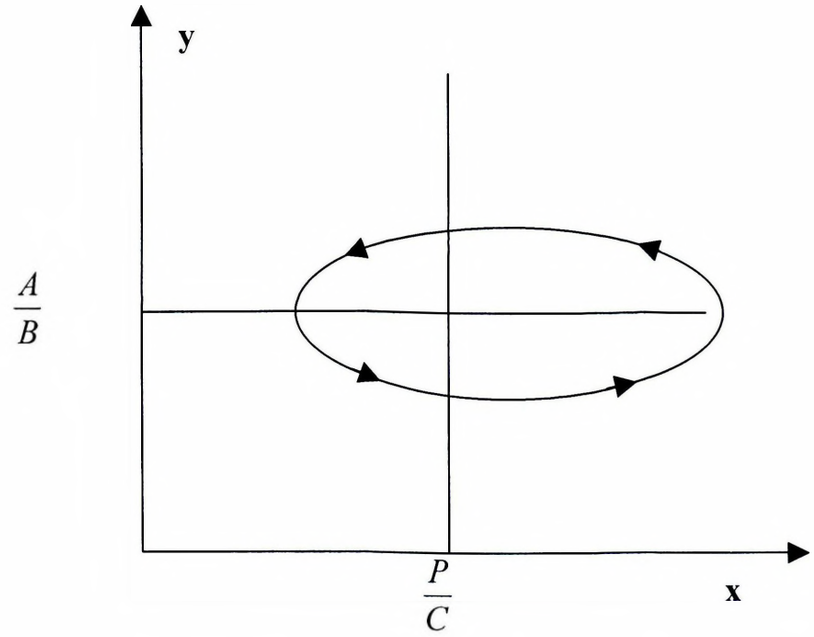
$$\left(\frac{dx}{dt}\right)_{-} = -Bxy$$

podczas gdy liczebność osobników y będzie wzrastać

$$\left(\frac{dx}{dt}\right)_{+} = Cxy$$

Szybkość przyrostu netto obu populacji wyrazi układ równań różniczkowych:

$$\frac{dx}{dt} = Ax - Bxy$$
$$\frac{dy}{dt} = Cxy - Py$$



Rys.1

Rozwiązanie tego układu ma postać krzywej pokazanej w układzie współrzędnych *x-y* na

rys. 1[16], która to krzywa określa zależność liczebności obu populacji zmieniającą się cyklicznie w czasie. Ten wynik jest zgodny z obserwacjami ekologicznymi. Opis matematyczny jednak lepiej unaocznia mechanizm rozpatrywanego procesu umożliwiając zidentyfikowanie charakterystycznych współczynników, których wielkość można starać się określić eksperymentalnie. W przypadkach bardziej złożonych można rozpatrywany proces symulować na maszynie analogowej i zmieniając poszczególne parametry ustalać ich wpływ.
Mechanizm motywacji ludzi można również przedstawić w uproszczeniu za pomocą opisu matematycznego. Przyjmując czas t jako wspólny miernik wartości i rozpatrując jedynie jako wartości pozytywne: spożycie (w_s) i czas wolny (w_w) oraz jako wartość negatywną (obciążenie) pracę produkcyjną (usługową) w_p ograniczając się równocześnie do zależności linowych, (z których dwie pierwsze stanowią aproksymację prawa Webera-Fechnera, przewidującego logarytmiczną zależność reakcji od bodźca można napisać następujące relacje:

$$\frac{dw_s}{d\tau} = a_s - \beta_s \tau ,$$

$$\frac{dw_s}{d(1-\tau)} = a_w - \beta_w (1-\tau),$$

$$-\frac{dw_s}{d\tau} = a_p - \beta_p \tau ,$$

W relacjach tych przyjęto czas względny τ wyrażający się stosunkiem

$$\tau = \frac{t}{t_a}$$

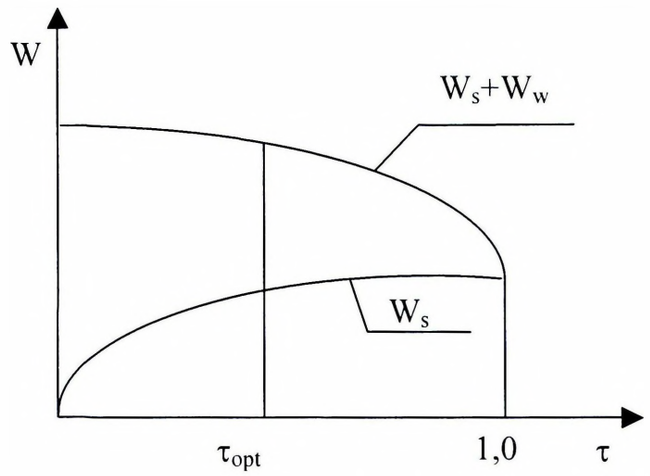
gdzie t_a jest to czas aktywności (całkowity czas pomniejszony o czas potrzebny na regenerację sił). Czas wolny τ_W stanowi różnicę czasu aktywnej działalności i czasu pracy, czyli:

$$\tau_w = 1 - \tau$$

Wszystkie współczynniki mają wartości dodatnie.

Taka postać zależności wynika z subiektywnego odczucia zmniejszani się wartości jednostkowej spożycia i czasu wolnego w miarę ich wzrostu

[16] J. G. Kemeny, *The Socjal Sciences...*, s.29.

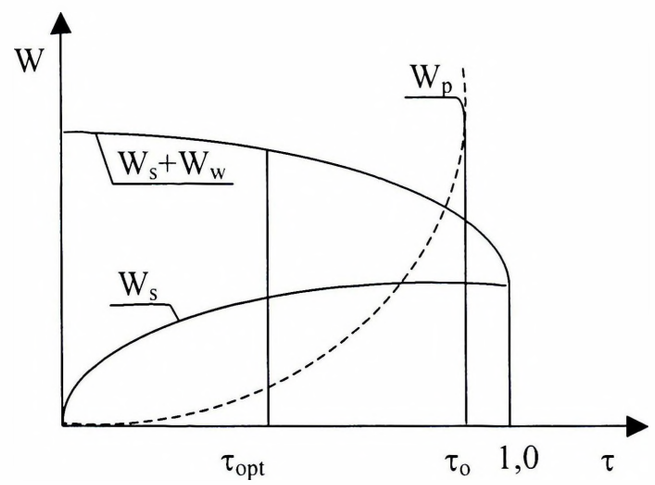


Rys.2.

oraz zwiększania się uciążliwości pracy z przedłużaniem czasu jej trwania. Po zacałowaniu tych równań przedstawiono je w formie graficznej na rys. 2. Z wykresu tego wynika, że istnieje optymalny czas pracy τ_{opt}, dla którego suma subiektywnej satysfakcji wynikającej ze spożycia (uwarunkowanego czasem pracy) i korzystania z czasu wolnego jest największa. Powszechnie obowiązujący czas pracy τ_o

$$\tau_o > \tau_{opt}$$

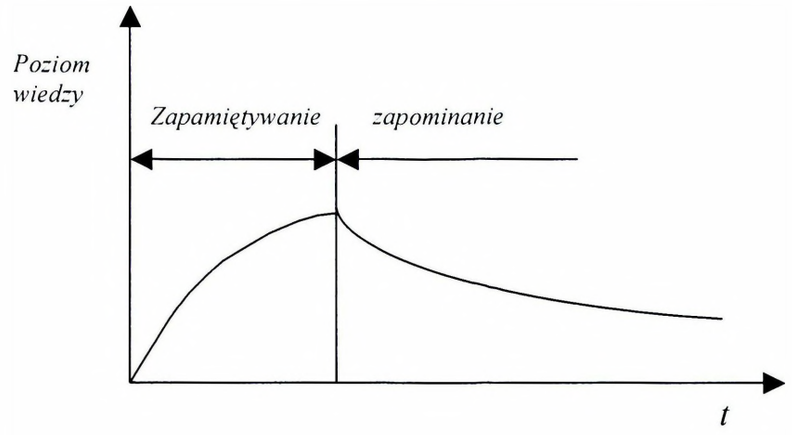
Krzywą całkową dla w_p - wysiłku związanego z pracą - przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3

W przedstawionej na rys. 3 sytuacji powstaje subiektywne poczucie nadmiernego obciążenia w stosunku do spożycia i będąca następstwem tego tendencja do korygowania odczuwanej rozbieżności przez „wygospodarowywanie" czasu wolnego w formie uprawiania życia towarzyskiego i załatwiana spraw osobistych w godzinach przewidzianych na pracę produkcyjną. To oczywiście obniża produkcję i spożycie doprowadzając do ustalenia się jakiegoś stanu równowagi, który determinują istniejące, konkretne warunki i czynniki nie

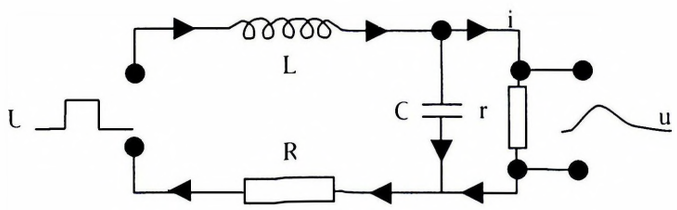
uwzględnione w przedstawionym, uproszczonym modelu mającym na celu jedynie ilustrację, w przejrzystej formie, wchodzących w grę podstawowych zależności.



Rys.4

Z rozważań tych wynika, że poprawienie samopoczucia społecznego jest możliwe albo przez zwiększanie wydajności pracy dzięki poprawie organizacji, albo w wyniku zmiany panującego systemu wartości przez obniżenie znaczenia spożycia dóbr materialnych w stosunku do wartości czasu wolnego, co umożliwiłoby skrócenie obowiązującego czasu pracy τ_o.

Jako kolejny problem ilustrujący zastosowanie praktyczne opisowego modelu matematycznego przedstawiony zostanie proces oddziaływania (uczenia się, zapamiętywania, kształtowania opinii). Proces uczenia się można zobrazować krzywą pokazaną na rys. 4[17]. Krzywa o podobnym przebiegu reprezentuje również zmiany napięcia u na wyjściu elektrycznego składającego się z indukcyjności L, pojemności C i oporności R oraz *r*, przedstawionego na rys. 5, zasilanego na wejściu prostokątnym impulsem U. Układ taki i



Rys. 5

opisujący go układ równań można. przyjąć za model rozpatrywanego procesu uczenia się traktowanego jako „czarna skrzynka".

W zachowaniu człowieka można zidentyfikować czynniki odpowiadające wielkościom

[17] S.Beer, *Cybernetyka...*, s. 229-233.

występującym w układzie na rys. 5 według schematu:

przyswojona wiedza	ładunek na kondensatorze Q
bezwładność (inercja)	(napięcie u na wyjściu)
podatność	indukcyjność L
tłumienie (rozpraszanie,	pojemność C
zapominanie)	oporność R i r

Charakterystyki takich układów są dobrze znane, przy czym opisują one zachowanie nie tylko układów elektrycznych, ale i ich odpowiedników mechanicznych i innych. Reprezentuje je równanie o postaci:

$$LCr\frac{d^2i}{dt^2}+\frac{di}{dt}\left(L+CRr\right)+ri=U$$

z którego przy danym U można wyznaczyć

$$i=i(t)$$

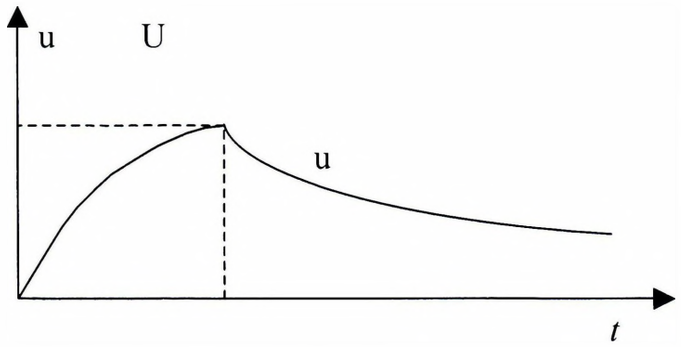
czyli

$$u=ri$$

albo

$$Q=rCi$$

Trudności związane z rozwiązywaniem takiego równania, zwłaszcza przy pobudzeniu impulsowym, można ominąć przez obserwowanie odpowiedzi układu analogowego przy użyciu oscyloskopu. Typowy przebieg odpowiedzi rozpatrywanego układu na pobudzenie impulsem prostokątnym pokazano na rys. 6[18]. Za pomocą przedstawionego modelu (układu analogowego) można odtworzyć (unaocznić) tylko najbardziej podstawowe właściwości procesu uczenia się, które jednak uchodzą uwadze, świadczą elementarne błędy popełniane powszechnie zarówno w dziedzinie dydaktyki, jak w zakresie innych form oddziaływania społecznego.



Rys. 6

Przyjęty model może być zresztą w różny sposób pobudzany (np. powtarzającymi się impulsami, impulsami na tle szumów), co pozwala na zobrazowanie wpływu tych parametrów. Ponadto za pomocą modelu elektrycznego (albo jego opina matematycznego) można analizować takie objawy, jak próg nieczułości i selektywność. Model taki, mimo w dużej mierze jakościowego charakteru podobieństwa wskutek braku bezwzględnych mierników cech psychicznych i zasobu przyswojonych wiadomości, przyczynić się może korzystnie do optymalizacji procesu oddziaływania przez właściwy dobór i wyważenie stosowanych środków (bodźców).

Jako ostatni zostanie przedstawiony matematyczny model opisowy relacji i pomiędzy ludźmi, opierający się na prawie Webera-Fechnera. Prawo to, określające logarytmiczną zależność reakcji R od siły bodźca B, wynika ze związku

$$\frac{dR}{dB} = c\frac{1}{B}$$

gdzie c oznacza współczynnik proporcjonalności. Po scałkowaniu zależność ta sprowadza się do postaci

$$R - R_0 = c \ln \frac{1}{B_0}$$

Dokonując prostych przekształceń i wprowadzając nowy współczynnik bezwymiarowy k, dochodzi się ostatecznie do relacji

$$\frac{R}{R_0} - 1 = k \lg \frac{B}{B_0}$$

B_0 jest to wielkość bodźca przyjęta jako poziom odniesienia, a R_0 jest odpowiadającą mu reakcją. W podobny sposób określana jest skala intensywności dźwięku w akustyce, uwzględniająca logarytmiczną charakterystykę słuchu i na niej opiera się jednostka decybel.

Można oczekiwać; że wprowadzona zależność stosuje się także do świadczeń na rzecz innych ludzi (bodźce) i obserwowanych reakcji (efektów). Biorąc pod uwagę określoną sumę świadczeń

$$B=nb$$

jako stałą, dokonane zostanie porównanie efektów (reakcji) w zależności od tego, czy te świadczenia przypadają w udziale jednej osobie w całości (R_B), czy też są rozdzielone pomiędzy *n* osób albo na *n* porcji (jednostkowa reakcja R_b).

Z podanej, poprzednio relacji, po prostych przekształceniach, wynika związek

---

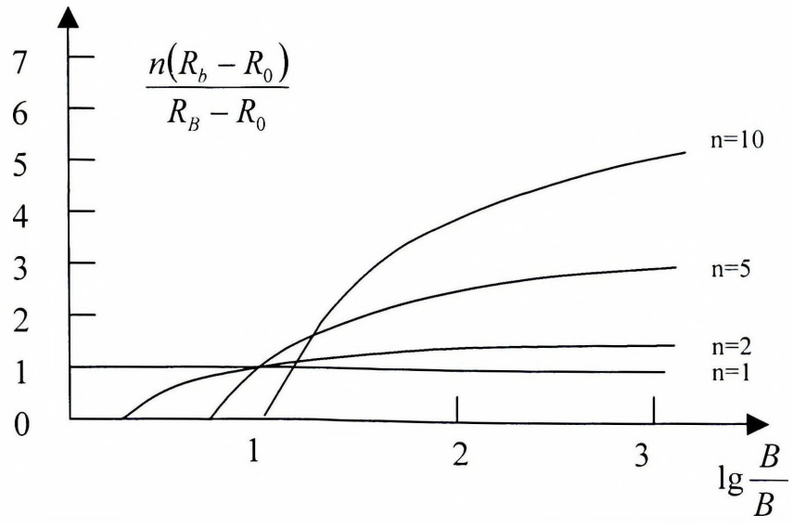
[18] R.H.Cannon, Jr., *Dynamika*..., s.229-233.

$$\frac{n(R_b - R_0)}{R_B - R_0} = n\left(\left(1 - \frac{\lg n}{\lg \frac{B}{B_0}}\right)\right)$$

Jak łatwo się można przekonać, zysk z podziału świadczeń ma m: jedynie wówczas, gdy spełniony jest warunek

$$\frac{B}{B_0} \geq n^{(n-1)}$$

Na rysunku 7 przedstawiano omawianą relację w formie graficznej uwidaczniając jej sens. W szczególności należy zwrócić uwagę na fakt, że maksymalna liczba, na którą okazuje się celowe dzielić świadczenia



Rys. 7

z punktu widzenia zwiększenia reakcji, jest tym większa, im większa suma świadczeń.

Rozpatrywany model jest bardzo prymitywny i zawodzi przy nieograniczonym wzroście *n* (wskutek np. nieuwzględniania progu wrażliwości. Jednak prowadzi on do poprawnych wniosków zgodnych z powszechnym odczuciem i obserwacjami. Na zagadnienie to zwrócił uwagę Machiavelli, zalecając kumulowanie koniecznych represji, aby zmniejszyć ich odczuwanie przez społeczeństwo i dozowanie dobrodziejstw[19]. Wnioski te sprowadzają się do przekonania, że „inwestowanie" w jedną osobę (lub kumulacja świadczeń) jest mniej „opłacalne" niż świadczenie na rzecz kilku osób („porcjowanie" w mniejszych dawkach). Przedstawiany model lepiej unaocznia tę prawidłowość, niż opis czysto słowny.

Poprzestając na przytoczonych przykładach, trzeba jedynie zaznaczyć, że jeśli zaprezentowane modele -okazałyby się niezadowalające, to można zaproponować inne,

stosowniejsze, biorąc pod uwagę, iż każdy proces powinien dać się przedstawić za pomocą jakiejś funkcji[20]. Można to zrobić w formie analitycznej albo też graficznej (za pomocą wykresów), co jest bardziej poglądowe[21]. Jeśli tego dokonać nie można, tzn., że za mało jeszcze na temat badanego obiektu wiadomo, albo brak jest potrzebnych umiejętności[22]. Gdy ktoś nie może wykazać się biegłością w rozwiązywaniu prostych zagadnień przy wykorzystaniu metod matematycznych tym bardziej nie można spodziewać, się, że poradzi sobie ze złożonymi a nawet, że dostrzeże taką możliwość, gdyż wymaga ta myślenia w kategoriach matematycznych[23]. Rozpatrując różnego rodzaju procesy biologiczne, psychiczne, socjologiczne i inne, będące przedmiotem nauk społecznych (humanistycznych), można w zachowaniu pojedynczych albo ich grup dopatrzyć się wyraźnych prawidłowości i znacznego podobieństwa ze zjawiskami i zasadami znanymi z innych dziedzin nauki a w szczególności z fizyki. Można tu wymienić m. in.:

- zasady zachowania i jako ich odpowiedniki instynkt samozachowawczy albo zachowania gatunku;
- zasady minimum i dążenie do najmniejszego wysiłku,
- reguła przekory i objawy związane z homeostazą oraz przeciwstawianiem się naciskom

oraz takie zjawiska jak:

- dyfuzja, stanowiąca model mechanizmu rozpowszechniania się poglądów i mody[24]
- histereza ilustrująca subiektywne różnice ocen danej sytuacji w zależności od tego, czy dochodzi się do niej w wyniku wzrostu, czy też spadku;
- rezonans i jako jego odpowiednik selektywne rozbudzanie emocji, entuzjazmu czy zaangażowania,
- nasycenie obserwowane również np. jako ograniczenie wzrost populacji przy wyczerpywanych zasobach pożywienia, wzrostu fizjologicznego oraz przyswajania wiadomości.
- procesy lawinowe (łańcuchowe) obrazujące reakcje tłumu i pewnego typu psychozy i perturbacje społeczne oraz epidemie, których opis matematyczny może być z powodzeniem, wykorzystywany w różnych dziedzinach. Wymaga to oczywiście pewnej znajomości tych

---

[19] N.Machiavelli, Książę, rozdział VIII (wg M.Maneli, Machiavelli, Warszawa 1968, s.50 i 132).
[20] GJ.G.Kemeny, *Nauka*..., s.46-47. S.Nowak, *Metodologia*...
[21] M.Mazur, *Cybernetyczna teoria układów samodzielnych*, Warszawa 1966; D.L.Meadows i in. *Granice wzrostu*, Warszawa 1973
[22] *Cybernetyka. Argumenty*...,. Wypowiedź prof. S. Szczeniowskiego, s.119-120.
[23] M.Mazur, Przedmowa do książki. J.R. Pierce, *Symbole* ..., s.8.
[24] J.S.Coleman, *Wstęp do socjologii*..., s.54.

zjawisk na gruncie fizyki. Jest warunkiem koniecznym dostrzeżenie podobieństw i efektywnego wykorzystania istniejących rozwiązań w innych dziedzinach. Uświadomienie sobie tego na obecnym etapie, gdy zauważa się zahamowanie nadmiernego wzrostu znaczenia nauk fizycznych i technicznych pojawiają się objawy nasycenia maskowane gorączkowym wyszukiwaniem „.na siłę" zastosowań „produktów" uzyskiwanych w tych dziedzinach a także coraz częstsze jest publikowanie uzasadnień racji bytu uprawianej działalności, może dopomóc do podejmowania decyzji „bezbolesnego" przekwalifikowania się osób z wykształceniem ścisłym. Włączenie się ich badań w dziedzinach rozwijających się (biologia, nauki społeczne, psychologia, ekonomia, prakseologia) pozwoliłyby w sposób społecznie korzystniejszy niż dotychczas wykorzystać ich przygotowanie matematyczne.

4. PODSUMOWANIE

Przytoczone przykłady miały na celu wykazanie znaczenia prostych matematycznych modeli opisowych z punktu widzenia wyjaśnienia i interpretacji złożonych zjawisk z zakresu nauk społecznych czy psychologii, upowszechnienia ich znajomości oraz dedukcji praktycznych wniosków. Modele takie mogą być w miarę potrzeby uściślane, ale, jak wykazują doświadczenia z zakresu nauk technicznych, pociąga to za sobą wzrost komplikacji zacierający przejrzystość. W naukach ścisłych a zwłaszcza technicznych, przyjmowanie uproszczeń, takich jak: jednowymiarowość brak oporów. wielkości skupione, liniowość relacji, jest czymś powszechnym i okazuje się niezwykle konstruktywne, gdyż warunkuje możliwość uzyskania rozwiązania w formie ogólnej. Zdolności badawcze i sztuka inżynierska (to samo dotyczy fizyki) polegają właśnie na umiejętności dokonywania uproszczeń przez dostrzeganie i uwzględnienie związków podstawowych dla rozpatrywanego problemu i pomijaniu czynników drugorzędnych. To samo odnosi się do innych gałęzi nauki. W założonych zagadnieniach zasadniczą rolę odgrywa również opis matematyczny- problemu rozpatrywanego czasem z konieczności tylko pod pewnym względem albo z określonego punktu widzenia, gdy ujęcie ogólne okazuje się zbyt trudne albo wręcz niemożliwe.

Posługiwanie się modelami zapożyczonymi z innych dziedzin porozumiewanie się reprezentantów różnych gałęzi wiedzy.

Szersze stosowanie modeli przyczynić się może również do integracji: nauki, w której obserwuje się coraz dalej posuniętą specjalizację i izolację poszczególnych dziedzin oraz powinno dopomagać w syntetycznym ujmowaniu i wyjaśnianiu problemów kompleksowych. Jeżeli nawet za pomocą modeli nie uzyskuje się nowych informacji o danym zagadnieniu to

można przynajmniej lepiej wykorzystać informacje istniejące.

Nie bez znaczenia jest również dydaktyczna rola modeli, która umożliwiają upowszechnianie wiedzy z jednej dziedziny przez odwołanie się do doświadczeń zdobytych w innej. W szczególności dotyczy to możliwości przyswajania znajomości zagadnień społecznych osobom z przygotowaniem technicznym, którym jest ona potrzebna w praktycznej działalności.

Niestety, w praktyce obserwuje się proces odwrotny, gdyż publikacje z dziedziny nauk społecznych, psychologii i prakseologii: są coraz bardziej hermetyczne a tym samym mało zrozumiałe i przydatne dla przeciętnego czytelnika.

W codziennej praktyce życiowej każdy posługuje się wprawdzie analogami i robi użytek z dostrzeganych podobieństw, ale wobec braku odpowiedniego przygotowania zbyt często proces ten ma charakter nieświadomy. Nie dostrzega się wówczas niejednokrotnie podobieństw, tam gdzie one mają miejsce, a równocześnie ulega złudzeniom podobieństw tam gdzie są one tylko pozorne. Prowadzić to musi nieuchronnie do pomyłek i błędnych decyzji.

Józef Śmigielski

ZAŁĄCZNIK 3

PRZEGLĄD ZAGADNIEŃ

ZAGADNIENIA
NAUKOZNAWSTWA
1 (93), 1988
PL ISSN 0044-1619

Czesław Berman

Nauka Ludwiga von Bertalanffy'ego

ZAGADNIENIA
NAUKOZNAWSTWA
1 (93), 1988
PL ISSN 0044-1619

Czesław Berman

Nauka Ludwiga von Bertalanffy'ego

Wprowadzenie

Mija prawie 40 lat od ukazania się prac fundamentalnych, które położyły podwaliny całkiem nowych dziedzin nauki - ogólnej teorii systemów i cybernetyki[1]. Prace te okazały się zwiastunami głębokich przemian w nauce, technice i, choć nie jest to całkiem oczywiste, także w rozległej dziedzinie stosunków społecznych.

Są to dziwne prace. Nie ma w nich nic monumentalnego. Nie tworzą one nawet spójnych systemów konceptualnych. Są źródłem idei wychodzących na przeciw istotnym potrzebom i problemom współczesności. W minionym czterdziestoleciu do tych idei nawiązywały tysiące prac różnych autorów.

Ogólna teoria systemów i cybernetyka w stosunkowo krótkim czasie uformowały się w szerokie nurty w nauce. Powstała wokół nich silnie rozbudowana otoczka rozmaitych organizacji i instytucji - licznych katedr, instytutów, towarzystw, periodyków, konferencji i kongresów. Wszystkie one służą rozwojowi idei zawartych w pracach fundamentalnych. Te idee są ukazywane z wielu rozmaitych stron. Ze splotów różnych ich wątków pączkują nowe, pochodne dyscypliny nauki. Pojawiają się rozległe dziedziny zastosowań praktycznych i związane z nimi nowe zawody, nowe gałęzie przemysłu o znaczeniu kluczowym dla gospodarki jako całości. Kontury gmachu wzniesionego na ideach zawartych w pracach fundamentalnych nie są już ani wyraźnie widoczne, ani łatwe do ogarnięcia umysłem.

Ten imponujący rozwój dokonał się jeszcze za życia autorów. Budził on w nich różne refleksje - niekiedy przesadne nadzieje, to znów głębokie zwątpienie. W ich pracach przewijają się tu i ówdzie wątki filozoficzne i światopoglądowe.

Przedstawiono tu niektóre, wybrane wątki filozoficzne przewijające się w twórczości Ludwiga von Bertalanffy'ego (1901-1972), którego uważa się za inicjatora i twórcę podstaw

[1] Bertalanffy [1945 i 1950], Wiener [1948].

ogólnej teorii systemów. Jest to wybór ograniczony rozmiarami i koncepcją zamierzonej prezentacji. Nie jest ona pozbawiona akcentów krytycznych, które jednak nie mają na celu podważenia wielkości dzieła Bertalanffy'ego. Są raczej wyrazem hołdu dla jego dokonań. To właśnie z podstaw jego światopoglądu wynika, że „Ostateczna rzeczywistość jest jednością przeciwieństw; każde twierdzenie jest słuszne tylko z pewnego punktu widzenia, gna tylko względną wartość i musi być uzupełnione przez twierdzenie przeciwstawne, formułowane z przeciwnego punktu widzenia" [1984, s. 291].

1. Wszechświat uporządkowany hierarchicznie

Odpowiedź na pytanie, „czym jest system?" nie sprowadza się do podania jego definicji. Dopełniają ją zwykle rozważania dotyczące charakteru obiektów, których abstrakcją jest pojęcie „systemu" - ich natury, statusu ontologicznego, genezy, ewolucji, klasyfikacji oraz ich miejsca w „obrazie świata".

Wszechświat widziany przez Ludwiga von Bertalanffy'ego jest uporządkowany hierarchicznie [1984, s. 56-58]. W porządku hierarchicznym Wszechświata kolejne wyższe poziomy zajmują systemy fizyczne (i chemiczne), biologiczne, społeczne. Każdy z tych poziomów jest też uporządkowany hierarchicznie: fizyczny - od cząstek elementarnych do jąder atomów, atomów, cząsteczek, związków wielocząsteczkowych aż po cale bogactwo struktur ponadmolekularnych; poziom biologiczny - od komórek do tkanek, narządów, układów narządów aż po ogromną różnorodność coraz bardziej złożonych organizmów i związków ponadorganizmowych; poziom społeczny -- od rodziny i różnych struktur opartych na pokrewieństwie do rozmaitych systemów społecznych - ekonomicznych, kulturowych, politycznych - aż po imperialne i globalne systemy społeczne.

Jest, więc naturalne, że pojęcie porządku hierarchicznego zajmuje ważne miejsce w systemie konceptualnym Bertalanffy'ego: „Ogólna teoria porządku hierarchicznego będzie oczywiście główną podporą ogólnej teorii systemów [...] Kwestia porządku hierarchicznego blisko wiąże się z problemami różnicowania, ewolucji oraz miary organizacji, których, jak się wydaje, nie da się wyrazić ani za pomocą terminów energetycznych (ujemna entropia), arii teorii informacji (bity) [...]. Koniec końców, jak wspomniano, porządek hierarchiczny i dynamika mogą być dokładnie tym, co Koestler tak zręcznie ujął w swym porównaniu do drzewa i świecy" [1984, s. 58].

Terminowi „porządek hierarchiczny" Bertalanffy nadaje następujące znaczenie: „Systemy mają często taką strukturę, że ich pojedyncze człony są również systemami kolejnego

niższego poziomu [...]. Takie nakładanie się systemów nazywa się porządkiem. hierarchicznym" [1984, s. 106-107].

Wynika stąd, że relacją porządkującą hierarchię jest inkluzja w połączeniu z własnością „bycia systemem". W kontekstach, w których Bertalanffy używa pojęć „hierarchia" i „porządek hierarchiczny", pojawia się ponadto relacja dominacji określona przez pojęcia nadrzędności i podporządkowania, zwierzchnictwa i podwładności.

Używanie nazwy „hierarchia" lub „porządek hierarchiczny" do oznaczania każdej struktury wielopoziomowej, rzeczywistej czy konceptualnej, czy nawet każdego wyniku porządkowania przez rozmaite i odmienne w swej istocie relacje i kryteria (takie jak inkluzja, dominacja, wartość, ważność, złożoność, poprzedzanie i wiele innych) jest obecnie powszechne w literaturze naukowej (i nie tylko naukowej). Wynikające stąd pomieszanie pojęć i ich wieloznaczność nie sprzyjają ścisłości, zawłaszcza, gdy przedmiotem rozważań mają być systemy, struktury, zagadnienia związane z ich klasyfikacją i typologią.

Na niejednoznaczność i pomieszanie pojęć związane z używaniem terminu „hierarchia" zwraca uwagę Mario Bunge[2] [1969, s. 17] „Gdy termin jest używany jako wszechogarniający, pomieszanie pojęć jest nieuniknione. Będzie ono trwało, dopóki nie dokona się odpowiedniej analizy konceptualnej [...]. Dotyczy to także słowa {hierarchia}".

Bunge poddaje szczegółowej analizie nie tylko pojęcie hierarchii, lecz także związane z nim pojęcia: poziomu, rangi, nadrzędności, zagnieżdżenia, poprzedzania itp. Wynikiem tej analizy są rozmaite definicje: hierarchii jako zbioru częściowo porządkowanego przez antysymetryczną i przechodnią relację dominacji (1969, s. 17 - 18]; struktury zagnieżdżonej - jako zbioru porządkowanego przez relację „bycia podsystemem" [1979, s. 11]; poziomu - jako elementu struktury porządkowanej przez relację precedencji (genetycznej, konstrukcyjnej itp.) [1979, s. 13]. Można mieć zastrzeżenia do takiego czy innego określenia tych pojęć, ale trudno odmówić Bungemu racji w dążeniu do ich usystematyzowania, uściślenia i badania logicznych związków między nimi.

Arthur Koestler (1973) poddaje krytyce niewłaściwe - jego zdaniem pojmowanie hierarchii jako metaforycznej drabiny rang czy władzy. W jego ujęciu hierarchia jest strukturą, którą można graficznie przedstawić przez drzewko (dendryt). Graf jako całość przedstawia system uporządkowany hierarchicznie, węzły (punkty rozgałęzień) przedstawiają podsystemy, krawędzie (gałęzie) - linie nadrzędności i podporządkowania. Jest to interpretacja, którą podziela wielu autorów. Odpowiada ona także sposobowi określenia

[2] Sylwetkę Maria Bungego, fizyka i filozofa, przedstawiono w „Projektowaniu i Systemach" t. VIII, s. 151-152.

porządku hierarchicznego przez Bertalanffy'ego [por. 1984, s. 56], różni się tylko tym, że relacja dominacji jest w niej ujęta w sposób wyraźny.

Porządek hierarchiczny graficznie przedstawiany przez drzewko jest typem struktury, który odpowiada określonemu zakresowi złożoności systemów i określonym rodzajom wzajemnego oddziaływania pomiędzy ich częściami. W tym zakresie porządek hierarchiczny jest prostym i skutecznym mechanizmem tworzenia struktur O rosnącej złożoności. Jest to także skuteczny schemat rozkładania złożonych całości na prostsze części. Skuteczność takiego mechanizmu jest jednak ograniczona pewnymi warunkami np. przez to, co Herbert A. Simon [1977] nazywa „prawie-rozkładalnością" *(naear-decomposability)* (s. 2.59). Ten prosty i skuteczny mechanizm zaczyna zawodzić, gdy takie warunki nie są spełnione. Następuję to także po przekroczeniu pewnych progowych wartości charakteryzujących liczbę poziomów w strukturze[3], gęstość powiązań informacyjnych i natężenie przepływu strumieni informacji[4], relacje między częstością zakłóceń a czasem relaksacji itp. W systemach, w których odpowiednie wartości progowe zostają przekroczone, pojawiają się różnego rodzaju sprzężenia niehierarchiczne (w obrębie poziomów i między poziomami). Okazują się one konieczne dla zachowania stabilności wielkich i złożonych systemów, dla ich zdolności do samoregulacji i normalnego funkcjonowania w warunkach zmiennego otoczenia będącego źródłem różnego rodzaju zakłóceń i zasileń.

Trzeba oddać sprawiedliwość Arthurowi Koestlerowi: dostrzega on i odpowiednio ocenia zjawisko wzajemnego dopełniania się procesów arboryzacji (tworzenia struktur dendrytowych) i retykulacji (tworzenia struktur sieciowych) [1973, s. 294-296][5]. Wynik takiego dopełniania się traci wdzięczną prostotę drzewka, choć nie gubi właściwości struktury wielopoziomowej.

Stopień hierarchiczności struktury wielopoziomowej może, więc być różny, podobnie jak i zakres autonomii -reprezentowanych w niej składników. Różny także bywa stopień integracji przez oddziaływania typu hierarchicznego oraz przez związki i sprzężenia niehierarchiczne.

Struktury będące wynikiem dopełniania się arboryzacji i retykulacji nie odpowiadają już klasycznym schematom mechanistycznym. Cechuje je duża różnorodność form, od sztywnej „piramidalnej" hierarchii, porządkowanej tylko przez relacje dominacji i inkluzji, aż do

---

[3] Por. B e e r [1975a, s. 6--7].
[4] Por. M a r u y a m a [1965].
[5] Na niektóre ważne aspekty dualności i komplementarności struktur dendrytowych i sieciowych zwracają także uwagę Goguen i Varela [1979, s. 31-43].

czegoś, co raczej przypomina elastyczną sieć, porządkowaną przez zmienne i złożone układy relacji.

Wyobrażenie o porządku hierarchicznym jako o odwiecznym i uniwersalnym typie struktury wielopoziomowej, mającym zastosowanie nie tylko w pewnej klasie systemów społecznych, lecz także w systemach biologicznych, chemicznych, fizycznych, kosmicznych, konceptualnych i wszelkich innych, jest wynikiem stereotypu głęboko zakorzenionego w psychice ludzkiej[6]. Porządek hierarchiczny jest utożsamiany z systemem „w ogóle"[7], ponieważ przyjmuje się, że relacja inkluzji odnosi się do wszystkich systemów, z inkluzji zaś wynika dominacja[8].

Systemy na ogół nie zawierają w sobie podsystemów tak jak rosyjskie „matrioszki" czy chińskie pudełka zawierają mniejsze w większych. Systemy są raczej wynikiem wzajemnych oddziaływań podsystemów, części, elementów, ich integracji. „System" jest nazwą służącą do oznaczenia takiego wyniku. We wzajemnych oddziaływaniach pomiędzy częściami systemów mogą występować relacje dominacji, znajdujące wyraz w jednostronnym ograniczaniu liczby stopni swobody i „wymuszaniu" pewnych stanów czy zachowań. Są to relacje pomiędzy częścią systemu (lub podsystemu) utożsamianą lub utożsamiającą się z systemem jako całością lub pewnymi jego aspektami a innymi częściami, elementami, aspektami.

Próby zróżnicowania repertuaru struktur wielopoziomowych, sprecyzowania odpowiednich pojęć (zwłaszcza wieloznacznego pojęcia „poziomu"[9] i określenia wzajemnych ich związków napotykają na wyraźne opory. Widzi się w tych próbach niepotrzebne podważanie schematu powszechnie uznanego za wygodny, zrozumiały, uniwersalny i „sprawdzony" w praktyce.

Stafford Beer dopatruje się związku między głębokim i powszechnym przywiązaniem idei porządku hierarchicznego a właściwościami epoki, której symbolem jest *Homo faber.* Życie i stosunki społeczne w całej tej epoce, której rozpiętość czasowa obejmuje wiele tysięcy lat - od paleolitu do czasów obecnych, są zdominowane przez procesy przetwarzania rzeczy i związane z nimi stereotypy. Te stereotypy już nie przystają do nowej sytuacji - lawinowo

---

[6] Por.Beer, [1975b,s24-30].

7 „...Z samego określenia systemu wynika, że jest to całość zawierająca podporządkowane części połączone wzajemnymi związkami pewnego rodzaju; stąd zaś wynika hierarchia, nadrzędność, podporządkowanie, poziomy. Z drugiej strony, hierarchia implikuje, istnienie elementów wzajemnie ze sobą powiązanych i odniesionych do różnych poziomów, i to właśnie jest systemem..."[Gerard, 1969,s.226]
Podobnie, W. N. Sadowski, gdy rozważa filozoficzne podstawy ujęcia systemowego, traktuje on „hierarchię" jako rodzaj struktury nieodłączny od każdego systemu. [Sadowski, 1984, s. 47-X19].

[8] Jak powiada R.Mattessich, „przestrzenna i logiczna relacja zawierania (inkluzji), np. taka jak w systemie chińskich pudełek, w których mniejsze są zawarte w większych, jest wystarczająco dominacyjna, nawet wtedy, gdy relacja ta nie implikuje władzy politycznej czy siły fizycznej...",[1982,s.58]

narastającej złożoności w wielu wymiarach: w społeczeństwie, w technice, w nauce - i prób jej opanowywania przez różne ujęcia systemowe wspomagane nowoczesną techniką realizacji procesów informacyjnych. Wiążą się one z poszukiwaniem nowych rozwiązań strukturalnych [Beer, 1973, s. 24-30][10].

Porządek hierarchiczny jako rodzaj struktury odpowiada określonym warunkom i etapom rozwoju nauki, techniki i społeczeństwa. Można ten typ struktury określić jako „mechanistyczny" w znaczeniu, które temu terminowi przypisywał Bertalanffy: rodzaje połączeń w drzewku hierarchicznym odpowiadają liniowym i rozdzielnym ciągom przyczynowo-skutkowym - każdy węzeł w drzewku ma tylko jedno wejście i kilka wyjść, nie ma w nim ani powiązań poziomych, ani sprzężeń niehierarchicznych; jest to, więc rodzaj struktury dobrze dostosowany do zadań i metod typowych dla „prostoty zorganizowanej", charakterystycznych dla stereotypu „mechanistycznego". Postawa Bertalanffy'ego, jak zobaczymy, jest przeciwstawna postawie mechanistycznej. Łatwiej jednak jest zwalczać stereotypy, niż całkowicie się z nich wyzwolić.

2. Dualizm metodologiczny i ontologiczny

W hierarchicznie uporządkowanym świecie systemów Bertalanffy wyróżnia, z punktu widzenia ontologicznego, systemy rzeczywiste i konceptualne [1976, s. 42-43J. Systemom rzeczywistym danym przez postrzeganie (obserwację) lub przez wnioskowanie na podstawie postrzegania przypisuje on istnienie niezależne od obserwatora (podmiotu poznającego). Systemy konceptualne są konstruktami, wytworami wyobraźni i myśli ludzkiej; ich istnienie nie jest niezależne, różni się ono od istnienia przypisywanego systemom rzeczywistym. Podklasą systemów konceptualnych są systemy abstrakcyjne, do których Bertalanffy zalicza naukę. Między systemami abstrakcyjnymi a rzeczywistością zachodzi pewnego rodzaju odpowiedniość.

Spójność w szerokim znaczeniu tego słowa, jako wynik wzajemnych oddziaływań, jest tym, co pozwala wyróżniać obiekty i systemy rzeczywiste w otaczającym je świecie: „Wzajemne oddziaływania (lub, ogólniej, wzajemne relacje) nie są jednak nigdy bezpośrednio obserwowane czy postrzegane; są one tworami pojęciowymi. [...] Dlatego też nie można, opierając się na zdrowym rozsądku, wytyczyć linii rozgraniczenia pomiędzy obiektami i systemami {rzeczywistymi}, w postaci danej przez obserwację a systemami i

[9] Por. Bunge,[1963,rozdział 3]

tworami {pojęciowymi}" [1976, s. 43].

Nie wdając się w rozważania metafizyczne, przytoczymy inny pogląd w tej samej kwestii. Mario Bunge w *Ontologii 1* [197] zakreśla ostrą granicę między systemami rzeczywistymi a konceptualnymi, między rzeczami a konstruktami: „Każdy obiekt jest albo rzeczą albo konstruktem. Nie ma obiektu, który byłby jednocześnie rzeczą i konstruktem, ani takiego, który nie byłby ani rzeczą ani konstruktem" (s. 117).

„Wzajemne oddziaływanie" ma u Bungego odniesienie tylko do obiektów i systemów rzeczywistych, w których powoduje ono zmiany ich stanów. „Relacja" jest pojęciem o szerszym zasięgu, funkcjonującym na innym poziomie abstrakcji; może ono reprezentować wzajemne oddziaływania różnego rodzaju i, ponadto, rozmaite związki logiczne czy przestrzenne nie powodujące żadnej zmiany stanu ani w rzeczach, ani w konstruktach.

Dychotomia „rzecz-konstrukt" stanowi u Bungego podstawę dualizmu metodologicznego, który przeciwstawia on dualizmowi ontologicznemu (np. wynikającemu z kartezjańskiej dychotomii *res extensares cogitans). W* ontologii Bungego jedność świata rzeczywistego to jedność bez konstruktów:

„Konstrukty, niezależnie od tego, czy są one użyteczne czy falowe, naukowe czy mityczne, są fikcjami, a nie bytami; nie są one częściami świata rzeczywistego nawet wtedy, gdy dużą one do jego reprezentowania" [19 77, s. 118].

Czy jednak coś, co jest całkowicie pozbawione realności, może uczestniczyć w reprezentowaniu świata rzeczywistego? Otóż, gdy Bunge rozważa „własności substancjalne", dochodzi on do wniosku, że „są one rzeczywiste, lecz nie są autonomicznie rzeczywiste" [1977, s. 99]. Richard Mattessich [I982, s. 56] dostrzega w tym rozróżnieniu niezamierzony przez Bungego, ale rzeczywisty „pierwszy i najważniejszy krok ku faktycznemu uznaniu całej hierarchii realności, z której nie można wykluczyć ani pojęć, ani norm ani żadnych innych wytworów myśli". Konstrukty są rzeczywiste, ponieważ uczestniczą one w procesach rzeczywistych i są wytworami i takich procesów. Nie są one jednak autonomicznie rzeczywiste, w oderwaniu od tych procesów. Konstrukty należą, więc do kontekstu świata rzeczywistego, tworzą one jedność z tym światem.

Walter Buckley [1976, s. 188] przedstawia tę samą kwestię z szerszego i bardziej ogólnego punktu widzenia: „Właściwa analiza epistemologiczna (i ontologiczna) musi uwzględniać całokształt systemu jako złożoną, funkcjonalną całość [...]. Klasyczne ujęcia filozoficzne epistemologii i ontologii [...] zawierają poważne luki i braki, każde z takich ujęć,

---

[10] Pojawia się coraz więcej opracowań na ten temat: por. np. Hiltz, Turoff, [1978], Vallee, [1982].

bowiem koncentruje się na jednym lub dwu ogniwach i transformacjach systemu jako całości. Mam tu na myśli wczesny empiryzm i idealizm, fenomenalizm i fenomenologię, atomizm logiczny i rozmaite odmiany pozytywizmu".

Te pojedyncze ogniwa i transformacje zostają wyrwane z długiej sekwencji „zaczynającej się od wejść informacyjnych ze świata rzeczywistego i prowadzącej od narządów zmysłowych poprzez rozmaite transformacje do uformowania się doznań, spostrzeżeń, zjawisk psychicznych, pojęć, idei, obrazów, symboli językowych i logicznych" (s. 189). Te sekwencje, z kolei, są osadzone dv układach wzajemnych oddziaływań różnego rodzaju, zarówno wewnątrzsystemowych, jak i międzysystemowych.

Dualizm metodologiczny Bungego jest radykalny. Odcina on zdecydowanie konstrukty od świata rzeczywistego i przenosi je w świat fikcji. Konsekwencje metodologiczne tego dualizmu też są radykalne [1977, s. 53]: „Zaczynamy od dociekania, czy rozważane obiekty są konkretne czy konceptualne [...] Jeżeli są one konceptualne, to niech platonista zajmuje się nimi, ponieważ to jest jego domena; podczas gdy on wierzy w autonomiczne istnienie idei, my tylko udajemy, że tak jest, dla wygody".

Takie udawanie jest w pewnym stopniu wygodne, gdy przedmiotem poznawania są klasyczne systemy mechaniczne. W badaniu wzajemnych oddziaływań między częściami takich systemów oraz między nimi a ich otoczeniem można nie brać pod uwagę procesów informacyjnych i ograniczać się do badania interakcji czysto dynamicznych. Procesy poznawania takich systemów są jednakże procesami informacyjnymi i pewne aspekty tych procesów często mają istotny wpływ (pośredni i bezpośredni) na wyniki poznawania. Dualizm metodologiczny jest dużo mniej wygodny, gdy przedmiotem poznawania są systemy biologiczne i społeczne, w których procesy informacyjne odgrywają istotną rolę nie tylko w ich poznawaniu, lecz także we wzajemnym oddziaływaniu wewnątrz tych systemów i między nimi.

Dualizm metodologiczny Bertalanffy'ego jest mniej radykalny niż Bungego. Granice między obiektami rzeczywistymi a konceptualnymi nie są tak ostre. Bertalanffy nie zajmuje się procesami informacyjnymi i ich rolą we wzajemnym oddziaływaniu. Konsekwencje metodologiczne tego dualizmu są, więc, na swój sposób, też radykalne. Bertalanffy tak oto charakteryzuje własną twórczość systemową (teorię systemów otwartych i ogólną teorię systemów): „Podstawą modelu systemu otwartego jest dynamiczna interakcja między jego składnikami [...]. Teoria systemów otwartych to uogólniona kinetyka i termodynamika [...]. Model systemu otwartego sformułowany w kategoriach kinetyki i termodynamiki nic nie

mówi o informacji" [I984, s. 186].

I dalej (s. 190): „W teorii systemów otwartych (oraz w jej dalszym uogólnieniu w postaci ogólnej teorii systemów) występują zasady oddziaływania wielu zmiennych (np. kinetyka reakcji, przepływy i siły w termodynamice procesów nieodwracalnych) oczywista staje się dynamiczna interakcja i możliwość rozszerzenia praw fizycznych na świat biologiczny".

Bertalanffy ogranicza, więc w tych teoriach zakres swoich zainteresowań do czynników i interakcji dynamicznych[11]. Pozostawia on zajmowanie się informacją i procesami informacji innym teoriom systemowym, takim jak cybernetyka czy teoria informacji.

Jest paradoksem, że Bertalanffy, którego teorie systemowe wywodzą się z biologii, pomija problematykę informacyjną, która ma znaczenie podstawowe w klasie systemów biologicznych. Z drugiej strony, cybernetyka, dla której punktem wyjścia jest model abstrakcyjnej maszyny, poświęca wiele uwagi tej problematyce, rozszerza jej zakres na całą klasę systemów biologicznych i na systemy techniczne.

Należy oddać sprawiedliwość Bertalanffy'emu. Chociaż zalicza on cybernetykę i teorię informacji do nurtu mechanistycznego, co powoduje, iż traktuje on je jako podejrzane z punktu widzenia poznawczego i społecznego [por. R. 4 i 5), to jednak w niektórych swoich pracach [1984, s. 122,132] gotów jest uznać ich komplementarność w odniesieniu do własnych koncepcji systemowych i nawet ewentualność syntezy koncepcji systemowych różnych nurtów.

3. Bycie i stawanie się, rozwój i ewolucja

Przekonanie, że rzeczy złożone powstają z prostszych, ma trwałe podstawy w działaniu praktycznym. Prowadzi ono do poszukiwania elementów i działań najprostszych, na które można rozłożyć procesy tworzenia lub rozwoju rzeczy złożonych z prostych. Dociekania naukowe zmierzające do wyjaśnienia procesów naturalnych, które prowadzą do rozwoju złożonych organizmów z prostszych i do określenia odpowiednich warunków koniecznych i dostatecznych do urzeczywistnienia takich procesów, mają stosunkowo niedawną historię. Jej początek przypada na wiek XIX - od hipotez i teorii J. B. Lamarcka (1744-1829) i Ch. R. Darwina (1809-1883). Te hipotezy i teorie mają ważne znaczenie poznawcze, które nie ogranicza się do biologii.

Bertalanffy niemal od początku swojej kariery naukowej zajmował się pewnymi

aspektami procesów rozwojowych, które w owym czasie były przedmiotem ostrych sporów i kontrowersji. Należało do nich zjawisko ekwifinalności - stosunkowo dużej niezależności finalnego stanu rozwoju organizmu od jego stanu początkowego i od różnych dróg dochodzenia do sianu finalnego. Hans Driesch (1867-1941), którego badania dostarczyły obfitego materiału faktycznego, ilustrującego zjawisko ekwifinalności, skłonny był sądzić, w czym nie był on osamotniony wśród biologów i filozofów, że zjawisko to jest rezultatem działania sił witalnych, swoistych dla organizmów żywych i nie poddających się metodom analizy naukowej. Z drugiej strony, procedury analityczne i postawa mechanistyczna, które wtedy dominowały w nauce, też nie były zdolne do naukowego wyjaśnienia tego, jak się zdawało, zagadkowego zjawiska. Wiązało się ono także z innym zagadnieniem, szerszym i bardziej ogólnym - wzrostu w toku ewolucji złożoności, organizacji i porządku w organizmach żywych, co zdawało się przeczyć drugiej zasadzie termodynamiki, jednej z podstawowych w fizyce.

Podjęte przez Bertalanffy'ego badania zostały uwieńczone opracowaniem przez niego systemów konceptualnych, które w miarę postępu badań przyjmowały coraz ogólniejszą postać: od ujęcia organizmalnego do teorii systemów otwartych i, w końcu, do ogólnej teorii systemów[12] .

Pewne założenia są jednak wspólne dla wszystkich tych teorii, a mianowicie:

- *całościowość* - traktowanie organizmów żywych jako integralnych całości, dynamicznych i aktywnych; założenie to ma ważne konsekwencje metodologiczne, ponieważ oznacza ono odejście od zasady addytywności i jednostronnej analityczności, powszechnie stosowanych w procedurach mechanistycznych, i przyjęcie zasady „systemowości", z której wynika konieczność nie tylko wyodrębnienia w złożonej całości jej prostszych części, lecz także uwzględnienia wszelkich relacji wiążących elementy i części w spójną, dynamiczną i aktywną całość;

- *otwartość* - jako warunek ciągłej wymiany materii między organizmem i jego otoczeniem oraz między częściami organizmu; otwartość, która jest własnością obszernej klasy systemów (obejmującej systemy biologiczne, społeczne, niektóre rodzaje systemów fizycznych i chemicznych i inne), stanowi podstawę naukowego wyjaśniania zjawiska równowagi dynamicznej, ekwifinalności oraz wzrostu (w toku ewolucji) organizacji i porządku w organizmach żywych; otwartość jest także warunkiem zgodności procesów

---

[11] Bertalanffy'emu udało się tylko w ogólnym zarysie przedstawić, jak ma się prezentować ogólna teoria systemów, bardziej interesowały go kinematyka i termodynamika niż zasady organizacji..." [Apter, 1866, s. 9].
[12] Wzajemne związki między tymi teoriami obszernie przedstawił M. Saint-Germain, [1985, s. 11-32].

rozwoju i ewolucji z drugą zasadą termodynamiki; wiązało się to z koniecznością uogólnienia praw termodynamiki na przypadek systemów otwartych;

- *hierarchiczność* - jako podstawowy mechanizm strukturalny dla rosnącej złożoności: organizmy są traktowane jako części systemu wyższego rzędu (populacji, biocenozy,...); Z kolei części organizmu - jako systemy niższego rzędu (układy narządów, narządy, tkanki, komórki,...).

Użycie stosunkowo prostego modelu matematycznego (układów równań różniczkowych zwyczajnych) pozwoliło Bertalanffy'emu uzyskać reprezentację stosowną do przyjętych założeń [1984, s. 85-121]. Przedstawione przez niego wyjaśnienia miały, więc za podstawę wyniki analizy matematycznej. Ten sam model matematyczny posłużył także za podstawę ścisłego określenia pojęć systemu otwartego, integralności, addytywności, finalności i sformułowania pewnych praw, takich jak prawo progresywnej dyferencjacji, mechanizacji, centralizacji itp. oraz wyjaśnienia zjawisk równowagi dynamicznej i ekwifinalności. Te pojęcia i prawa miały postać ogólną i, biorąc pod uwagę przyjęte założenia, mogły być odniesione do całej klasy systemów otwartych.

Ten zespól pojęć i praw systemowych mógł być odniesiony zarówno do ontogenezy, a więc do zagadnień związanych z zachowaniem się organizmów żywych, z ich rozwojem osobniczym, wzrostem, metabolizmem itp., jak i do filogenezy - zagadnień związanych z powstawaniem gatunków, ich ewolucją i rozwojem strukturalnym. Ten zespól pojęć i praw nie był pozbawiony luk, z czego Bertalanffy zdawał sobie sprawę, ale sądził, że przedstawione przez niego rozwiązania są poprawne jako wyjaśnienia „w zasadzie", i wierzył, że luki zostaną wypełnione w toku dalszych badań w zainicjowanym przez niego kierunku [1984, s. 187-190].

Logika przyjętych przez Bertalanffy'ego założeń i opracowanych przez niego teorii w zasadzie nie koliduje ze współczesnymi wykładniami teorii ewolucji nawiązujących do koncepcji Darwina. Teorie Bertalanffy'ego (teoria systemów otwartych i ogólna teoria systemów) skupiają uwagę na innych aspektach rozwoju organizmów żywych niż te, którymi zajmują się teorie ewolucji. Są to aspekty kinetyki i termodynamiki procesów nieodwracalnych, które pozwalają określić ogólne warunki, związane z wymianą materii i energii, konieczne dla utrzymania równowagi dynamicznej i wzrostu organizacji i porządku w systemach żywych. Te ogólne i konieczne, (ale nie wystarczające) warunki są jednakowe dla wszystkich organizmów żywych i, nawet więcej, dla całej klasy systemów otwartych. Różnice między osobnikami i gatunkami są w tym kontekście całkiem nieistotne.

Teorie ewolucji, przeciwnie, skupiają uwagę właśnie na procesach i mechanizmach

różnicowania, powstawania, istniejących form życia z form, które istniały w przeszłości i różniły się od istniejących poziomem złożoności, strukturą, zachowaniem, sposobem wzajemnego oddziaływania z otoczeniem. W tych procesach różnicowania zasadniczą rolę odgrywają mechanizmy zmienności, doboru naturalnego i utrwalania wyników zmienności (przez rozmnażanie i dziedziczność). We wszystkich tych procesach i mechanizmach, zgodnie ze współczesnym pojmowaniem ewolucji, istotną rolę odgrywają czynniki losowe.

Teorie systemowe Bertalanffy'ego można by, więc uważać za komplementarne w odniesieniu do teorii ewolucji. Jednak sam Bertalanffy ich w ten sposób nie traktował. Jego stosunek do teorii ewolucji, nawiązującej do koncepcji Darwina był wysoce krytyczny. Krytyka dotyczyła zasadniczych aspektów tej teorii i wynikała ona nie tylko z przesłanek natury poznawczej, lecz także filozoficznej i społecznej. Aby poznać argumenty tej krytyki, oddajmy teraz głos Bertalanffy'emu.

Argument dotyczący czynników losowych i praw natury

> „Z punktu widzenia nauki nie zadawala nas odpowiedź, że wszystko to [różnorodność form życia] jest możliwe w ramach ustalonych czynników ewolucji, czyli powstało w jakiś tam sposób dzięki doborowi osobników najlepiej przystosowanych lub takich, którym udało się przeżyć jedynie wskutek przypadkowych i talkiem obojętnych mutacji w rozkładach genów. Chcielibyśmy raczej poznać «tajemne prawo», o którym «chór napomyka»" (1960, s. 107].

I dalej:

> „Jednajże z punktu widzenia nauki historia życia nie jest gromadzeniem zmian losowych; Natura jest artystą, twórcą, a przecież sztuka nie jest czymś przypadkowym, nie jest arbitralnością, lecz spełnieniem wielkich praw" [1960, s. 109].

Tę metaforę Natury - Artysty tworzącej swoje dzieła zgodnie z Wielkimi Prawami Bertalanffy rozwija w taki oto obraz historii życia [1960, s. 108]:

„Ewolucja jest czymś więcej niż dziełem przypadku, którym rządzi utylitaryzm. Jest ona pełnią inwencji twórczej, jest dramatem obfitującym w napięcia, w powikłania dynamiczne i tragiczne. Życie żmudnie wznosi się po spirali, płacąc za każdy krok. Za postęp od organizmów jednokomórkowych do wielokomórkowych płaci pojawieniem się śmierci. Życie osiąga coraz wyższe poziomy zróżnicowania i centralizacji, ale płaci za to utratą zdolności do samoregulacji. Za inwencję, której wynikiem jest pojawienie się systemu nerwowego, płaci

bólem i cierpieniem. Pierwotna (bardzo stara) część układu nerwowego zostaje dopełniona mózgiem, którego rozwój prowadzi do uformowania się świadomości i jej funkcjonowania w świecie symboli. Wraz ze świadomością pojawia się zdolność do przewidywania i organizowania przyszłości, ale równocześnie rodzi się lęk o przyszłość, nieznany dzikim zwierzętom. Za świadomość przyjdzie, być może zapłacić samozniszczeniem. Sens tej gry pozostaje nieznany, chyba, iż wraz z mistykami przyjmiemy, że jest nim osiąganie przez Boga samoświadomości".

Ten opis, bliższy sztuce niż nauce, nie jest u Bertalanffy'ego czymś przypadkowym. W jego światopoglądzie nauka jest tylko jedną z perspektyw ujmowania rzeczywistości cv całym ich splocie wynikającym z różnych uwarunkowań ludzkości -- biologicznych, społecznych, kulturowych, językowych.

Przekonanie, że we Wszechświecie paruje porządek i harmonia, znajdujące odbicie w Wielkich Prawach Natury, leży u podstaw nowoczesnej nauki. Przekonania to wzmacniały imponujące osiągnięcia nauki w odkrywaniu tych praw i potwierdzenie ich prawdziwości przez obserwację i zastosowania praktyczne. Nie zachwiało tego przekonania szerzenie się w różnych dyscyplinach nauki, zwłaszcza od XIX wieku, metod probabilistyki i statystyki, które wskazywały, że u podstaw porządku i organizacji mogą leżeć chaos i bezład. Prawa, w których znajduje odbicie regularność procesów deterministycznych, były dopełniane prawami określającymi regularność rozkładów prawdopodobieństwa procesów losowych. Przewidywanie naukowe jest możliwe w odniesieniu do obu rodzajów procesów - deterministycznych i stochastycznych - choć ma ono w każdej z tych dziedzin inną postać.

Logika wznosząca procesy przypadkowe do roli czynnika, który może prowadzić, w określonych warunkach, od prostoty do złożoności, od chaosu do porządku i organizacji, od losowości do regularności i nawet celowości, jest „odkryciem" teorii ewolucji. Ta logika, na ogół, pozwala wyjaśniać wyniki procesów ewolucji tylko *a posteriori;* trudno jest je przewidywać. Uczeni wierni tradycjom nauki klasycznej nie mogli pogodzić się z procedurą wyjaśniania zjawisk przyrody działaniem czynników przypadkowych, które trudno jest przewidywać. Takie stanowisko znalazło wyraz w słynnym powiedzeniu Alberta Einsteina: „Bóg nie gra w kości".

Bertalanffy zdaje się podzielać to stanowisko [por. 1984, s. 190]. Wyjaśnianiu procesów ewolucji działaniem czynników losowych przeciwstawia on wiarę w możliwość ich wyjaśnienia działaniem Praw Natury. Wskazuje on możliwości, jakie daje zastosowanie uogólnionych praw kinetyki i termodynamiki do klasy systemów otwartych, która została przez niego odpowiednio zdefiniowana. Jego odkrycia pozwalają zrozumieć procesy

podstawowe i pierwotne, stanowiące ogólne tło ontogenezy i filogenezy. Okazują się one jednak mało przydatne w ścisłym przedmiocie teorii ewolucji. Prawa innego rodzaju, takie jak progresywna dyferencjacja, mechanizacja, centralizacja itp., którym Bertalanffy nadaje znaczenie praw ogólnosystemowych, mają w rzeczywistości ograniczony zasięg. Takie prawa mogą być traktowane, z punktu widzenia teorii ewolucji, jako rezultaty procesów losowych: w określonych rodzajach otoczenia są one skorelowane z większym prawdopodobieństwem przeżycia, w związku, z czym znajdują w tych prawach odbicie pewne regularności w relacjach między systemami a ich otoczeniem. Wystarczy jednak, aby nastąpiły istotne zmiany w otoczeniu i dyferencjacja może być zastąpiona przez integrację, segregacja przez unityzację, mechanizacja przez informatyzację itp. Takie przemiany zdarzały się w historii życia i społeczeństwa.

Charakterystycznym wątkiem w tej części krytyki teorii ewolucji jest przeciwstawienie wyjaśnienia ewolucji przez prawa natury wyjaśnianiu przez czynniki losowe. Idea komplementarności, wzajemnego powiązania i splotu tych dwu podstawowych stron procesów rozwojowych nie znalazła w tej krytyce szerszego rozwinięcia.

Argument dotyczący złożoności i samoutrzymania

Innym argumentem Bertalanffy'ego w krytyce teorii ewolucji jest złożoność organizmów żywych w połączeniu z ich zdolnością do samoutrzymania [1976, s. 29-30]:

> „Ewolucja objaśniona przez zdarzenia przypadkowe sprawia wrażenie wewnętrznie sprzecznej. Zegarków ręcznych lub pończoch nylonowych nie spotyka się w przyrodzie jako produktów procesów przypadkowych, a przecież na pewno «maszyny» mitochondryczne o organizacji enzymatycznej są nawet w najprostszej komórce lub w molekulach nukleoproteinowych nieporównanie bardziej złożone niż zegarek lub proste polimery, z których składają się włókna sztuczne [...] «Przeżycie najlepiej przystosowanych» (lub, w terminologii współczesnej, reprodukcja zróżnicowana) zdaje się prowadzić do błędnego koła. Samoutrzymujące się systemy musiały istnieć, zanim mogły wkroczyć we wzajemne współzawodnictwo pozwalające przetrwać jedynie systemom o wyższej wartości selekcyjnej lub też systemom osiągającym przewagę w reprodukcji zróżnicowanej. Samoutrzymanie jest jednak tym, co należy wyjaśnić; wyjaśnienia takiego nie dają zwykle prawa fizyki. Z drugiego prawa termodynamiki wynika raczej, że systemy uporządkowane, w których zachodzą procesy nieodwracalne, wykazują tendencję do zajmowania stanów najbardziej prawdopodobnych, zmierzają, więc ku zniszczeniu

istniejącego porządku i ostatecznej zagłady".

Argument złożoności systemów żywych jest raczej wątpliwy. Fakt, że istnieją rzeczy mniej złożone, które nie powstają w wyniku procesów losowych, lecz są wytworami celowej działalności ludzi, wcale nie dowodzi, że rzeczy o wiele bardziej od nich złożone nie mogą powstawać w wyniku procesów losowych opisywanych przez teorię ewolucji. Połączenie w system, losowe czy nielosowe, obiektów, z których każdy może przyjmować pewną liczbę stanów, powiększa złożoność (wyrażoną łączną liczbą możliwych stanów) nie liniowo, lecz eksponencjalnie. Jak pokazał W. Ross Ashby [1960, s. 267]; „Całość utworzona przez połączenie części dysponuje bogatszym repertuarem zachowań niż system, w którym te części pozostają izolowane". W przypadku systemów żywych, które są połączeniem ogromnej liczby różnych elementów i procesów, ich potencjalna złożoność jest niewyobrażalnie duża. Wystarczy, aby stosunkowo niewielki podzbiór tej niewyobrażalnej mnogości potencjalnych stanów tworzył w danym otoczeniu układy stabilne, aby ich struktura i zachowanie okazały się złożone lub bardzo złożone. Dzieje się to oczywiście w majestacie praw natury, ale i z udziałem procesów losowych, uwarunkowanych tak licznymi i zmiennymi czynnikami, że ich wynik staje się, na ogół, nieprzewidywalny.

Samoutrzymywanie się jest własnością charakterystyczną nie tylko dla systemów żywych. Wszelkie systemy naturalne, w których występują wzajemne oddziaływania dynamiczne (a więc molekuły, atomy i inne systemy fizycznej, też są systemami samoutrzymującymi się. Samoutrzymywanie połączone z samoodtwarzaniem i samaoorganizacją jest cechą swoistą systemów żywych.

John von Neumann (1903-1957), autor wielu odkrywczych prac w różnych dziedzinach matematyki teoretycznej i stosowanej, w kontekście prowadzonych przez niego badań nad abstrakcyjną strukturą automatów samoodtwarzających się poczynił następujące spostrzeżenie [1966, s. 79-80]:

> „Złożoność na pewnym niższym poziomie ma tendencję do wyradzania się w tym znaczeniu, że każdy automat na tym poziomie złożoności będzie wytwarzał automaty mniej od siebie złożone. Jednak po przekroczeniu pewnego progowego poziomu złożoności ta tendencja do wyradzania się przestaje być powszechna. Możliwa staje się realizacja automatów samoodtwarzających się i takich, które wytwarzają automaty bardziej od siebie złożone".

Gdy von Neumann w 1948 roku przedstawił uwagi na temat abstrakcyjnej struktury automatu wystarczająco złożonego, aby posiadał on zdolność do samoodtwarzania, przyjął on za punkt wyjścia przestanki czysto logiczne. Hyman Hartman w szkicu, w którym opisuje on

tę strukturę, powiada:

„Von Neumann przewidział naturę komórki, zanim biologia molekularna zdołała ustalić odpowiednie fakty. [...] Nie żył on dość długo, żeby doczekać się urzeczywistnienia swoich idei dotyczących struktury automatu samoodtwarzającego się, ale wystarczająco długo, żeby jego idee doczekały się znakomitego potwierdzenia w odkryciach dokonanych przez biologów" [Hartman 1984, s. 191-192].

Odkrycia te wykazały, między innymi, że proteiny są liniowymi sekwencjami aminokwasów. Sekwencje te mogą być opisywane jako zdania, czyli ciągi liter należących do pewnego alfabetu. Władysław Kunicki-Goldfinger w dziele [1976], które niemal w całości jest poświęcone różnym aspektom informacyjnym procesów rozwoju i ewolucji systemów żywych, tak oto przedstawia znaczenie tych sekwencji: „Wiemy dziś, że informacja o budowie białek jest przekazywana potomstwu w łańcuchach DNA [...]. Język tej informacji jest czteroliterowy, bowiem w DNA i RNA są tylko cztery nukleotydy [...]. Różnych aminokwasów jest tylko 20, zaś trójek nukleotydowych - $4^3 = 64$. Często, więc jeden aminokwas wyrażany jest przez kilka trójek, ale jednej trójce zawsze odpowiada tylko jeden aminokwas" (s. 85).

Bertalanffy ma inny pogląd na interpretację tych sekwencji i w ogóle na znaczenie teorii informacji i możliwości jej zastosowania w biologii: „Teorię informacji ogłoszono za «zasadniczy przełom», chociaż jej wkład poza techniką, do której pierwotnie miała zastosowanie, jest znikomy [...]. Kiedy w biologii mówi się o DNA jako «zakodowanej informacji», a «złamaniem kodu» określa się sytuację, w której wyjaśniona zostaje struktura kwasów nukleinowych, to posługiwanie się terminologią z zakresu teorii informacji wygląda raczej na *facon de parler* niż na zastosowanie teorii informacji w sensie technicznym rozwijanej przez Shannona i Weavera" [1984, s. 127].

Ta uwaga Bertalanffy'ego nie jest pozbawiona podstaw, jeśli ograniczyć się do pewnych czysto technicznych aspektów teorii informacji. Chociaż teoria informacji zajmuje się tylko niektórymi stronami procesów informacyjnych, to ma ona jednak bardzo ważny wpływ na zrozumienie istoty i znaczenia tych procesów w ich całokształcie. Jest to jednak zagadnienie zbyt obszerne, aby można było je tu szerzej rozwinąć.

Procesy informacyjne są jednym z czynników decydujących o osiągnięciu i przekroczeniu progowego poziomu złożoności, o którym mówi von Neumann jako o warunku przezwyciężenia tendencji do wyradzania się automatów samoodtwarzających się. Te procesy oraz formy i sposoby ich realizacji też są przedmiotem ewolucji i przyjmują postaci o różnym stopniu złożoności: (1) na poziomie filogenezy - jako postać zapisu genetycznego leżącego u

podstaw szybkiego rozwoju form strukturalnych i zróżnicowania systemów biologicznych; (2) na poziomie ontogenezy - jako postać komunikacji systemów żywych i ich komponentów, realizowanej przez układy nerwowe o różnym poziomie złożoności i leżące u podstaw funkcji poznawczych; (3) na poziomie świata Człowieka - jako postać procesów realizowanych z udziałem złożonych systemów językowych, leżących u podstaw formowania się świadomości, kultury i cywilizacji; (4) na poziomie świata techniki - jako różne formy komunikacji między człowiekiem i maszyną, między maszynami i komponentami maszyn.

W pracach [1967, 1981] poświęconych krytyce współczesnych teorii psychologicznych Bertalanffy kreśli symboliczno-systemowy obraz człowieka. Nawiązuje on w tych pracach raczej do koncepcji filozoficznych Ernesta Cassirera (1874-1945) niż do ewolucji procesów informacyjnych.

Argument dotyczący uwarunkowania społecznego

W krytyce darwinowskiej teorii ewolucji Bertalanffy używa także argumentu odwołującego się do jej rodowodu społecznego. Teoria ta jego zdaniem - jest swoistym wytworem stosunków społecznych charakterystycznych dla Anglii wiktoriańskiej. Wolna konkurencja i utylitaryzm należały wtedy do naczelnych zasad panującej ideologii i praktyki społecznej. „Walka o byt" i „przeżycie osobników najlepiej przystosowanych" były odpowiednikami tych zasad, przeniesionymi z dziedziny społecznej na grunt biologii[13].

> „Darwinowskie ujęcie teorii ewolucji jest rzutowaniem sytuacji socjologicznej XIX i początku XX wieku na całych dwa miliardy lat historii życia na ziemi" [Bertalanffy 1960, s. 107].

Stąd wniosek, że to ujęcie jest reliktem przeszłości, «żywą skamieniałością na podobieństwo tuatary nowozelandzkiej»".

Argument nawiązujący do kontekstu społecznego darwinowskiej teorii ewolucji ma nowszą wersję też wywodzącą się z nurtu systemowego. Ponieważ wiążą się z tą wersją pewne ciekawe konsekwencje teoriosystemowe, warto poświęcić jej trochę uwagi.

W pracy poświęconej teorii systemów autopoietycznych [Maturana, Varela, 1980] przedstawiono następujący punkt widzenia:

„Darwinowskie ujęcie teorii ewolucji przypisujące znaczenie podstawowe takim

[13] Podobne argumenty dotyczące rodowodu społecznego koncepcji fundamentalnych K. Darwina są zawarte w uwagach Fryderyka Engelsa z roku 1875 [Engels, 1952, s. 328-33(x). *Były* to argumenty przeciwko przenoszeniu

pojęciom, jak gatunek, dobór naturalny i przystosowanie, miało wpływ na stosunki społeczne wykraczający poza dziedzinę biologii oraz wyjaśnianie różnorodności systemów żywych i jej pochodzenia [...]. Teoria używająca pojęć ewolucji, doboru naturalnego i przystosowania (w kontekście, w którym trwałe istnienie historyczne przypisuje się tylko gatunkowi, natomiast jednostki traktuje się jako coś przemijającego i pomijalnego) zdawała się dostarczać biologicznego (a więc naukowego) uzasadnienia struktury ekonomicznej i socjalnej społeczeństwa, u którego podstaw leży dyskryminacja ekonomiczna, a władza i podporządkowanie obywateli państwu są powiązane z mechanizmami konkurencji. [...] Z perspektywy darwinowskiego ujęcia teorii ewolucji rola jednostek zdaje się polegać tylko na przyczynianiu się do uwieczniania gatunku; wszystko, co można zrobić dla dobra ludzkości, sprowadza się do pozostawienia istniejącego stanu rzeczy jego biegowi" (s. 117).

Ten punkt widzenia prowadzi do nowego spojrzenia na zjawiska biologiczne, w którym znaczenie fundamentalne ma określenie organizmu żywego jako należącego do klasy systemów autopoietycznych. W systemie autopoietycznym jego komponenty tworzą organizację, która służy do ich wytwarzania. Jest to przykład organizacji cyrkularnej lub, inaczej mówiąc, układu homeostatycznego, w którym zmienną utrzymywaną w stałych granicach jest organizacja systemu jako całości.

Taki punkt widzenia nie tylko postuluje ujęcie całościowe, lecz także wskazuje mechanizm systemowy, który tworzy obiektywną podstawę całościowości. Zdaniem Vareli, Bertalanffy ogranicza się do postulowania całościowości, ale nie próbuje ustalić, co stanowi jej obiektywną podstawę (s. 118).

Zasadniczy wniosek wynikający z krytyki darwinowskiej teorii ewolucji i opisanej tu idei systemu autopoietycznego jest następujący: „Pokazaliśmy, że argumenty teorii ewolucji, które uzasadniają podporządkowanie jednostki gatunkowi, są bezpodstawne, ponieważ fenomenologia biologiczna jest zdeterminowana przez fenomenologię jednostek, bez której nie ma w ogóle żadnej fenomenologii biologicznej. Organizacja jednostki jest autopoietyczna i ten fakt określa całe jej znaczenie [...]. Wynika stąd, że nie można już posłużyć się biologią do uzasadniania twierdzeń, jakoby znaczenie jednostek było pomijalne w obliczu dobra gatunku, społeczeństwa czy ludzkości, do których uwieczniania sprowadza się rolę jednostek" [1980, s. 118].

Idea systemu autopoietycznego jest na pewno godna uwagi. Znamienne jednak jest

---

tych koncepcji z powrotem na grunt społeczny. Nie przeszkadzało to Engelsowi wysoko cenić wartość tych

rozumowanie prowadzące do wniosków natury społecznej. Logika teorii ewolucji nie zostaje podważona w żadnym jej istotnym punkcie. Przeciwnie, jej prawdziwość zostaje wyraźnie zaakcentowana [Maturana, Varela, 1980, s. 117]. W świetle nowych idei ewolucja ukazuje się w innym kontekście, dzięki czemu analogie (lub metafory) teorii biologicznej odniesione do dziedziny zjawisk społecznych mają być pozbawione negatywnych (z punktu widzenia określonego systemu wartości) znaczeń.

Używanie (czy nadużywanie) systemów konceptualnych powstałych na gruncie nauk przyrodniczych dla tworzenia analogii (lub metafor), odpowiadających takim czy innym potrzebom politycznym czy ideologicznym, nie należy do rzadkości. Takie analogie są często bardzo powierzchowne i mają wątpliwą wartość jako argumenty przemawiające za logiką tych systemów konceptualnych czy przeciw niej. Niekiedy, jak się okazuje, mogą one inspirować nowe ujęcia zjawisk przyrodniczych i stanowić punkt wyjścia dla oryginalnych teorii.

Warto, na zakończenie, przytoczyć wypowiedź dotyczącą tej kwestii, pochodzą z ubiegłego stulecia. Charles S. Peirce (1839-1919), amerykański filozof i logik, poczynił w 1877 roku następujące spostrzeżenie:

> „Kontrowersje wokół darwinowskiej teorii ewolucji są, przede wszystkim, kwestią logiki [...] Darwin, choć nie mógł określić dla każdego przypadku mechanizmów zmienności i doboru naturalnego, to jednak pokazał, iż z perspektywy długofalowej powodują one (lub mogą powodować) przystosowanie zwierząt do otaczającego je świata. Czy istniejące formy życia są naprawdę wynikiem takiego działania i miejsce, jakie należy tej teorii przyznać, jest przedmiotem dyskusji, w której fakty i logika ściśle się splatają" [1955, s. 7].

Fakty dostarczają wiedzy o mechanizmach zmienności i dziedziczności. Obecnie wiedza ta jest bardziej rozległa niż ta, którą dysponował Darwin, nie jest to jednak wiedza pełna. Logika wiążąca mechanizmy zmienności i dziedziczności z prawdopodobieństwem przeżycia w zmiennym i złożonym otoczeniu, a w konsekwencji z rozwojem i zróżnicowaniem form życia, pozostaje niepodważona, choć ulega zmianie słownictwo i kontekst, w którym ta logika jest reprezentowana. Bertalanffy rozszerzył ten kontekst, ale nie podważył logiki koncepcji darwinowskich.

---

koncepcji w odniesieniu do zjawisk biologicznych.

4. Podstawy epistemologii systemowej

Bertalanffy poświęca wiele uwagi postawie poznawczej. Chodzi mu nie tylko o konsekwencje, jakie ona ma dla prawdziwości i istotności wyników dociekań naukowych, dla ich logicznej spójności i metodologicznej sprawności, lecz także o jej wpływ na sferę stosunków społecznych. Epistemologię systemową Bertalanffy przeciwstawia epistemologii mechanicyzmu, (ale także empiryzmu i logicznego pozytywizmu - por. 1976, s. 43). Postawę epistemologiczną mechanicyzmu charakteryzują - zdaniem Bertalanffy'ego - następujące cechy:

- analityczność, która znajduje wyraz w różnych procedurach rozkładania całości na części i ich badania w oderwaniu od całości; choć analityczność przyczynia się do skutecznego rozszerzania zakresu wiedzy, to jednak prowadzi także do błędów wynikających z pomijania rozmaitych związków między częściami i elementami w ramach dynamicznej i nieaddytywnej całości; w miarę wzrostu złożoności i integralności przedmiotów poznania błędy wynikające z pomijania związków między częściami nabierają większej wagi, szerszego zasięgu i mają dalej idące konsekwencje;

addytywność w ustalaniu związków pomiędzy własnościami części a własnościami całości; własności całości są traktowane jako sumy własności części, podczas gdy w obiektach badanych jako systemy „całość jest czymś więcej niż sumą jej części";

- przyczynowość ograniczona do liniowych związków tworzących ciągi rozłączne i wzajemnie niezależne; stanowi ona podstawę wąsko pojmowanego determinizmu oraz niedoceniania znaczenia procesów wieloczynnikowych i losowych;
- statyczność polegająca na traktowaniu istniejących struktur jako, w zasadzie, niezmiennych;
- redukcjonizm znajdujący wyraz w dążeniu do sprowadzania wszelkich zjawisk, a więc także zjawisk biologicznych i społecznych, do elementarnych zjawisk i procesów fizycznych; wynika stąd negowanie lub niedocenianie prawidłowości swoistych dla systemów rozmaitych poziomów, niesprowadzalnych do praw i procesów czysto fizycznych;
- maszynowość - przyjmowanie układu mechanicznego (maszyny) za uniwersalny model konceptualny przydatny do wyjaśniania wszelkich zjawisk i procesów świata rzeczywistego.

Bertalanffy zgadza się z poglądem W. Weavera (1948), że postawa mechanistyczna odpowiada określonemu etapowi rozwoju nauki, na którym z powodu niedostatecznie rozwiniętego aparatu poznawczego, zwłaszcza matematycznego i technicznego, musi ona

ograniczać się do zadań typu „prostoty zorganizowanej", czyli takich, w których liczba zmiennych i związków między nimi pozostaje niewielka.

Modyfikacje klasycznej postawy mechanistycznej, które spowodował rozwój nauki w XIX i XX stuleciu, są - zdaniem Bertalanffy'ego zwrotem ku „pojmowaniu świata jako królestwa chaosu" [1984, s. 224]. Procesy fizyczne, do których mechanicyzm próbuje sprowadzać wszelkie zjawiska rzeczywistości, są pojmowane jako „ślepa gra atomów", którą rządzą prawdopodobieństwo i prawa statystyki. Życie jawi się jako produkt przypadkowych procesów fizycznych, różnorodność jego form - jako rezultat przypadkowych mutacji połączonych z równie przypadkowymi procesami doboru naturalnego. Psychikę człowieka i jego osobowość uważa się za wynik jego wyposażenia genetycznego i sekwencji zdarzeń przypadkowych zachodzących w życiu osobnika od wczesnego dzieciństwa do wieku dojrzałości.

Ta zmodyfikowana postawa mechanistyczna odpowiada (według schematu W. Weavera) kolejnemu etapowi rozwoju nauki, na którym dzięki wynikom uzyskanym w teorii prawdopodobieństwa i statystyce staje się możliwe wyjaśnianie zjawisk i rozwiązywanie zadań należących do typu „złożoności niezorganizowanej", czyli takich, w których liczba zmiennych i związków między nimi jest tak duża, iż przyjmuje się ją za „nieskończoną".

Współczesny etap rozwoju nauki (i społeczeństwa) cechuje pojawienie się nowych problemów i nowych zadań, (które w klasyfikacji W. Weaverd należą do typu „złożoności zorganizowanej"), wymagających jednoczesnego ujęcia wielu, nawet bardzo wielu, jednak skończenie wielu zmiennych czynników i związków między nimi. Ograniczoność postawy mechanistycznej, jej niezdolność do ujmowania i rozwiązywania zadań tego typu, okazała się punktem wyjścia do poszukiwania nowych metod i technik oraz do rozwoju koncepcji i teorii systemowych. Postawa poznawcza nurtu systemowego, wspomagana przez nowe możliwości wynikające z osiągnięć współczesnej matematyki i techniki, jest pod wieloma względami przeciwstawna postawie mechanistycznej i zrosi narzucone przez nią ograniczenia.

Postawa poznawcza a jedność nauki

Dla postawy mechanistycznej zasadniczą przesłanką jedności nauki jest domniemana możliwość sprowadzania wszelkich zjawisk rzeczywistości do zjawisk i procesów fizycznych. Dla postawy systemowej (w ujęciu Bertalanffy'ego) zasadniczą przesłanką jedności nauki jest „systemowość" rzeczywistości i wynikająca stąd możliwość stosowania

tego samego zespołu fundamentalnych pojęć, zasad, praw i modeli w różnych dziedzinach nauki i techniki, niezależnie od rodzaju obiektów badanych jako „systemy" fizycznych, biologicznych czy społecznych. Te pojęcia, zasady, modele i prawa tworzą podstawę różnych izomorficznych ujęć systemowych.

Na wyższym poziomie ogólności jedność nauki jest określona przez jedność jej „paradygmatu" w znaczeniu, jakie temu terminowi nadawał Thomas S. Kuhn [1962]. Nowy sposób ujmowania zjawisk i związane z nim postawy poznawcze i techniki badawcze pojawiają się w określonych warunkach historycznych i bardzo szybko się rozprzestrzeniają w wielu różnych dyscyplinach nauki, wypierając „paradygmat", który uprzednio w ciągu długiego okresu zajmował pozycję dominującą i był powszechnie akceptowany jako zespół zasad i norm uprawiania nauki. Ten proces zastępowania starego „paradygmatu" nowym znamionuje rewolucję w nauce i technice.

„Systemowy punkt widzenia - pisze Bertalanffy [1984, s. 21] - wtargnął do ogromnej liczby nowych dziedzin nauki i techniki i okazał się już niezastąpiony. Ten fakt oraz to, że dzięki teorii systemów pojawił się w myśleniu naukowym całkiem nowy «paradygmat» (używając wyrażenia Thomasa S. Kuhna), sprawia, że pojęcie systemu można definiować i rozwijać na różne sposoby, w zależności od celów badania naukowego, dla odzwierciedlenia różnych aspektów pojęcia głównego".

Na kolejnym wyższym poziomie ogólności i abstrakcji przesłanką jedności nauki staje się jedność „obrazu świata" - kontekstu filozoficznego i światopoglądowego, w którym każdy przedmiot badania naukowego ma swoje miejsce w strukturze całości. Jak już wiemy, taką strukturą jest wszechświat uporządkowany hierarchicznie. Stąd wniosek [1984, s. 120], że: „Jedność nauki bierze się nie z utopijnego sprowadzania wszystkich nauk do fizyki i chemii, lecz ze strukturalnych jednolitości różnych poziomów rzeczywistości...".

Ten kontekst filozoficzny i uwarunkowany przezeń światopogląd Bertalanffy nazywa „perspektywizmem". Charakteryzuje go przeciwstawność redukcjonizmowi i swoista, bardzo szeroka interpretacja jedności, w której nauka jest tylko jedną z wielu perspektyw wynikających z różnych uwarunkowań ludzkości - biologicznych, społecznych, kulturowych i językowych. Jedność, którą tworzy splot tych perspektyw, jest rezultatem ewolucji biologicznej Człowieka oraz historii rozwoju społecznego [1984, s. 27]:

„Jeśli rzeczywistość składa się z hierarchicznie zorganizowanych całości, to obraz człowieka będzie różnił się od tego, który istnieje w świecie f fizycznych cząstek, rządzonym przez zdarzenia losowe jako ostatecznej i jedynie {prawdziwej} rzeczywistości. Czymś

bardzo rzeczywistym jest raczej świat symboli, wartości, bytów społecznych i kultur, a jego osadzenie w kosmicznym porządku hierarchii może przezwyciężyć przeciwstawieństwa między {dwiema kulturami} [...] między naukami ścisłymi a dyscyplinami humanistycznymi, naukami przyrodniczymi a społecznymi, czy jak jeszcze inaczej sformułujemy tę antytezę...".

5. Świat wartości

Konsekwencje postawy mechanistycznej, tak jak je widzi Bertalanffy, kładą się ponurym cieniem na całą sferę stosunków społecznych. W postawie tej dopatruje się on źródła postępującej mechanizacji, technicyzacji i technokratyzacji społeczeństwa. Modele mechanistyczne służą do uzasadniania różnych form sterowania i manipulowania społeczeństwem. Takim modelom nadawane są pozory naukowości przez powoływanie się na „prawa", których postać ma przypominać prawa fizyki, zwłaszcza mechaniki. Ta sama postawa znajduje także wyraz w rozmaitych współczesnych teoriach psychologicznych i behawioralnych, które podobnymi „prawami" próbują uzasadnić manipulowanie ludźmi, ich zachowaniem. Ludzie są traktowani w tych teoriach jak złożone „maszyny" lub, jak powiada Bertalanffy, „roboty" wyposażone w odpowiednie układy reagowania na bodźce z zewnątrz.

Uwagi Bertalanffy'ego dotyczące świata wartości mają ścisły związek z jego poglądem na konsekwencje społeczne postawy mechanistycznej. Przejawiają się te uwagi w różnych jego pracach, w rozmaitych tonacjach i zabarwieniach emocjonalnych, tak jak uparcie powtarzający się motyw w utworze muzycznym. Oto przykłady:

„Światopogląd mechanistyczny, w którym grę cząstek fizycznych przyjmowano za ostateczną rzeczywistość, znalazł wyraz w cywilizacji gloryfikującej technikę fizyczną, która doprowadziła w końcu do katastrof naszych czasów" [1984, s. 80].

„W praktyce konsekwencje tej koncepcji mechanistycznej okazały się fatalne dla naszej cywilizacji. Podejście, według którego zjawiska fizyczne są jedyną normą dla rzeczywistości, doprowadziło do mechanizacji człowieczeństwa i do dewaluacji wyższych wartości" [1984, s. 120]. „Musimy się liczyć z ponurą rzeczywistością międzynarodowej, masowej cywilizacji technicznej, obejmującej całą kulę ziemską i całą ludzkość; dawne wartości kulturowe i dawna twórczość zostały zastąpione nowymi urządzeniami. W obecnej wybuchowej fazie walki o władzę może to doprowadzić do wszechświatowej zagłady atomowej" [1984, s. 243].

„Mechanistyczny świat ubiegłego stulecia był blisko związany z dominacją maszyny, z teoretycznym poglądem mówiącym, że żywe istoty są jak maszyny, i z mechanizacją samego człowieka" [1984, s. 302].

„Dla wszystkich tych teorii psychologicznych [począwszy od behawioryzmu [...] a skończywszy na egzystencjonalizmie] wspólny jest jeden «obraz człowieka», wywodzący się ze świata fizyki i techniki [...]. Jest to model zachowań nie człowieka, lecz robota" [1984, s. 225].

Są to zaledwie próbki licznych fragmentów o podobnej tonacji. Bertalanffy niejednokrotnie daje wyraz przeświadczeniu, że postawa systemowa jako antyteza postawy mechanistycznej mogłaby prowadzić do przezwyciężenia jej negatywnych konsekwencji, tak sugestywnie przez niego przedstawionych:

„Szukamy innego, głębszego spojrzenia na świat jako na organizację. Ta koncepcja, jeśli tylko potrafimy ją uzasadnić, rzeczywiście mogłaby zmienić podstawowe kategorie, na których opiera się myśl naukowa, i głęboko wpłynąć na postawy praktyczne" [1984, s. 224-225].

„Może model świata jako wielkiej organizacji pozwoli umocnić uczucie szacunku dla tego, co żywe, uczucie, które niemal zatraciliśmy podczas ostatnich krwawych dziesięcioleci historii ludzkości..." [1984, s. 80]. „Nowy «obraz człowieka», w którym zastępuje się koncepcję robota pojęciem systemu, kładzie się nacisk na immanentną aktywność zamiast na kierowaną z zewnątrz reaktywność i uznaje się specyfikę ludzkiej kultury w przeciwieństwie do zachowań zwierzęcych, powinien prowadzić do zasadniczego przewartościowania problemów wychowania, psychoterapii i postaw ludzkich w ogóle" [1984, s. 229].

W miarę upływu lat nadzieje te nie stają się bliższe spełnienia. Narasta pesymizm i zwątpienie, na które niemały wpływ miała zapewne okoliczność, że różne teorie i modele, które Bertalanffy traktował jako „mechanistyczne", rozprzestrzeniały się we własnym, systemowym obozie i nabierały coraz większego znaczenia.

W tym miejscu nie od rzeczy będzie dygresja w stronę historii nurtu systemowego. Teorie Bertalanffy'ego wywodzą się z dylematów, kontrowersji, sytuacji krytycznych, które pojawiły się w naukach biologicznych na przełomie ubiegłego i obecnego stulecia. Choć zmieniały one postać to jednak zachowały żywotność do czasów obecnych. Znajdują one wyraz w coraz to nowych starciach między mechanicyzmem a witalizmem

Model organizmu żywego przedstawiony przez Bertalanffy'ego w teorii systemów otwartych miał prowadzić do naukowego, ścisłego wyjaśnienia podstawowych zagadnień będących przedmiotem sporu oraz wznieść rozważania biologiczne na wyższy poziom logiczny. Był to model tak ogólny, iż Bertalanffy mógł przyjąć, że wystarczy niewielki krok, aby uczynić go uniwersalnym. Taki model uniwersalny przedstawił on w ogólnej teorii

systemów, ale raczej w postaci programu i hipotezy roboczej niż w postaci ścisłej teorii. Na kształt ogólnej teorii systemów i związane z nią refleksy natury filozoficznej niemały wpływ miało środowisko kulturowe, w którym uformowała się osobowość oraz postawa badawcza i naukowa Ludwiga von Bertalanffy'ego[14].

Bertalanffy przedstawił swoją koncepcję ogólnej teorii systemów w drugiej połowie lat trzydziestych. Została ona jednak dostrzeżona prze świat nauki i właściwie oceniona dopiero w okresie, który nastąpił bez pośrednio po drugiej wojnie światowej. Nadał on wówczas swojej koncepcji pełniejszą i bardziej artykułowaną postać. W tym samym czasie pojawiły się, całkiem niezależnie od koncepcji Bertalanffy'ego, prace, które położyły podwaliny nowych teorii: cybernetyki, teorii informacji, teorii automatów, teorii gier. Teorie te Bertalanffy określa jako należące do „ogólnej teorii systemów w szerokim znaczeniu" [1984, s. 123-124].

Nie wdając się w kwestię zasadności takiego określenia, można tu stwierdzić fakt bezsporny, że teorie te mają całkiem odmienny rodowód niż koncepcje Bertalanffy'ego. Wywodzą się one z badań prowadzonych n a s tyku t echniki, m atematyki, m etamatematyki, logiki. Istotne znaczenie ma w tych teoriach pojęcie abstrakcyjnej „maszyny" (automatu) występujące w postaci wzbogaconej nowymi ideami - sterowania, sprzężenia zwrotnego, regulacji, informacji, komunikacji. W tych teoriach, w znacznym stopniu sformalizowanych, pojęcia, które przedtem pojawiały się tylko w kontekstach świata organicznego lub nawet tylko świata Człowieka, nabrały znaczenia bardziej ogólnego.

Stosunek Bertalanffy'ego do tych nowych teorii był ambiwalentny. Z jednej strony, uznawał on je za „systemowe", ponieważ zajmują się one, podobnie jak lego własne teorie, różnymi aspektami „całościowości" - organizacji, porządku, równowagi dynamicznej, ekwifinalności, wzajemnego oddziaływani itp. Wyjaśniają one w sposób naukowy zachowanie się teleologiczne (lub quasi-teologiczne), rozstrzygają problemy należące do zakresu „złożoności zorganizowanej". Bertalanffy dopuszczał, więc możliwość symbiozy tych teorii z jego własnymi koncepcjami w ramach luźnego konglomeratu teorii, modeli i koncepcji nazwanego przez niego „ogólną teorią systemów w szerokim znaczeniu".

Z drugiej strony, Bertalanffy traktuje teorie systemowe wywodzące się z kręgu techniki jego „mechanistyczne" i „maszynowe". Są one, więc obciążone ułomnościami i ograniczeniami, które są przez niego globalnie przypisywane postawie mechanistycznej. Stąd

---

[14] Ciekawy opis tego środowiska i jego różnych uwarunkowań przedstawił William M. Johnston [1973, s. 21-30].

krytyczny stosunek do tych teorii i ich wyników. W ich mechanistycznej naturze dostrzega on także źródło rozmaitych zagrożeń o nieznanej przedtem skali, ponieważ teorie te są nieporównanie bardziej wyrafinowane i mają dużo szerszy i głębszy zakres skuteczności niż klasyczne teorie i modele mechanistyczne.

„Nauka o systemach - pisze Bertalanffy [1984, s. 16] - znajdująca zastosowanie głównie w informatyce, cybernetyce, automatyce i technice systemów sprawia, że idea systemów staje się kolejnym - i doprawdy już ostatecznym - zabiegiem przekształcającym człowieka i społeczeństwo w megamaszynę".

Tę myśl Bertalanffy rozwija szerzej w przedmowie do poprawionego wydana *Ogólnej Teorii systemów:*

„Tym humanistycznym nastawieniem ogólna teoria systemów, tak jak ja ją rozumiem, różni się od tego, co głoszą mechanistycznie nastawieni teoretycy systemów posługujący się wyłącznie terminami zaczerpniętymi z matematyki, teorii sprzężenia zwrotnego i techniki, a co budzi obawę, że teoria systemów jest rzeczywiście ostatecznym krokiem w kierunku mechanizacji i dewaluacji człowieka oraz w kierunku społeczeństwa technokratycznego. Rozumiejąc potrzebę, a nawet konieczność czerpania z matematyki zarówno jako nauki czystej, jak i stosowanej, nie sądzę, by można było pominąć aspekty humanistyczne, jeśli ogólna teoria systemów nie ma ograniczyć się do ukazywania zubożonej i cząstkowej wizji rzeczywistości" [1984, s. 23-24].

Powyższe uwagi spisane w 1971 roku, poprzedzającym rok śmierci Bertalanffy'ego, mają wymowę przesłania. Można je odczytać jako apel do uczonych i twórców nurtu systemowego, aby nie zasklepiali się w czysto technicznych, matematycznych, czy nawet logicznych aspektach, nie gubili w swoich badaniach szerszego kontekstu humanistycznego i społecznego, zdawali sobie sprawę z rzeczywistych i potencjalnych konsekwencji i zagrożeń społecznych związanych z tworzonymi przez nich teoriami, modelami, koncepcjami. Ważnego znaczenia nabiera w tym świetle postulat eliminowania przeciwieństw między „dwiema kulturami" - humanistyczną i techniczną - zmniejszania dzielącego je dystansu. Z tego postulatu wynikają wnioski praktyczne, dotyczące edukacji, polityki kulturowej itp.

Warto jednak zauważyć, że zgodnie ze światem wartości, z którym Bertalanffy utożsamia swoją postawę, źródła zagrożeń są umiejscowione głównie w tej części nurtu systemowego, która wywodzi się z kręgu matematyki i techniki, i jest - jego zdaniem - immanentnie „mechanistyczna". Byłby to jednak schemat zbyt uproszczony i oderwany od kontekstu społecznego i historycznego. Jest paradoksem, że teorie wywodzące się z kręgu techniki, nawiązujące do modeli „maszynowych", są pod pewnymi względami mniej

„mechanistyczne"[15] i bardziej odpowiadają poziomowi złożoności systemów biologicznych niż teorie Bertalanffy'ego wywodzące się z kręgu biologii.

Teorie naukowe („mechanistyczne" czy „niemechanistyczne") mogą służyć celom, które z punktu widzenia ustalonych systemów wartości są bądź ambiwalentne, bądź przeciwstawne. Źródła zagrożeń tkwią w większym stopniu w strukturach i układach sił społecznych, będących wynikiem procesów historycznych niż w teoriach naukowych opatrywanych takimi czy innymi etykietami.

W pracach fundamentalnych wybitnych twórców nurtu systemowego wywodzących się z kręgu matematyki i techniki można napotkać wątki światopoglądowe podobne do tych, które przewijają się w pracach Bertalanffy'ego, podobne obawy, nadzieje i wątpliwości. Jest to już jednak inny temat.

(Tekst wpłynął do redakcji w lipcu 1987 r)

[15] Warto zauważyć, że „mechanicyzm" ma u różnych autorów całkiem odmienne znaczenia. Maturana i Varela, którzy też są biologami i autorami prac należących do nurtu systemowego, podają następujące określenie: „Mechanicyzm jest postawą, która przyjmuje, że w organizmach żywych działają tylko siły fizyczne i do wyjaśniania zjawisk biologicznych nie są potrzebne żadne niematerialne siły organizujące" (1580, s. 137, definicja podana w glosariuszu na końcu książki). Podkreślają oni z naciskiem, we wstępnych fragmentach swojej pracy, że ich postawa jest „mechanistyczna".

Bibliografia

1. A p t e r M. J. [1966]: Cybernetics and Development. Oxford 1966 Pergamon Press.
2. A s h b y W. R. [1960]: Design for a Brain. (wyd. 2). London 1960 Chapman and Hall.
3. B e e r S. [1975a]: On Heaping our Sciences Together, W: T r a p p l R, P i c h l e r F. R. [eds]: Progress in Cybernetics and Systems Research. Washington D. C. Hemisphere Publ. Co.
4. B e e r S. [1975b]: Platform for Charge. London 1975 Wiley.
5. S. B e r t a l a n f f y L. von [1945]: Zu einer allgemeinen Systemlehre. „Blatter für Deutsche Philosophie", 18.
6. B e r t a l a n f f y L. von [1950]: An Outline of General Systems Theory. „The British Journal for the Philosophy of Science" vol, 1, s. 139-164.
7. B e r t a l a n f f y L. von [1960]: Problems of Life. New York 1960 Harper Brothers.
8. B e r t a l a n f f y L. von [1967]: Robots, Men and Mind. New York 1967 Braziller.
9. B e r t a l a n f f y: [1976]: Historia rozwoju i status ogólnej teorii systemów W: K l i r G. J. [red.]: Ogólna teoria systemów. Warszawa 1976 WNT, s. 27-47.
10. B e r t a l a n f f y L. von [1984]: Ogólna teoria systemów. Warszawa 1984 PWN.
11. B u c k l e y W. [1976]: Epistemologia w ujęciu systemowym. W: K l i r G. J. [red.]: Ogólna teoria systemów. Warszawa 1976 WNT.
12. B u n g e M. [1963]: The Myth of Simplicity. (rozdz. 3) Englewood-Cliffs 1963 Prentice-Hall.
13. B u n g e M. [1969]: The Metaphysics: Epistemology and Methodology of Levels W: W h y t e L. L. et al. [eds]: Hierarchical Structures. New York 1969 Am. Elsevier, s. 17-28.
14. B u n g e M. [1977]: Ontology I: The Furniture of the World. Treatise on Basic Philosophy V. 3. Dordrecht 1977 D. Reidel.
15. B u n g e M. [1979]: Ontology II: The World of Systems, Treatise on Basic Philosophy, V. 4, Dordrecht 1979 D. Reidel.
16. E n g e l s F. [1952]: Dialektyka przyrody. Warszawa 1952 Książka i Wiedza.
17. G e r a r d R. W. [1969]: Hierarchy, Entitation, and Levels, W: W h y t e L. L. et al. [eds.]: Hierarchical Structures. New York 1969 Am. Elsevier.
18. G o g u e n J. A., V a r e l a F. J. [1979]: Systems and Distinctions: Duality and

Complementarity. „Int. Journal of Gen. Systems" vol. 5, s. 31-43.

19. H a r t m a n H. [1984]: Philosophy of Science and the Origin of Life. W: C o h e n R., W a r t o f s k y M. [eds]: Methodology, Metaphysics, and the History of Science, s. 183-213, Dordrecht 1984, D. Reidel.
20. H i l t z S. R., T u r o f f M. [1978]: The Network Nation. Addison-Wesley, Reading, Mass.
21. J o h n s t o n W. M. [1973]: Von Bertalanffy's Place in Austrian Thought. W: G r a y W., R i z z o H. D. [eds]: Unity through Diversity, London 1973 Gordon and Breach.
22. K o e s t l e r A. [1973]: The Tree and the Candle, W: G r a y W., R i z z o H. D. [eds.]: Unity through Diversity, London 1973 Gordon and Breach.
23. K u h n T. S., [1962]: Struktura rewolucji naukowych. Warszawa 1962 PWN.
24. K u n i c k i - G o l d f i n g e r W. [1976]: Dziedzictwo i przyszłość. Warszawa 1976 PWN.
25. M a r u y a m a M. ,[1965]: Metaorganization of Information Cybernetica 4.
26. M a t t e s s i c h R. [1982]: Axiomatic Representation of the Systems Framework: Similarities and Differences Between Mario Bunge's World of Systems and My Own Systems Methodology, „Cybernetics and Systems", vol. 13, s. 51-75.
27. M a t u r a n a H. R., V a r e l a F. J. [1.980]: Autopoiesis and Cognition, Dordrecht 1930, D. Reidel.
28. N e u m a n n J. von [1966]: Theory of Self-Reproducing Automata. Urbana 1906 University of Illinois Press.
29. P e i r c e Ch. S. [1955]: Philosophical Writings of Peirce. New York 1955 Dover.
30. S a d o w s k i W. N. [1984]: Problemy fiłosofskogo obosnowanija sistiemnych issledowanij, „Sistiemnyje issledowanija", s. 32-51.
31. S a i n t - G e r m a i n M. [1985]: Teorie Ludwiga von Bertalanffy'ego: studium wzajemnych powiązań, „Projektowanie i Systemy", vol. VII, s. 11-32.
32. S i m o n H. A. [1977]: Models of Discovery. Dordrecht 1977, D. Reidel.
33. V a l l e e J. [1982]: The Network Revolution. Berkeley 1982. And/Or Press.
34. W e a v e r W. [1948]: Science and Complexity. „Am. Scientist" vol.35. s. 536-544.
35. W i e n e r N. [1948]: Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine, Cambridge 1948. M.LT. Press.

ZAŁĄCZNIK 4

ZAGADNIENIA

NAUKOZNASTWA
3-4 (67-68), 1981
PL ISSN 0044-1619

P. K. M'Pherson (Wielka Brytania)

Systemy i nauka o systemach: Próba odpowiedzi na niektóre kwestie ontologiczne i epistemologiczne.

**ZAGADNIENIA
NAUKOZNASTWA
3-4 (67-68), 1981
PL ISSN 0044-1619**

P. K. M'Pherson (Wielka Brytania)

Systemy i nauka o systemach: Próba odpowiedzi na niektóre kwestie ontologiczne i epistemologiczne.

Nauka systemowa umożliwiająca zrozumienie rzeczywistości, które jest niezbędne do polepszenia losu ludzkiego musi zawierać różne warstwy: empiryczną, analityczną, instrumentalną, a także normatywną, jeśli ponadto ma pomóc ludziom w podejmowaniu decyzji i w działaniu. Taka nauka systemowa powinna objąć całe continuum złożoności systemów, rozpościerające się między biegunami wyznaczonymi, z jednej strony - przez system typu „twardego", z drugiej zaś przez system typu „miękkiego"·. Niezależnie od problemów epistemologicznych i ontologicznych, które wyłaniają się w tak wszechstronnej nauce, zawarta w niej teoria modelowania musi być zdolna do uchwycenia zmiennych czynników społeczno - politycznych, występujących w systemach, w których uczestniczą ludzie, i ujmowania w sposób ścisły „twardych" czynników technicznych. Rozszerzenie:modelowania matematycznego na warstwy instrumentalne i normatywne osiąga się przez teorie decyzji i wartości, gruntowne- zaś badania systemów społeczno-politycznych, ustalenie reguł i zasad prowadzi w rezultacie do uzyskania teorii i danych, które z większym powodzeniem można będzie ująć w ramy pewnej struktury matematycznej.

1. Nauka i systemy

1.1. Ogólne własności systemów

Funkcją nauki jest organizowanie naszej wiedzy i umożliwienie lepszego zrozumienia obserwowanego przez nas świata dzięki zastosowaniu metod analitycznych i empirycznych. Dla sprawnego osiągnięcia tych celów całokształt wiedzy został podzielony na dokładnie sprecyzowane rodziny nauk, na przykład fizycznych, biologicznych, medycznych, behawioralnych, administracyjnych i analitycznych, przy czym każda taka rodzina ma w dodatku swoje własne podziały wewnętrzne. Z takiego podziału wynika klasyfikacja w obrębie pewnej struktury hierarchicz-

nej, w której wyższym poziomom odpowiadają gałęzie wiedzy o większym stopniu abstrakcji. Świat podlegający obserwacji, zwłaszcza świat, na który są skierowane działania ludzi, zawiera organizacje składające się z elementów funkcjonalnych. Mogą one obejmować funkcje biologiczne, techniczne, administracyjne i społeczne, zarówno z jednej dziedziny, jak i z kilku lub nawet ze wszystkich tych dziedzin. Takie organizacje są międzydyscyplinowe oraz odznaczają się pewną złożonością struktury i zachowania, która uzasadnia nowy rodzaj klasyfikacji w ramach wiedzy jako całości, mianowicie klasyfikacji „systemowej". Systemy podlegają obserwacji, ale nie bezpośrednio: to czy pewien agregat powiązanych ze sobą obiektów jest systemem, czy tylko konglomeratem, zależy od wyników badań mających na celu ustalenie, czy występują w nim pewne własności w strukturze, zachowaniu, celu, świadomości:

- struktura musi składać się z licznych elementów połączonych ze sobą wieloma wzajemnymi związkami, tworzącymi, co najmniej jeden obwód zamknięty;
- zachowanie się musi być dynamiczne i mieć taki charakter, by wnioskowanie o nim na podstawie reakcji poszczególnych elementów na sygnały wejściowe nie było łatwe;
- zachowanie powinno sprawiać wrażenie' zachowania celowego, tj. powinno być skierowane na osiągnięcie pewnych celów.

Powszechnie przyjmuje się, że takie są własności „systemu". Jednak systemy uwieńczone *powodzeniem,* czyli takie, które są zdolne do przetrwania, usprawniania swojego działania i osiągania swoich celów, wymagają istnienia pewnych własności dodatkowych, a mianowicie:

- ich struktura powinna być podzielona na podsystemy operacyjne, sterujące i wspomagające, wzajemnie ze sobą powiązane pewnym systemem informacyjnym;
- ich struktura jako całość powinna być, co najmniej niezawodna i elastyczna, aby zaś była strukturą trwałą, powinna też być adaptacyjna, czyli zdolna do reorganizacji;
- na tym poziomie system powinien być inteligentny, zdolny do uczenia się w wyniku przetwarzania informacji i właściwego zużytkowania zdobytej wiedzy;
- może to oznaczać, że system jest także refleksyjny i normatywny, czyli jest świadomy swoich własnych niedostatków i umie ustalać sobie lepsze struktury i cele.

1.2. **Kwestie ontologiczne i epistemologiczne.**

Takie są więc własności, które przypisuje się pewnym organizacjom podlegającym obserwacji, aby je zakwalifikować jako systemy. Jest oczywiste, że niektóre z tych własności odgrywają pewną rolę w naukach tradycyjnych, zwłaszcza w biologii, w naukach technicznych, w psychologii, a także w niektórych ujęciach nauki o zarządzaniu. W związku z tym należy rozważyć pewne kwestie ontologiczne i epistemologiczne.

Ontologiczne: czy systemy istnieją i czym różnią się one od innych obiektów obserwowalnych? Jeśli pojęcie „systemu" nie jest zbędne, to musi wykazywać pewne własności szczególne, których nie można ani zlikwidować ani przypisywać naukom istniejącym.

Epistemologiczne: jeśli systemy istnieją, to jak uzyskać wiedzę o nich i jaka jest jej treść? Czy jest ona analityczna, czy empiryczna? Czy istnieje teoria systemów i jaką ona ma strukturę? Jeśli można zdefiniować ją jako pewien odrębny element w strukturze wiedzy, czy będzie to „nauka o systemach" i jaki ona będzie miała związek z innymi naukami?

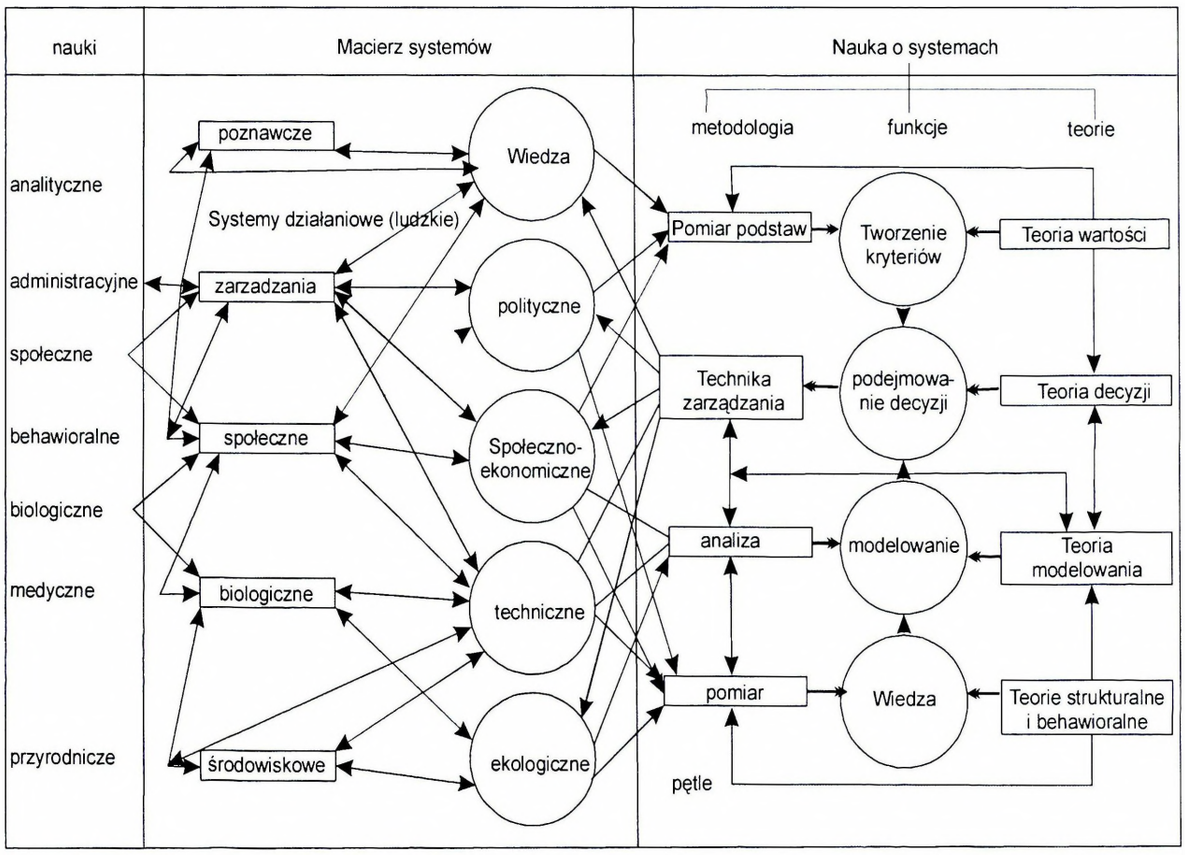
1.2. Struktura nauki o systemach

Zakładając, że można znaleźć zadowalające odpowiedzi na wymienione kwestie ontologiczne i epistemologiczne dotyczące systemu i nauki o systemach, cel takiej nauki można sformułować następująco;

1) rozszerzenie zakresu wiedzy o własnościach systemowych organizacji, tj. systemów, i podanie wyraźnej definicji tych własności;

2) wyraźne określenie metodologii i statusu nauki o systemach;

3) zastosowanie tej wiedzy i metodologii do doskonalenia systemów istniejących lub konstruowania lepszych systemów obejmujących zorganizowane grupy ludzi i ich działania.



Rys.1. Nauka i systemy

Sposób, w jaki można by zorganizować naukę o systemach, zilustrowano na rys., 1. Aby pokazać tradycyjne podziały nauki, podano z lewej strony wykaz głównych „rodzin" nauk. Ponieważ nauki umieszczone na jednym poziomie różnią się sposobem rozróżniania i klasyfikowania wiedzy, przeto nauka o systemach spełnia rolę filtru i przeklasyfikowuje niektóre obiekty na systemy. W wyniku tego procesu filtrowania można utworzyć macierz systemów. Układ pionowy tej macierzy odpowiada rosnącemu (antropocentrycznie) porządkowi w przyrodzie, układ zaś poziomy odpowiada warstwom systemowym, Kolumna lewa (w klatkach) obejmuje warstwę systemów pierwotnych pierwszego rzędu, które są wyraźniej powiązane ze swoimi naukami macierzystymi. Kolumna prawa (w kołach) obejmuje warstwę systemów drugiego rzędu utworzonych z grup systemów pierwotnych. Interesująca jest zwłaszcza klasa systemów oznaczonych jako systemy obejmujące zorganizowane grupy ludzi i ich działania.

Po prawej stronie rys.1 przedstawiono proponowaną strukturę nauki o systemach, pozwalającą na osiągnięcie jej celu. Funkcje tej nauki opisano w kolumnie środkowej (w kołach), a

mianowicie:

- umożliwienie uzyskania środków dla poprawnego i skutecznego modelowania zachowania się systemów;
- wspomaganie procesów podejmowania *decyzji* dotyczących projektowania, realizacji technicznej, sterowania, eksploatacji i doskonalenia systemów obejmujących działania ludzi, do czego niezbędne jest dostarczenie środków potrzebnych do sformułowania wszechstronnych *kry*teriów, obejmujących zarówno atrybuty techniczne, jak i etyczne.

Wymienione funkcje wywołują potrzebę ścisłego powiązania teorii z metodologią, jak podano w zestawieniu przytoczonym w tabl. 1. W ramach tej struktury występuje wiele procesów cyklicznych, zarówno w obrębie poszczególnych poziomów, jak i miedzy nimi. Do trzech głównych procesów tego typu należą:

1) Cykl opracowania teorii, w którym modelowanie (i sprawdzanie poprawności) odgrywa czynną rolę w procesie jej tworzenia,
2) Cykl sprawdzania poprawności konstrukcji modelowych,
3) Cykl doskonalenia systemu, w którym są opracowywane zasady {projekty) doskonalenia organizacji systemowych w świecie rzeczywistym.

Proponowana struktura nauki o systemach, przedstawiona na rys. 1 i w tab. 1, stawia ją poza kategorią klasycznych nauk statycznych analitycznych lub empirycznych - gdyż obejmuje ona oba poziomy analityczny i empiryczny - ponadto zaś jest ona instrumentalna, dynamiczna i normatywna, Z punktu widzenia ściśle pozytywistycznego poglądu na naukę jest to zbyt wiele, ale mieści się to zupełnie dobrze w ramach współczesnego poglądu na naukę, po wprowadzeniu przez Kuhna [1962] pojęcia nauki rewolucyjnej (w przeciwieństwie do nauki zwykłej) i opracowaniu strukturalnej dynamiki teorii [Sneed, 1971; Stegmiiller, 1976; Mattesich, 1978]. Nauka o systemach będzie miała postać empiryczną, gdyż dąży do utworzenia poprawnych i sprawdzalnych teorii dla wyjaśnienia struktur systemowych i wynikających z tych struktur zachowań. Staje się ona analityczna na poziomach wyższych niż modelowanie: jest instrumentalna, gdyż świadomie służy rozwiązywaniu problemów projektowania, tworzenia i sterowania systemów. Aspekt normatywny nauki o systemach występuje wraz z jej instrumentalnością, np. projektowanie systemu implikuje, że projektant przystępując do pracy ma pewien pogląd na to, co ten system ma osiągnąć.

Tablica 1

Teorie i metodologie naukowe w nauce o systemach

Poziom naukowy	Teoria	Metodologia
Empiryczny	Teoria strukturalna i behawioralna dla określonych typów systemów, np. technicznych, ekonomicznych, biologicznych, społecznych itp.	Miara dla określonych typów systemów. Identyfikowanie zmiennych systemowych i wskaźników. Teoria pomiaru, projektowanie eksperymentów, kwantyfikacja.
Analityczny	Teoria modelowania potrzebna do tworzenia poprawnych konstrukcji analitycznych dla organizacji systemowych. Sprawdzenie poprawności, testowanie, interpretowanie.	Analizy/badanie obserwowalnych organizacji w celu wyjaśnienia ich struktury systemowej.
Instrumentalny	Teoria decyzji wraz z teorią projektowania potrzebna do t worzenia poprawnych struktur teoretycznych, w ramach, których można na zrealizować koncepcje dotyczące strategii (projektowania) oraz prowadzić doświadczenia (z zastosowaniem modeli) w celu ich oceny.	Metodologie instrumentalne, np. inżynieria systemowa, badanie operacyjne, planowanie, za pomocą, których wybrana koncepcja lub usprawnienie może być zrealizowane.
Normatywny	Teoria wartości potrzebna do utworzenia aparatu pojęciowego, w ramach, którego dokonywana jest strukturalizacja elementów teleologicznych i deontologicznych, występujących w zachowaniu normatywnym, Tworzenie i sprawdzanie poprawności kryteriów wartości.	Metody ustalania (pomiaru) kontekstu wartościowego organizacji systemowej wewnątrz oraz zewnątrz takiej organizacji, np. ustalanie celów, analiza preferencji, pomiar postaw, analiza użyteczności. '
Holistyczny	'synteza wymienionych powyżej teorii w ramach Teorii Systemów w celu uogólnienia organizacji i systemowej.	Zespolenie wymienionych powyżej metodologii w metodologię ogólną dla analizy systemowej: „Ujęcie systemowe".

1.3. Wzajemny związek między nauką o systemach a holizmem

Poprzednie rozważania na temat systemów i nauki miały charakter oznajmiający: ograniczały się jedynie do stwierdzenia, że jeśli systemy są strukturami złożonymi oraz zachowują się dynamicznie i celowo, to nauce o systemach należy nadać taką strukturę, aby możliwe było generowanie przez nią odpowiednich teorii i metodologii na poziomie empirycznym, analitycznym, instrumentalnym i normatywnym. W przeciwnym wypadku pojmowanie systemów byłoby tylko częściowe i mogłoby może mieć, co najwyżej moc hipotez opisowych. (Argumenty uzasadniające ten pogląd zostaną podane w postaci szkicowej w dalszej części tego artykułu; jednak z braku

miejsca mogą to być tylko szkice). Układ warstwowy nauki o systemach pokazany w tabl. 1 ma ważne znaczenie, gdyż wysuwa na pierwszy plan rodzinę wzajemnie ze sobą powiązanych teorii i metodologii, które muszą być objęte nauką o systemach. Sposób ujęcia poziomu holistycznego będzie przypuszczalnie dwutorowy i eksperymentalny. Wstępna realizacja na poziomie holistycznym pociągnie za sobą rychłe pojawienie się trudności epistemologicznych i ontologicznych na skutek braku solidnej podstawy teoretycznej, co z kolei spowoduje przystąpienie do opracowania warstw wspomagających. Z drugiej strony systematyczne opracowywanie warstw teorii od dołu w górę wywoła potrzebę stworzenia teorii nadrzędnej dla nadania spójności poszczególnym teoriom. Będzie to proces cykliczny, zachodzący w miarę pogłębiania się procesu poznawania i pojmowania systemów.

A co można powiedzieć o tej tezie światopoglądu (Weltanschaung) badacza systemów, która głosi, że całość to więcej niż suma jej części? Stwierdzenie to ma swoją dawną tradycję filozoficzną i – *za pozwoleniem Poppera* – ma ono pewne znaczenie [M'Pherson, 1974]. Należy jednak przyznać, że do tej pory nie poświęcono należytej uwagi dokładnemu zbadaniu znaczenia tego artykułu wiary holistycznej. Nauka o systemach, przy rozważaniu tego zagadnienia będzie dążyć do ustalenia, na czym polega różnica między całością a jej częściami, jakie czynniki składają się na owo „więcej niż"? Jest jasne, że w świetle światopoglądu filozoficznego teza ta oznacza;

- antyredukcjonizm, albowiem wiedzy o strukturze i zachowaniu się całości nie osiąga się przez nauki szczegółowe (jest wątpliwe, czy nauka kartezjańska kiedykolwiek do tego pretendowała);
- określoną perspektywę normatywną, ponieważ: a) systemy mające pewną wewnętrzną zdolność poznawczą oczywiście dążą do zorganizowania swojego zachowania na poziomie koordynacji, który jest wyższy od poziomu ich części składowych; b) nauka sama w sobie jest procesem normatywnym o pewnej dynamice kulturowej i celu, na który mają wpływ określone wartości; c) „fakty" są obciążone wpływem teorii, nauka zaś jest pewnym zbiorem teorii, które są zarówno współzależne, jak też zależne od kontekstu i wymagające testowania raczej względem innych teorii niż względem rzeczywistości [Singer, 1924; Hansom 1958; Kuhn, 1962; Feyerabend,1975].

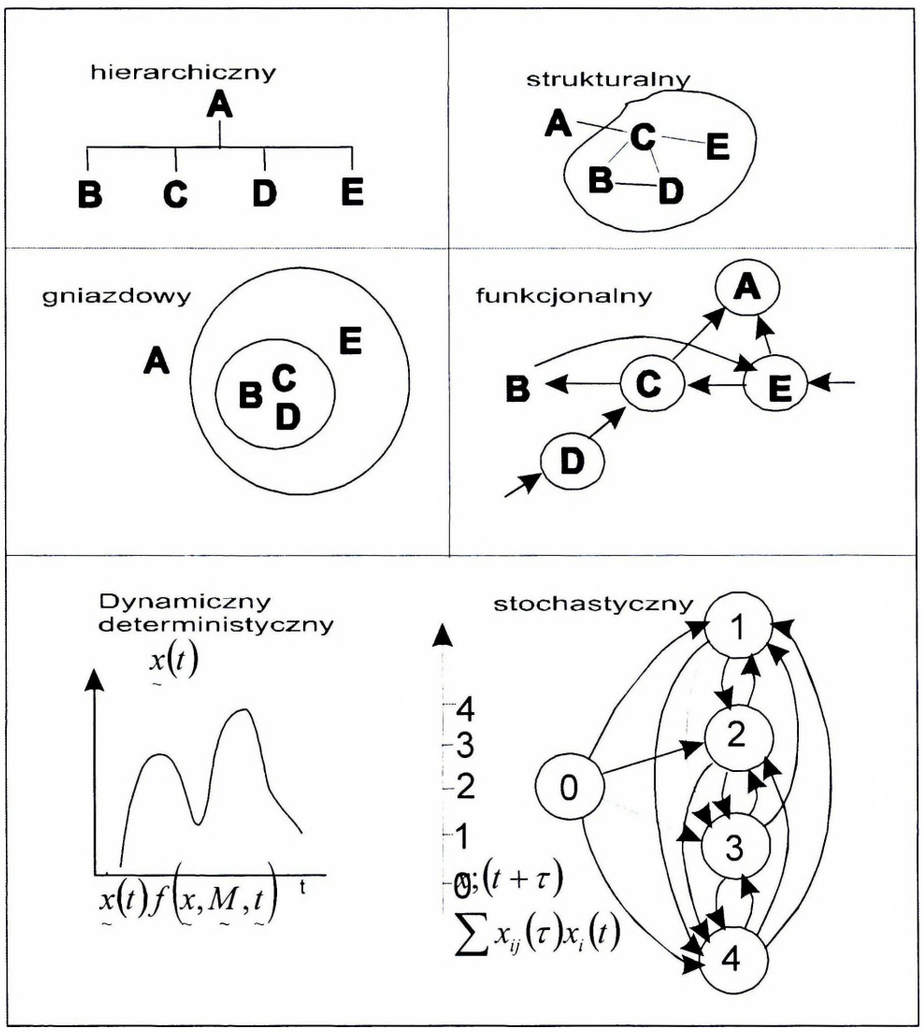
Człowiek zajmujący się nauką o systemach może uważać, że wspomniana dewiza holistyczna (całość to więcej niż suma jej części) nie jest jakąś prawdą samą w sobie, lecz raczej stanowi

wyraz zaskoczenia albo żalu, że systemy jako całości odznaczają się na ogół zachowaniem, które nie jest jakimś agregatem zachowań ich części. Oznacza to tylko tyle, że brak nam jest pełnej wiedzy i zdolności do przewidywania. Gdybyśmy dysponowali pełną i doskonałą wiedzą o Wszechświecie i o wszystkim, co on zawiera, to całość byłaby równa sumie jej części, albowiem wszystko byłoby znane (i byłby to świat nieciekawy). Do funkcji nauki natęży prowadzenie badań na kresach posiadanej wiedzy, aby uzyskać lepsze pojmowanie rzeczywistości i zmniejszyć zakres zaskoczenia. Nauka o systemach jest szczególnie przystosowana do wykonywania tych funkcji w kontekście holistycznym, ale w odróżnieniu od ogólnej teorii systemów przykłada dużą wagę przede wszystkim do naukowego uzasadnienia uzyskanej wiedzy, bez zgłaszania pretensji do wszechwiedzy i zdolności do unifikowania.

2. Pojmowanie systemów

2.1. Filtry do obserwowania struktur

Jak pokazano na rys. 2, istnieje pięć sposobów „patrzenia" na obiekty obserwowalne (pomijając artystyczny i mistyczny). Postać hierarchiczna, strukturalna i gniazdowa są oczywiste; postać funkcjonalna, przedstawiana jako wykres wpływów to dobrze znany schemat przepływów, sieć działań lub schemat organizacyjny: formy zaś dynamiczne są abstrakcyjnymi modelami zachowania, wymagającymi dokładnej znajomości funkcji i interakcji w badanym obiekcie. Model deterministyczny wymaga, aby na podstawie związków przyczynowych można było przewidzieć przyszły stan $X(t)$ będący odpowiedzią na sygnał wejściowy $M(t)$. Model stochastyczny może tylko przewidywać, jakie stany obiekt będzie mógł przyjmować w pewnym przyszłym czasie, gdy są dane prawdopodobieństwa przejść między stanami $\Pi ij(\tau)$. Postać modelu będzie zależała od tego, jakie stany są rozpoznawane, a także od przedziału próbkowania. Wszystkie te pięć postaci mogą mieć reprezentację werbalną, schematyczną i matematyczną. Jest oczywiste, że w miarę pogłębiania się treści informacyjnej w ramach wymienionych postaci, opisy werbalne staną się coraz bardziej zawiłe. Schematy mogą przekazywać znacznie więcej informacji, ale nawet one stają się nieodpowiednie dla modeli dynamicznych, jeśli nie są to modele powierzchowne. W rzeczywistości dokładne ustalenie zachowania się dynamicznego, wynikającego z wielu wzajemnie oddziaływujących na siebie obwodów, sprzężeń i cykli nie jest możliwe, jeśli nie dysponuje się modelami matematycznymi.



Rys. 2. Filtry do rozpoznawania systemów

Pięć wymienionych sposobów obserwacji obiektów może mieć zastosowanie do badania systemów. Można je uważać za filtry: jeśli badacz patrzy przez filtr *hierarchiczny,* zobaczy tylko hierarchie, w których związek między elementami wyraża się takimi zwrotami, jak,.ważniejszy niż", „należy do klasy..." itp.; przez filtr *strukturalny* zobacz; tylko „układy połączeń" między elementami, na przykład macierz interakcji lub sieć dróg. Filtr *gniazdowy* może być arbitralny, na przykład badacz może uważać za właściwe narysowanie granicy wokół zbioru [B, C, D], który, jak mu się wydaje, stanowi podzbiór w ramach szerszego pojęcia A. Filtr gniazdowy może też być wynikiem analitycznego porównania układu filtrów hierarchicznych i strukturalnych, biorąc zaś pod uwagę, że np. elementy B, C, D są ze sobą ściśle powiązane i tworzą grupę, przyjmuje się, że ta grupa jest wyraźnie podporządkowana pewnemu ogólnemu pojęciu A. Zastosowanie

analityczne filtru gniazdowego daje nową strukturę przez założenie istnienia podsystemów i poziomów. Filtr funkcjonalny też może być arbitralny lub może być kombinacją filtru hierarchicznego i strukturalnego, których elementy sprzężeń zwrotnych wprowadza się dodatkową strukturę wraz z pewnym zalążkiem hierarchii sterowania.

2.2 Podstawowy podział na struktury konceptualne i matematyczne

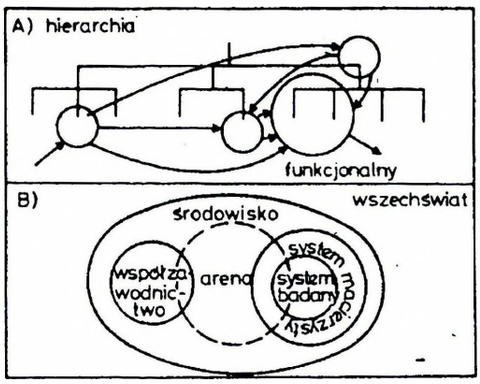
Opisane wyżej sposoby tworzenia struktur składają się na ich repertuar standardowy. Literatura poświęcona systemom obfituje w modele hierarchiczne i strukturalne; dobrze jest też opracowana koncepcja budowy gniazdowej. Wskażemy jednak, że istnieje pewien punkt nieciągłości w rozwoju strukturalnym na etapie, w którym strukturę funkcjonalną przekształca się za pomocą języka matematycznego w strukturę procesu. Aż do osiągnięcia tego etapu ujęcie ma charakter konceptualny i jakościowy; jest dostępne dla każdego, kto ma jasny umysł, potrafi sobie uzmysłowić strukturę (działanie) w postaci grafu i umie rysować schematy funkcjonalne. Zaczynając jednak od struktury procesu i na dalszych etapach swojej pracy badacz musi w pewnym stopniu znać matematyczną teorię systemów dynamicznych, gdyż matematyczna teoria systemów (MTS) może mu teraz dostarczyć środków potrzebnych do strukturalizacji. Znajduje tu wyraz wielki podział na „dwie kultury" w myśleniu systemowym, a mianowicie: humanistów i adeptów nauk ścisłych. W dodatku następuje on w sytuacji krytycznej, gdyż w modelowaniu punkt nieciągłości między „twardymi" (dającymi się wyraźnie zdefiniować) systemami technicznymi i fizjologicznymi, a „miękkimi" (trudnymi do zdefiniowania) systemami humanistycznymi, występuje też przy przejściu od modelowania konceptualnego do matematycznego. Jest to okoliczność bardzo niekorzystna, albowiem właśnie wtedy, gdy aparat analityczny staje się niezbędny do nadania ścisłej struktury systemom „miękkim", zaczyna zawodzić standardowy repertuar matematycznej teorii systemów, ponieważ: a) w naukach społecznych brak jest jakiejkolwiek teorii procesu; b) zmienne są trudne do skwantyfikowania; c) zachowanie systemów humanistycznych jest normatywne, obciążone przyjętym systemem wartości. Budowanie mostów dla przezwyciężenia tego podziału jest najeżone niebezpieczeństwami. Było zbyt wiele wypadów nadmiernie ufnej w swoje możliwości matematycznej analizy systemowej w sferę systemów administracyjnych i humanistycznych. Dały one powód (i słusznie) do chłoszczącej krytyki [Hoos, 1962; Berliński, 1976]. Rozmaitość wymiarów w systemach humanistycznych jest bardzo duża w porównaniu do stosun-

kowo prostych systemów technicznych, w których zmienne są nieliczne i dobrze określone. Są więc tacy, którzy uważają, że należy zaniechać prób wprowadzania strukturalizacji matematycznej do dziedziny systemów „miękkich", [Checkland, 1976, 1978]. Gdy pokłada się ufność tylko w modelowaniu konceptualnym „miękkich" systemów humanistycznych, kłopot polega na tym, że w najlepszym przypadku, nie może ono posunąć się dalej poza ujęcia raczej arbitralne (które często pozwalają uzyskiwać pożyteczne wyniki), ale w gorszym przypadku systemy takie, uwolnione od ścisłych ograniczeń nakładanych przez naukę, mogą schodzić na manowce ideologii [Lillienfeld, 1978].

Podział na systemy oraz ujęcia „twarde" i „miękkie" stanowi największe wyzwanie dla nauki o systemach. Systemy, w których uczestniczą ludzie, są osadzone w systemach środowiskowych, obejmują systemy społeczne, generują systemy wiedzy i przyczyniają się do powstawania systemów technicznych. Warunki ludzkiej egzystencji są wynikiem wzajemnego oddziaływania wielu takich systemów w następstwie działania ludzi. Uczonym, politykom, planistom i inżynierom potrzebne jest naukowe i wszechstronne zrozumienie człowieka i systemów, na które ma on wpływ, aby osiągnąć ich rzeczywiste usprawnienie. W przedstawionym tu stanowisku zakłada się, że wspomniany podział jest iluzoryczny i w zasadzie nie ma żadnego powodu, który wskazywałby na niemożliwość jego przezwyciężenia. Należy przypuszczać, że obecnie nie można jeszcze tego dokonać w sposób całkowicie zadowalający, ale wskażemy metody analityczne, które ostatnio pozwoliły uzyskać mocne oparcie w dziedzinach bardzo subiektywnych, mających związek z systemami humanistycznymi. Jest nadzieja, że wytrwałe badania doprowadzą do zatarcia różnicy między systemami „twardymi" i „miękkimi", pokażą, że istnieje continuum własności systemów o rosnącej złożoności oraz dostarczą teorii i metodologii, odpowiednich do poziomu ich złożoności.

2.3 Rozpoznawanie systemu

Patrzenie na świat obserwowalny przez wspomnianych pięć filtrów pozwala badaczowi na rozpoznanie faktu istnienia własności systemowych. Proces kombinowania i agregowania informacji może być trudny, gdyż filtry mogą wzajemnie na siebie oddziaływać w pewien zawiły sposób, np. informacja hierarchiczna z funkcjonalną, jak pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Niezgodność informacji hierarchicznej i funkcjonalnej

W tablicy 2 przytoczono wykaz własności systemowych, uporządkowanych według rosnącej złożoności względem obiektu badanego, Filtry hierarchiczne, strukturalne, gniazdowe i funkcjonalne dostarczają tylko informacji opisowej, podczas gdy filtr dynamiczny rozpoznaje elementy zachowania, jeśli one występują. Rozpoznawanie przez filtr gniazdowy zgrupowań i granic jest szczególnie ważne, ponieważ na podstawie takiej informacji można ustalić granicę między „systemem", a jego środowiskiem, a także zgrupowanie podsystemów w obrębie systemu. Gdy pewien system zostaje rozpoznany, oznacza się go jako (określony) systemem będący przedmiotem badań (SOI – System of Interest). Przyjmuje się, jako rzecz oczywistą, że wszystkie systemy w świecie obserwowalnym są w praktyce systemami otwartymi, wskutek czego często konieczne jest wydzielenie środowiska wokół badanego systemu (SOI). Standardowy układ-gniazdowy pokazano na rysunku 3B. System badany jest umiejscowiony w pewnym systemie macierzystym (np. osoba rodzina, system sterowania) zakład produkcyjny, zakład energetyczny (krajowa sieć energetyczna, gospodarka, kraj) i działa w obrębie pewnego obszaru operacyjnego, który może zawierać systemy z nim współzawodniczące. Obszar operacyjny jest pewnym podzbiorem środowiska dla systemu macierzystego. Granica zewnętrzna środowiska ustala też granicę szerszego systemu; jeśli problem na to pozwala, można przyjąć, że jest to granica zamknięta. Ustalenie, gdzie leży granica badanego systemu (SOI), jest kwestią definicji i poziomu badań, np. zainteresowanie może zawęzić się do pewnego podsystemu, wskutek czego system pierwotny staje się systemem macierzystym.

Tablica 2 proponuje ustalenie progów, od których poczynając przedmiot badań zostaje za-

kwalifikowany jako pewien obiekt typu szczególnego, czyli system. Próg systemowy wymaga, aby ten obiekt był dynamiczny i co najmniej zachowujący swój stan. Drugą skrajnością jest obiekt dynamiczny, który może znajdować się w wielu różnych stanach w sposób całkowicie losowy; który może znajdować się w wielu różnych-stanach w sposób całkowicie losowy; obiektu takiego nie można traktować jako systemu (generator liczb losowych traktowany jako czarna skrzynka zostałby zakwalifikowany jako pewnego rodzaju nieokreślony proces dynamiczny).

Tablica 2

Strukturalne i behawioralne własności systemów

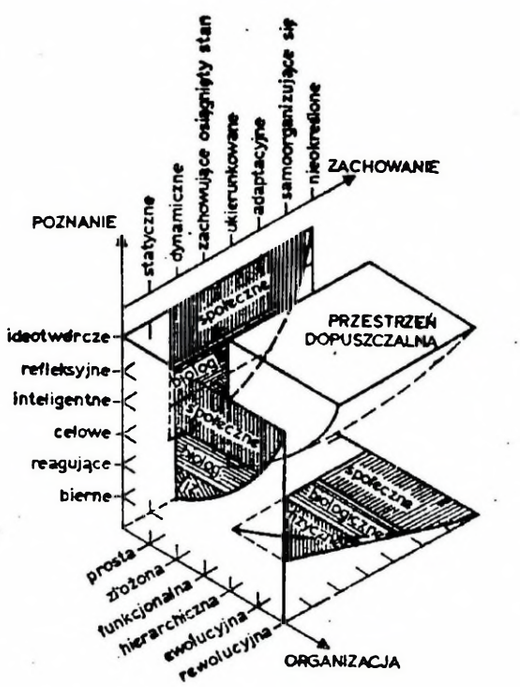
Filtr	Własność systemowa		Próg	
Behawioralny	Etyczny		Normatywny	Refleksyjny
	Ideotwórczy			
	Świadomy			
	Samoorganizujący się			
	Decyzyjny			
	Rozwiązujący problemy			
	Uczący się		Cybernetyczny	Poznawczy
	Adaptacyjny			
	Replikacyjny			Życie
	Zmierzający do celu			
	Zachowujący swój stan			
	Indeterministyczny			SYSTEM
Dynamiczny	Stochastyczny			
	Deterministyczny		Dynamiczny	
	Cykle			
	Przejścia			
	Stany			
Funkcjonalny	Zależność			Proces
	Transmisje			
Gniazdowy	Funkcja	*Złożony*		
	Granice		Opisowy	
	Zgrupowania			Mechanizm
Strukturalny	Pętle			
	Połączenia			
Hierarchiczny	Poziomy	Prosty		
	Elementy			

Proces dynamiczny jest, więc rozpoznawany jako system wtedy, gdy odznacza się on pewnymi charakterystykami zachowania celowego, których zrozumienie jest możliwe. Kontynuacja wykazu w tabl. 2 obejmuje własności systemowe w pewnym zakresie charakterystyk zachowania, w

których są wymagane coraz wyższe poziomy organizacji cybernetycznej i poznania. Tak więc, gdy zostaje zidentyfikowany obiekt, który może być systemem, wówczas potrzebny jest szósty filtr jako filtr behawioralny do zidentyfikowania klasy systemu. Systemy obejmujące działania ludzi, np. instytucje, działy gospodarki, gałęzie przemysłu, są usytuowane powyżej progu poznawczego: są normatywne i refleksyjne, gdyż na ogół dążą do ideałów i (dość często) odznaczają się samoświadomością.

2.4. Przestrzeń systemowa (taksonomiczna)

Chociaż tablica własności systemowych wprowadza pewien porządek do rozpoznawania systemów, to jednak nie jest ona wystarczająca, ponieważ może prowadzić do paradoksalnych klasyfikacji: np. rzeka może być uważana za system, gdyż jest (stochastycznie) dynamiczna i nastawiona na osiągnięcie celu, bo ma pewien ustalony „program" dla zminimalizowania swojej energii potencjalnej. Jednak jej tendencja do reorganizacji (zmiany biegu) podczas powodzi powoduje, iż należałoby ją zaliczyć do kategorii normatywnej (zgodnie z tabl. 2).



Rys. 4. Przestrzeń systemowa (taksonomiczna)

Potrzebna jest zatem większa rozdzielczość własności systemowych, aby uniknąć błędów animistycznych. Potrzebną rozdzielczość osiąga się przez zdanie sobie sprawy z tego, że wymienione w tabeli 2 kategorie behawioralne odnoszą się także do poziomu poznawczego. W ten sposób zostaje zdefiniowana taksonomiczna przestrzeń systemowa (rys.4) z uporządkowaniem własności systemowych wzdłuż trzech osi odpowiedniego do poziomu Organizacji, Zachowania i Poznania. Przybliżone związki między zmiennymi reprezentującymi te własności są oznaczone przez obszary zakreskowane na trzech płaszczyznach między wspomnianymi osiami. Ustalenie kategorii systemu następuje teraz zgodnie z jego usytuowaniem w przestrzeni systemowej: aby obiekt był systemem, musi on znajdować się w obrębie Przestrzeni Dopuszczalnej, której próg jest oznaczony przez własności (złożony, dynamiczny, reaktywny), i która sięga do pokazanej obwiedni; według poziomu poznania dzieli się ona na poziomy: Fizyczny, Biologiczny i Ludzki. (Rzekę można teraz zaklasyfikować jako system półewolucyjny, o reakcji kierunkowej). Wiele innych hierarchii klasyfikujących znajduje dogodne odwzorowanie w obszarach *przestrzeni systemowej* przedstawionej na rys. 4, np. hierarchie Klina, [1969]; Ackoffa, [1971]; Sutherlanda [1975]. Przestrzeń systemowa ilustruje cechy wyróżniające Nauki o Systemach: jest to jakaś mieszanka nauk technicznych, administracyjnych i biologicznych, powiązanych ze sobą i poszerzonych dla badania związków między strukturą, zachowaniem i inteligencją w dowolnej organizacji obserwowanej - naturalnej, biologicznej, społeczne lub technicznej. Inaczej mówiąc, jest to cybernetyka w obszernym pojmowaniu tego słowa.

2.5. Protosystem: podstawowa struktura systemowa

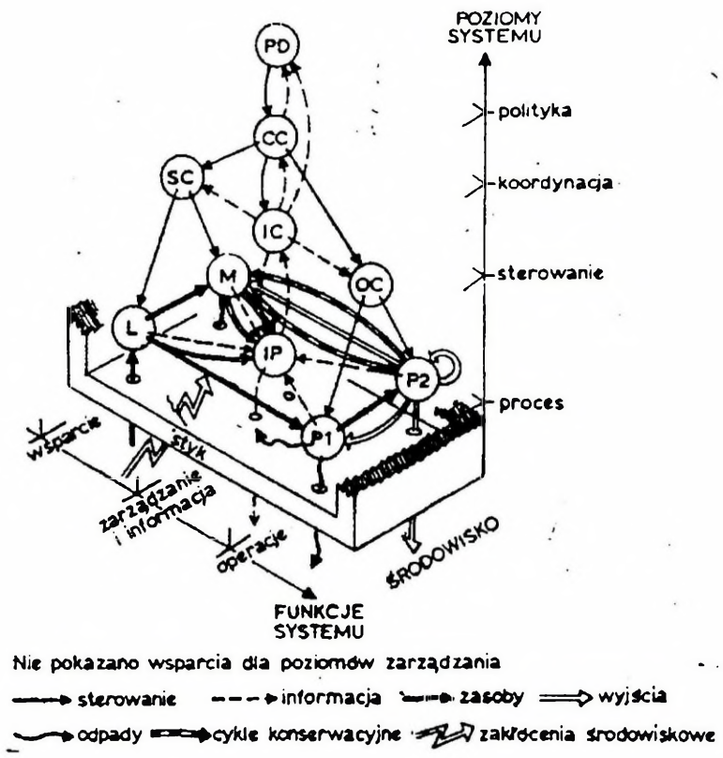
Badanie systemów biologicznych i systemów obejmujących działania ludzi nasuwa myśl, że system nastawiony na osiągnięcie celu (celowy), odznaczający się zdolnością do przetrwania w ciągu pewnego korzystnego okresu, musi mieć podstawową strukturę podobną do struktury przedstawionej na rys. 5. Nazwano ją protosystemem, ponieważ jest pewnym wzorcem lub prototypem dla wszystkich obiektów systemowych, które mają być zakwalifikowane jako systemy celowe, zdolne do przetrwania. Protosystem ma cztery zasadnicze podsystemy.

1. System operacyjny $\{P_1\ P_2\ ,...,P_j;\ ....,\ IP,\ IC;\ OC\}$ - procesy funkcjonalne (wraz z towarzyszącą informacją i pętlami sterowania); które wytwarzają użyteczny produkt wyjściowy. Często produkt ten zostaje częściowo zużytkowany w obrębie tego systemu (w postaci produktów po-

średnich), zanim wyjściowy produkt finalny zostanie skierowany do obszaru operacyjnego.

2. System zarządzania {PD, CC; IC} - dla kierowania procesami funkcjonalnymi i ich koordynacja (CC - Coordinational Control - sterowanie koordynacyjne) zgodnie z przyjętą polityką) strategią, dzięki którym system powinien osiągnąć swoje cele (PD - Policy Development Opracowanie polityki). System zarządzania musi być powiązany z systemem informacyjnym.

3. System informacyjny {IP, IC} - jest to główny rdzeń procesów informacyjnych, który zbiera informację o stanie procesów funkcjonalnych i otoczenia w celu jej przetwarzania i przesyłania do odpowiedniego poziomu hierarchii zarządzania i sterowania.



Rys. 5. Struktura dla protosystemu

Jednakże każdy system operacyjny, który wykonuje jakieś działanie, dostarcza pewnych wyrobów lub świadczy określone usługi, odznacza się tym, że: a) zużywa zasoby i energię, które muszą być uzupełniane; b) jego charakterystyki ulegają pogorszeniu na skutek zużycia, zepsucia lub uszkodzenia. Żaden istniejący na Ziemi system nie może uniknąć działania drugiego prawa termodynamiki. W związku z tym system zdolny do *przetrwania* potrzebuje pewnego podsystemu dla przeciwdziałania zużyciu zasobów i pogorszeniu jego charakterystyk pracy.

4. System wspomagający *{L, M; IP, IC; SC}* - gdzie L jest procesem logistycznym, który zajmuje się dostarczeniem zasobów z otoczenia, a M jest procesem konserwacji, który zajmuje się okresową konserwacją i naprawą jednostek operacyjnych (dla większej jasności na rys. 4 pokazano przepływ zasobów i cykle konserwacji tylko dla procesów funkcjonalnych P2 i procesów informacyjnych IP; wszystkie pozostałe procesy, w tym również proces zarządzania, powinny być powiązane z systemem informacyjnym).

Podstawowa struktura protosystemu pokazuje wszystkie deskryptywne własności systemowe (elementy, powiązania, pętle, poziomy, zgrupowania, granice, hierarchię, funkcje, transmisje i zależności), które zostały teraz zorganizowane dla uzyskania modelu dowolnego systemu operacyjnego, zdolnego do przetrwania. Model taki jest bardzo dobrze znany specjalistom techniki systemowej i dynamiki systemów biologicznych. Jest to system otwarty, przez którego granice prowadzą cztery drogi wejścia/wyjścia:

- wejścia/wyjścia dla zamierzonej lub pożądanej informacji oraz dla zasobów;
- wydzielanie do otoczenia odpadów i niepożądanych produktów wyjściowych;
- percepcji będących subiektywnymi wejściami informacyjnymi u ludzi - kierowników i operatorów - które mogą wpływać na sposób, w jaki oni reagują na otrzymywaną przez nich informację przetworzoną;

2.6. Systemy obejmujące zorganizowane grupy ludzi i ich działania

Zaliczanie instytucji obejmujących zorganizowane grupy ludzi (przedsiębiorstwa, zakłady przemysłowe, związki, korporacje, rządy) do systemów nie budzi większych kontrowersji, ale często powstają wątpliwości czy populację ludzi można traktować jako *system społeczny,* biorąc pod uwagę dużą różnorodność działań, opinii, wartości oraz konflikty wnoszone do grupy przez poszczególne jednostki. O wielkiej różnorodności, która cechuje tego rodzaju systemy, można wnioskować na podstawie rys. 4, na którym widoczny jest duży jego udział w przestrzeni dopuszczalnej, obejmujący obszar rozciągający się aż do granicznych własności klasyfikacji (rewolucyjny, nieokreślony, ideotwórczy).

Nasuwają się dwa pytania: 1) Czy zachowanie się grupy społecznej lub empirycznych, które mają na celu wykazanie jego wiarygodności jest całkowicie nieokreślone? 2) Czy grupa może stanowić pewien system, jeśli składa się z części, między którymi zachodzą konflikty?

Gdyby odpowiedź na pytanie 1 była twierdząca, nie istniałoby coś takiego, jak opinia publiczna, moda, rynek, trendy, większości, reklamujące się władze. Nauki społeczne i polityczne istnieją po to, żeby ustalać procesy zachowania się społeczeństw i instytucji, które na ogół działają w sposób spójny, gdy chodzi o zaspokojenie podstawowych potrzeb i ochronę przed zagrożeniami, ale które wykazują coraz większą rozbieżność w dążeniu do zaspokojenia mniej palących żądań. Na obecnym etapie siła predykcyjna teorii dotyczącej zachowania się grup ludzi jest może niewielka, wskutek czego zachowanie grup jest często zaskakujące, ale raczej w znaczeniu probabilistycznym (stochastycznym), a nie w znaczeniu całkowitej nieokreśloności: na pewno zawiera się w obrębie przestrzeni dopuszczalnej. Istnienie wewnętrznej rozbieżności opinii lub konfliktu nie burzy definicji systemu. Dwie lub więcej części, między którymi brak jest zgodności na skutek różnic w potrzebach, postawach, percepcjach, systemach wartości, mogą być traktowane jako podsystemy w systemie o *wielu celach konfliktowych.* Jeśli części czynnie uczestniczą w konflikcie, to można je traktować jako *systemy współzawodniczące* w danym otoczeniu (rys. 3B) i przedstawić przez odpowiedni model konfliktu politycznego, wojskowego lub rewolucyjnego. System jako całość jest odniesioną do społeczeństwa ludzkiego wersją bardzo dobrze znanego systemu ekologicznego - współzawodnictwa między gatunkami dla osiągnięcia równowagi w przyrodzie.

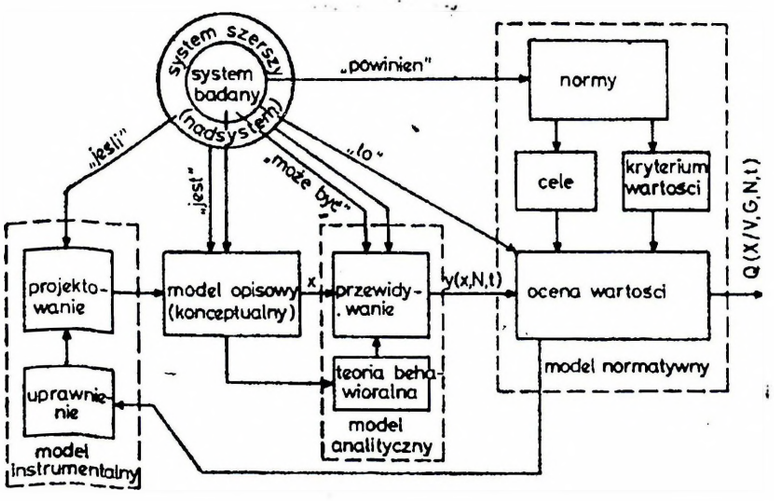
Społeczne i konfliktowe zachowanie się tych idealizujących i świadomych siebie systemów, stanowi ów trudny „kraniec górny" przestrzeni dopuszczalnej. Należy jednak pamiętać o tym, że systemy obejmujące zorganizowane grupy ludzi i ich działania zajmują się także projektowaniem, zarządzaniem i wykonywaniem funkcji o charakterze handlowym, przemysłowym i technicznym. Te tzw. twarde systemy istnieją na niższych poziomach przestrzeni dopuszczalnej, gdyż ujawniają tendencje wskazujące, że są funkcjonalne lub hierarchiczne, kierownicze, nastawione na osiągnięcie określonego celu lub inteligentne. Różnica między systemami „twardymi" i „miękkimi" polega więc jedynie na tym, że zajmują one różne obszary w obrębie dopuszczalnej przestrzeni systemowej. Nie ma tu nieciągłości: podstawowa struktura protosystemu zachowuje swą ważność, ale liczba zmiennych, z którymi się ma do czy pienia, znacznie wzrasta w miarę przesuwania się z miejsca zajmowanego przez system ku krańcom przestrzeni systemowej. Problem polega więc na tym: czy repertuar metodologiczny nauki o systemach (opracowany dla systemów „twardych") można rozszerzyć, aby nadawał się on do modelowania i analizy systemów obejmujących zorganizowane grupy ludzi i ich działanie, więc systemów znajdujących się na

górnym krańcu przestrzeni systemowej

3. Modelowanie systemów

3.1. Model procesu modelowania

Model w zastosowaniu do nauki stanowi narzędzie myślenia, przy czym prawdziwość modelu ustala się na podstawie testów analitycznych lub empirycznych, które mają na celu wykazanie jego wiarygodności (statystycznej) względem pewnych kryteriów obiektywnych. Jeżeli model nie został poddany pewnym niezależnym testom wiarygodności, może w najlepszym przypadku mieć moc hipotezy roboczej, w najgorszym zaś może być nieodstępowaniem od pewnego punktu widzenia. Opracowywanie modeli jest głównym i pracochłonnym zajęciem w procesie analizy systemów, gdyż ze względu na naturę systemów, ich badanie i prowadzenie doświadczeń może być zwykle wykonywane tylko na ich modelach. Jakość myślenia i analizy w odniesieniu do problemów systemowych w bardzo istotnym stopniu zależy od poprawności stosowanych modeli. Można wyróżnić cztery typy modeli, odpowiadające czterem poziomom nauki o systemach (rys. I). Typy te mają zwykle łączne zastosowanie i wspomagają trzy główne rodzaje działań systemowych:



Rys. 6. Związek między typami modeli

opracowanie teorii, opracowanie modelu i opracowanie systemu. Związek między typami modeli pokazano na rys. 6, przedstawiającym zwykłą kolejność badań i modelowania: analiza, synteza, badanie poprawności, przewidywanie i ocena. Jest prawie truizmem stwierdzenie, że proces ten jest bliski metodzie naukowej. Rysunek 6 przedstawia wspomniane trzy rodzaje działań systemowych, zakładając, że X, G, V są interpretowane w sposób następujący:

Działalność	**X**	**G(cele)**	**V(kryteria)`**
Opracowanie teorii	Hipoteza	Zbudowanie teorii	Analityczne/empiryczne
Opracowanie modelu	Model	Modelowanie	Sprawdzenie poprawności/weryfikacja
Opracowanie systemu	System badany	Zaprojektowanie systemu	Ideały (wzorce) charakterystyki pracy (osiągi)

Rysunek 6 pozwala zauważyć rzecz ciekawą, pokazuje bowiem, że modelowanie jest procesem normatywnym, gdyż łączy człony dychotomii JEST-POWINIEN: wskazana przyszłość (wyrażona w postaci celów G) POWINNA stać się rzeczywistością; JEŚLI zostanie wybrana wskazana koncepcja, (a tą koncepcją JEST X, jej zaś wynikami (przewidywanymi) dla pewnej przyszłej rzeczywistości N mogą być Y (X, N, t), TO wartość tej koncepcji w urzeczywistnieniu pewnego pożądanego stanu przyszłego będzie Q (X/V, G, N, t). Ten model normatywny nauki jest należycie uzasadniony (punkt 1.3) jednakże kryterium wartości V powinno się odwoływać co najmniej do niektórych norm, niezależnych od powodzenia koncepcji X w spełnieniu pożądanych celów operacyjnych: innymi słowy, cele operacyjne powinny być oceniane względem ich wartości jako celów odniesionych do ideałów wyższego poziomu. Nade wszystko badacz powinien unikać wprowadzania do modelu swoich własnych sądów moralnych i wartościujących. Nauka normatywna wymaga obiektywizmu konstruowaniu kryterium wartości.

Literatura przedmiotu zawiera mnóstwo opisów i definicji procesu modelowania odpowiednio do rodzaju metodologii systemowej (np. analizy systemowej, techniki systemowej, techniki sterowania, badań operacyjnych, analizy procesów decyzyjnych itp.). Jednak w tym artykule modelowanie traktowane jest jako pewien układ hierarchiczny. W tablicy 3 typy modeli są uporządkowane według poziomu naukowego: od konceptualnego przez analityczny i instrumentalny aż do normatywnego. Im wyższy poziom, tym trudniejszy i bardziej pracochłonny staje się pro-

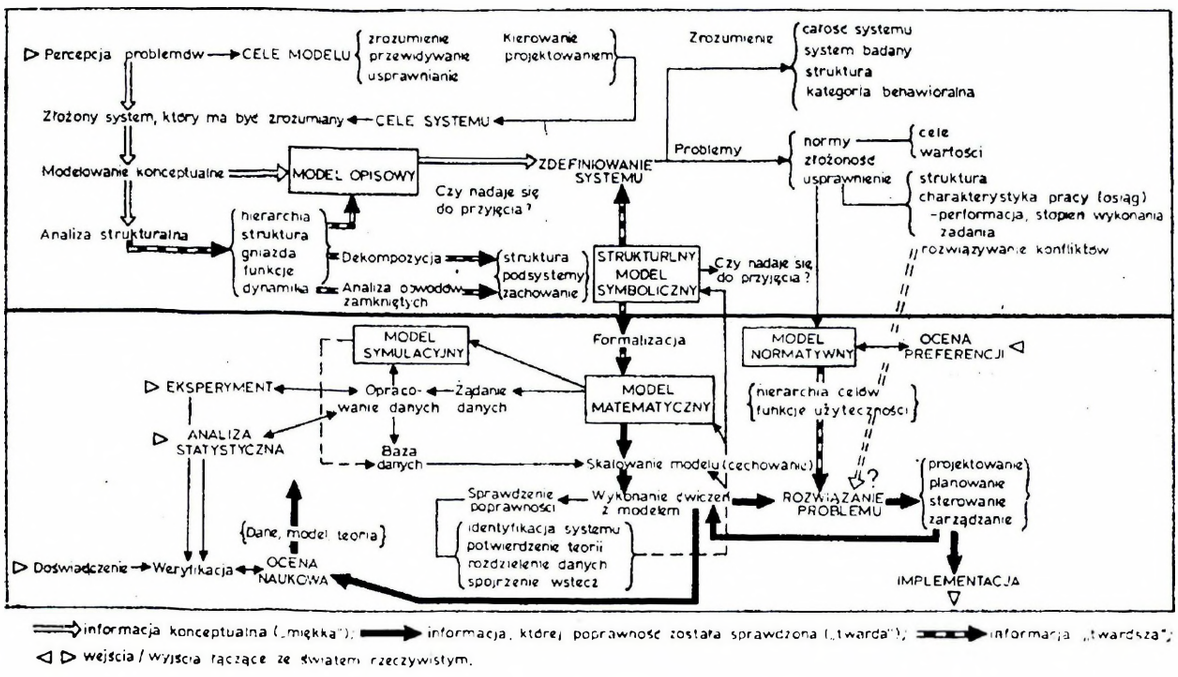
ces modelowania, tym bardziej zależy od teorii i empirycznego sprawdzania poprawności, ale tym większa jest jego moc wyjaśniająca i predykcyjna.

Całokształt procesu modelowania zastał przedstawiony w tabl. 4 w postaci sieci działań. Czytelnik może śledzić ten proces, zaczynając od górnego lewego rogu tablicy (percepcja problemów) do prawego dolnego (implementacja) i dolnej części środkowej (ocena. naukowa wartości

Tablica 3

Klasyfikacja procesu modelowania

Poziom Naukowy	Poziom modelu			Kategorie	Wsparcie Teoretyczne	Objaśnienie	Potrzeba Pomiaru	metodologia
Normatywny	Myślenie systemowe badania systemowe	Normatywny		Cele Wartości preferencje kryteria	Teoria Wartości	Naciski normatywne	Postawa użyteczności, psychometryczny	Analiza decyzyjna, metodologii projektowania
Instrumentalny		symboliczny	skwantyfikowany	parametry współczynniki opóźnienia związki	matematyczna teoria systemów (MTS), analiza matematyczna	Przewidywanie i wyjaśnianie	Statystyczny Doświadczalny	Technika systemów, Analiza stosowana systemów, badania operacyjne
Analityczny			sformalizowny	Zmienne Równania	Teoria systemów dynamicznych	Wnioskowania objaśniające i wyjaśnienie subiektywne	Łańcuch i ciągi przyczynowe oraz sekwencje	Technika sterowania, modelowanie matematyczne.
Konceptualny			graficzny	Elementy Połączenia Grafy	Teoria grafów, teoria związków przyczynowych	Intuicje		Modelowanie strukturalne.
		opisowy		Opisy modalności	Hipotezy behawioralne	Intuicje	obserwacje wnioski	argumentacja



3.2. Ograniczenia charakterystyczne dla modelowania konceptualnego i strukturalnego

W procesie modelowania występuje wyraźna przerwa między modelem symbolicznym o strukturze graficznej a modelem formalnym, matematycznym i skwantyfikowanym. Proces modelowania jest początkowo konceptualny i opisowy i pozostaje takim aż do uzyskania strukturalnego modelu symbolicznego (górna połowa tabl. 4). Następnie przyjmuje on doskonalszą postać szczegółowej sieci działań, opracowanej na podstawie analizy strukturalnej. Na tym etapie nie jest wymagane zastosowanie matematyki lub danych (oprócz pewnych reguł teorii grafów), niemniej uzyskuje się dobre zrozumienie systemu i związanych z nim problemów. Badacz znajdzie się jednak na grząskim gruncie, jeśli jego repertuar modelowania ograniczy się do tego poziomu, albowiem:

- Modele nie mogą być poddane ścisłemu testowaniu i sprawdzaniu ich poprawności. Są subiektywne, zależne od wyboru przez badacza sposobu „widzenia" problemu i definiowania systemu oraz od teorii, które zastosował, aby wnioskować o związkach przyczynowych w odniesieniu do modelu graficznego.
- Model graficzny, nawet jeśli jest oznakowany, nie jest skwantyfikwany. Na modelu ta-

kim dobrze jest pokazana struktura szczegółowa, a także pętle dynamiczne i ewentualnie problemy dynamiczne związane ze stabilnością i sterowaniem. Jednakże nie można wnioskować o zachowaniu się dynamicznym systemu, jeśli interakcje dynamiczne i opóźnienia pomiędzy elementami nie zostały skwantyfikowane na podstawie ścisłego modelu matematycznego.

- Bez skwantyfikowania i analizy matematycznej nie można rozwiązać wielu zawiłych problemów łączących się z projektowaniem, sterowaniem, planowaniem i zarządzaniem systemami obejmującymi zorganizowania grupy ludzi (w tym znaczeniu, iż można dowieść, że proponowane rozwiązanie jest najlepszym ze wszystkich możliwych wariantów rozwiązań).

Jeśli wymaga się czegoś więcej niż pojmowania intuicyjnego, to model należy udoskonalić i podnieść go do poziomu modelu matematycznego, który może być poddawany testowaniu.

3.3. Paradoks występujący w modelowaniu systemów ludzkich

Model matematyczny wymaga zastosowania teorii i to dobrej teorii procesu, na podstawie, której można by uzyskać równania: następnie zaś potrzeba solidnej i wystarczającej bazy danych dla kwantyfikowania związków wzajemnych i współczynników, Jednak nauki społeczne i polityczne nie dysponują tymi dwiema podstawowymi przesłankami do modelowania matematycznego. Istnieje mnóstwo teorii (a w rzeczywistości - hipotez), ale nie ma lub prawie nie ma zgody, co do tego, która teoria byłaby właściwa dla konkretnych przypadków. Ten sam problem zachowania może być dyskutowany i wyjaśniany w kategoriach socjologii, nauk politycznych, psychologii i ekonomii: wnioski mają jednako we pozory prawdopodobnych (ale częściowych) wyjaśnień, jednakże perspektywy i koncepcje są zwykle tak różne, że na podstawie części odpowiadających poszczególnym dyscyplinom nie jest możliwe złożenie ogólnego modelu całości. Również problemy pomiaru są zawiłe (pomijając liczenie ludzi lub głosów), ponieważ trudno jest zdefiniować wskaźniki subiektywne, które są zarówno mierzalne, jak i ortogonalne [Mitchell, 1977]

Systemy obejmujące zorganizowane grupy ludzi mają nadzwyczaj skomplikowaną strukturę z uwagi na ich dużą różnorodność i normatywność. Ponadto nie działają one w izolacji. Warunki egzystencji ludzkiej są w zasadzie uzależnione od wyników rzeczywistych i wyimaginowanych interakcji między systemem a jego środowiskiem kulturowym, ekonomicznym, technicznym i

naturalnym. Struktura modelu służącego do reprezentacji takiego systemu będzie bardzo złożona - wielofunkcjonalna, wielopoziomowa i wieloobwodowa, zachowanie zaś modelu będzie wynikiem parametrów normatywnych i dynamicznych zawartych w tej strukturze. Należyte zrozumienie takiego systemu, dające wystarczającą pewność potrzebną do opracowania problemów związanych z doskonaleniem struktury, zachowania i układów regulacji wymaga znacznego wysiłku skierowanego na złożone modelowanie matematyczne i dokonywanie obszernych analiz z zastosowaniem elektronicznych maszyn cyfrowych. Jednak:

- prawie zupełnie brak jest teorii i baz danych potrzebnych do opracowania i testowania zaawansowanych modeli matematycznych;
- wymagany zakres prac jest bliższy potrzebnemu na prowadzenie badań długofalowych i podstawowych, niż na zwykłe modelowanie, wykonywane przez inżynierów specjalizujących się w teorii systemów lub teorii sterowania; trudno jest więc uzyskać szybkie wykonanie modeli dla analizy palących problemów współczesności (jeśli nie dokonuje się tylu zabiegów upraszczających, że stawiają one pod znakiem zapytania poprawność modeli);
- potrzeba zrównoważenia, z jednej strony, realizmu z dokładnością, z drugiej zaś - poziomu opracowania z wymaganym nakładem pracy da z pewnością taki rezultat, że będą to modele kosztowne, natomiast ich efektywność będzie raczej mała. W każdym bądź razie odnosi się to do stanu istniejącego.

Jakie są więc niekorzystne strony małych modeli? Potrzeba dużej odwagi (lub ignorancji), aby mówić z przekonaniem o wiarygodności prostego modelu, gdy nie dysponuje się dużymi modelami z powodu braku uzgodnionej teorii. Brak teorii dotyczy również modelu prostego. W takich okolicznościach prosty model należy widzieć we właściwym świetle, jako model bardzo wybiórczy, oparty na wiedzy częściowej i na arbitralnym wyborze zmiennych: analiza regresyjna nie może spełniać roli substytutu teorii procesu. Prosty model o kilku zmiennych może nasuwać wniosek, że pozostały liczny zbiór zmiennych ma wpływ pomijamy, albo że ma on status naukowy, powiedzmy, prawa fizyki. W pierwszym przypadku przyjęcie takiego założenia jest niebezpieczne, jeśli nie można go udowodnić, w drugim zaś przypadku naukom społecznym zostaje nadany status, do którego nie są nawet zbliżane.

W opisanych tu systemach zachodzi więc następujący paradoks:

- modele konceptualne i graficzne na pewno pozwalają na zrozumienie, ułatwiają intuicję

i wyjaśnianie, ale są arbitralne i nie można ich zastosować do rozwiązywania problemów;

- rozwinięte modele matematyczne potrzebne do pełnego opracowania analitycznego są prawie nieosiągalne z powodu braku w naukach społecznych uzgodnionej teorii procesu oraz w związku z trudnością znalezienia odpowiednich metod postępowania z występującą w tych systemach złożonością i subiektywnością;
- natomiast proste modele konceptualne, których poprawność nie została udowodniona, nie są wystarczające ani do uzyskania należytego zrozumienia ani też do rozstrzygania problemów związanych z doskonaleniem, projektowaniem i planowaniem systemów.

Nie znaczy to jednak, że należy się poddać pesymizmowi. W ciągu ostatnich kilku lat granice modelowania matematycznego rozszerzyły się na niektóre ważne dziedziny modelowania systemów, obejmujących zorganizowane grupy ludzkie. Dotyczy to zwłaszcza problemów wynikających z niezbyt wyraźnego określenia tych systemów i występującej w nich znacznej subiektywności; teorii wartości wieloatrybutowej, podejmowania decyzji wielocelowych i konfliktu politycznego [np. Baldwin, 1975; Keeney, 1976; Mitchell, 1978; Noton 1974; M'Pherson, 1979].

3. Nauka o systemach: odpowiedź na kwestie epistemologiczne

Badania naukowe protosystemów wymagają istnienia pięciu składników:

1. taksonomii własności i modeli protosystemów;
2. metodologii modelowania, która sprowadza model do rzeczywistości, a nie przeciwnie, rzeczywistość do modelu, i następnie sprawdza poprawność tego modelu;
3. teorii sprawdzalnej, umożliwiającej analizowanie i przewidywanie dynamiki i zachowania się systemu;
4. metodologii zastosowań teorii, w celu ułatwienia sprawnego projektowania i organizacji systemów rzeczywistych;
5. analizy epistemologicznej dla zdefiniowania aksjomatów, metodologii i statusu nauki o systemach oraz ustalenia jej związków z innymi naukami.

Powinno być możliwe prowadzenie tych badań naukowych na poziomie empirycznym, analitycznym, instrumentalnym, normatywnym i holistycznym. Należy rozwikłać różne wątki w analizie systemowej, technice systemowej, teorii planowania i organizacji, prakseologii, cybernety-

ce, matematycznej i ogólnej teorii systemów, aby określić treść nauki o systemach, która ma spójną Teorię (p. 1, 3), Metodologię (p. 2, 4), i Epistemologię (p. 5) i trzeba dokonać strukturalizacji tej nauki.

Gdy naukę o systemach porównuje się z innymi naukami, wówczas okazuje się, że ma ona pewne zadanie szczególne; obejmuje teorię i metodologię organizacji o bardzo złożonych strukturach i zachowaniu. Jej dziedzina badania świata rzeczywistego obejmuje systemy naturalne, biologiczne i systemy obejmujące zorganizowane grupy ludzi i ich działania, ale granica między nauką o systemach a nauką dotyczącą pewnej konkretnej dziedziny jest zawsze wyraźnie ustalona (pozwalając na ich pożyteczne wzajemne oddziaływanie). Korzystne jest raczej utrzymywanie takiej wyraźnej granicy, niż przedstawianie sobie, że nauka o systemach może stać się metateorią służącą do unifikacji całokształtu nauki. Różnica między systemem „twardym" a „miękkim" znika w ramach rozważań: 1) o równowadze czynników empirycznych i analitycznych, na której są oparte odnośne modele; 2) o równowadze czynników obiektywnych i subiektywnych w strukturze systemów i na poziomie normatywnym. Niezbędna struktura dla teorii systemów jest już należycie opracowana w ramach matematycznej teorii systemów. Dotyczy to strony empirycznej i obiektywnej, przy czym następuje jej stopniowe rozszerzanie, aby mogła objąć trudne problemy strony analitycznej i subiektywnej. Opracowanie i udostępnienie wszechstronnej teorii systemów jest już tylko kwestią czasu.

Z języka angielskiego przełożył J. Berman

Bibliografia

1. A c k o f f R. L.: Toward a System of System Concepts. "Management Science", 1971 nr 17, s. 661-671.
2. B a l d w i n M. M.: Portraits of Complexity: Applications of System Methodologies to Societal Problems. Columbus, Ohio 1975 Batelle Memorial Institute.
3. B e r l i n s k i D.: On Systems Analysis. Cambridge, Mass. 1976 MIT Press.
4. C h e c k l a n d P. B.: Science and the Systems Paradigm. "International Journal of General Systems" 1976 nr 3(2).
5. C h e c k l a n d P. B.: The Origins and Nature of `Hord' Systems Thirking. "Journal of Applied Systems Analysis" 1978, nr 5(2), s. 99-110.
6. F e y e r a b e n d P. K.: Against Method. London 1975 New Left Books.

7. H a n s o n N. R.: Patterns of Discovery. Cambridge 1958 Cambridge University Press.
8. H o n s I. R.: Systems Analysis in Public Policy. Berkeley 1962 University of Califorr_ia Press.
9. K e e n e y R. L., R a i f f a H.: Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Va1ue Tradeoffs. New York 1976 Wiley.
10. K l I r G.J.:An Approach to General Systems Theory. New York 1969 Van Norstrand Reinhold.
11. K u h n T.S.: The Structure of Systems Theory. New York 1978 Wily.
12. L i 11 i e n f e 1 d R.: The Rise of Systems Theory. New York 1978 Wiley.
13. M'P h e r s o n P. K.: A Perspective on Systems Science and Systems Phi1osophy. "Futures" June 1974, s. 219-239.
14. M'P h e r s o n P. K.: The Design of Multidimensional Value Criteria for Use in Decision, Design and Technology. London 1979. Department of Systems Science, The City University, DSS/PKJ187.
15. M a t e s s i c h R.: Instrumental Reasoning and Systems Methodology. Dordrecht 1978 Reidel.
16. M i t c h e 11 C. R., W e b b K.: The Use of Dynamic Modelling in Analysing Comunnal Conflict. London 1977 Department of Systems Science, The City University of London, DSS/CRNI/KW/130.
17. M i t c h e 11 C. R.: Systems Theory and International Relations. W: G r o o m a. J. R., M i t c h e 11 C. R. [Eds.]: International Relations Theory: a Bibliography. London 1978 Frances Pinter.
18. N o t o n M., M i t c h e 11 C. R., J a n e s F, R.: The Systems Analysis of Conflict. `"Futures" April 1974, s, 119-132.
19. S i r. g e r E. A.: Mind as Behaviour: Studies in Empirical Idealism, Columbus 1924 R. C. Adams and Co.
20. S n e e d .1. D.: The Logical Structure of Mathematical Physics. Dordrecht 1971 Reidel
21. S t e g m u 11 e r W.: The Structure and Dynamics of Theories. New York 1976 Springer-Verlag.
22. S u t h e r 1 a n d J. W.: Systems Analysis, Administration and Architecture. New York 1975 Van Nostrand Reinhold.

ZAŁĄCZNIK 5

NAUKOZNAWSTWA
4 (40), 1974

P. K. M'Pherson (Wielka Brytania)

Nauka o systemach i filozofia systemów

ZAGADNIENIA
NAUKOZNAWSTWA
4 (40), 1974

P. K. M'Pherson (Wielka Brytania)

Nauka o systemach i filozofia systemów*

W pracy tej rozpatrzono z perspektywy filozoficznej naukę o systemach i filozofię systemów oraz przedstawiono kompleksowy, acz osobisty, pogląd na koncepcje reprezentowane przez współczesny nurt systemowy. Podjęto próbę określenia racji bytu obu tych dyscyplin przez rozpatrzenie pewnych uwag krytycznych dotyczących paradygmatu systemowego, zwłaszcza zaś krytyki poglądów holistycznych, której autorem jest Sir Karl Popper. W toku przedstawionych rozważań wykazano, że namiętności rozbudzone wokół redukcjonizmu i holizmu wynikają w pewnej mierze z pomieszania pojęć i przedstawiono pogląd, że teorie i metody stosowane w nauce o systemach i filozofii systemów pozwalają na pogodzenie redukcjonizmu i holizmu i na ich zadowalające skojarzenie.

Początki myśli holistycznej

Człowiek ad dawna zwykł zastanawiać się nad istotą Przyrody i swego właściwego stosunku do niej oraz nad związkami istniejącymi w obrębie Przyrody. Jest to przedmiot filozofii, natomiast nauka próbowała znaleźć zadawalające objaśnienia dla tego, co jest przedmiotem naszego postrzegania. Człowiekowi pierwotnemu przypuszczalnie łatwiej było skonstruować użyteczny dla niego model świata, w którym żył, albowiem nie przeszkadzały mu ani wielka wiedza, ani rozległa władza.

Człowiek tkwił w przyrodzie, był jej składnikiem na równi z ptakami i zwierzętami, wiatrem i wodą, duchami i chochlikami. Pozbawiony arogancji, zdający sobie sprawę z tego, że nie jest w stanie decydować o swoim losie - żył w zgodzie z przyrodą i tworzył kultury, wierzenia i zakazy, które odpowiadały dokładnie całokształtowi jego doświadczeń.

Livesey w pięknych sławach opisuje swą młodość spędzaną na samotnym rancho w górach Colorado. Pisze, że w takiej oprawie człowiek nie czuje się istotą wyodrębnioną ze

swego otoczenia ani istotą wyższą czy też zdobywcą wszelkich tzw. systemów niższego rzędu. Aby przetrwać, ż y j e w z g o d z i e z roślinami, rybami, ptakami, zwierzęta mi i potężnymi żywiołami wiatru, deszczu, ognia, śniegu, żaru słonecznego i innymi zjawiskami geologicznymi i klimatycznymi, dzięki którym jego istnienie staje się możliwe. Ma uczucie bliskości z przyrodą i szacunku dla niej. Nadaje ono pewien specyficzny odcień kulturze Siuksów i Nawojów oraz innych plemion indiańskich. W ich kulturach istnieją ludy pełzające, stojące, latające, pływające, a także siły powietrza, wody, gleby i ognia - wszystkie należą do rad rządzących. Indianie wiedzieli, że gdy człowiek spróbuje oderwać się od przyrody, inne jej systemy potrafią przedłożyć mu żądania nie do spełnienia [1].

Wychodząc z tych czarujących, animistycznych i teologicznych koncepcji, byłoby rzeczą zupełnie właściwą sięgnąć do formalnej podstaw filozoficznej holizmu, jaką jest filozofia klasyczna Greków. Jednym z ich ideałów była *„ciągła obserwacja życia, spojrzenie na nie jako na całość".* Spojrzenie całościowe nadawało specyficzny odcień ich postawy intelektualnej, której przykładem jest postawa Arystotelesa uprawiającego filozofię, biologię, nauki polityczne, nauki fizyczne i pedagogiczne. Szerokość i głębokość jego wizji oraz jego nauki dotyczące wszystkich dziedzin przyrody tworzą model myślenia systemowego również dla nas, uczestników ruchu systemowego[1]

W rzeczywistości, jego doktryna teologiczna, w myśl, której struktur i funkcja mają związek z celem ostatecznym i cel ten musi być zrozumiany, jeśli chce się pojąć rozwój organizmu, ma do tej pory- więcej zwolenników reprezentujących ważne kierunki myśli filozoficznej i naukowej. Według Sokratesa człowiek wykształcony powinien umieć rozróżniać istotne związki między rozmaitymi ogniwami poznania: *„po szczególne nauki należy rozpatrywać łącznie, aby można było wyrobi sobie pogląd na ich wzajemne związki, a także na ich związek z rzeczywistością"[2].* Są to idee, które oświecały umysły wielkich humanistycznych wychowawców i stały się obecnie znów aktualne po stosunkowi niedługim okresie zaabsorbowania nadmierną specjalizacją.

Współczesna potrzeba zunifikowanej struktury wiedzy

Przydatność poglądów holistycznych stopniowo malała w miarę rozszerzania się wiedzy

---

* Jest to tekst wykładu wygłoszonego w Towarzystwie dla Badania Systemów Ogólnych (Society for General Systems Research) w Londynie dnia 30 X 1973 s.

[1] Termin „ruch systemowy" został użyty tu w szerokim znaczeniu, obejmującym wszelkie kierunki myśli i działalności systemowej, co pozwala uniknąć posługiwania się takimi terminami, jak: „ujecie systemowe, „analiza systemów", „teoria systemów, które mają różne znaczenia dla rozmaitych ludzi i same pilnie wymagają precyzyjnego określenia.

człowieka o sobie i przyrodzie. Ciągły postęp i na gromadzenie wiedzy nieuchronnie pociągały za sobą specjalizację. Przyjęto zasadę, że uczeni powinni koncentrować się na dokładnym i wszechstronnym poznaniu, co najwyżej kilku dyscyplin. Stało się rzeczą zupełnie jasną, iż nie jest możliwe ogarnięcie przez człowieka całokształtu wiedzy. Każda dyscyplina tworzyła swój własny model rzeczywistości, który jak ameba, ulegał z kolei dalszemu podziałowi na coraz węższe poddziedziny. Spuścizną takiej specjalizacji jest stan obecny, który charakteryzuje wąsko wyspecjalizowane nauczanie i prawie nieprzeniknione bariery wokół poszczególnych dziedzin wiedzy.

Należy jednak uznać za rzecz bezsporną, że specjalizacja nauki ogromnie wzbogaciła wiedzę ludzką, pozwoliła głębiej wniknąć w procesy zachodzące w przyrodzie oraz przyczyniła się do znacznego zwiększenia możliwości w dziedzinach wytwarzania przedmiotów i leczenia chorób. To olbrzymie bogactwo wiedzy niewiele jednak wniosło do zrozumienia świata jako całości. Ogromna różnorodność technik i żargonów utrudniała złożenie całości z tej zagadkowej składanki.

Optymizm naukowy XVIII i XIX w. oraz sztuczne środowisko, jakie wzniósł wokół siebie *homo faber,* nie pozwalają uniknąć troski o przyrodę. Człowiek pozostaje nadal jej częścią i jeśli chce przetrwać, mus żyć z nią w zgodzie, zupełnie tak samo jak jego pierwotni przodkowie.

Mimo iż poznanie i środki znajdujące się obecnie w dyspozycji człowieka są znacznie skuteczniejsze, problem ten nie utracił na ostrości, albowiem jego zakres uległ znacznemu rozszerzeniu. Człowiekowi jest teraz potrzebny model całościowy, aby móc do niego dostosować nie tylko swą gospodarkę o powiązaniach światowych i zindustrializowane społeczeństwa, ale również po to, aby umożliwić planowanie swych przedsięwzięć w ramach ograniczeń, jakie narzucają możliwości tolerancji przez przyrodę. To, że jej żądań nie da się już pominąć, jest teraz rzeczą całkiem oczywistą.

Z zasady głoszącej, że „świat jest uporządkowany jako całość", można wyciągnąć wniosek, „że świat można poznać przez badanie jego części i związków między nimi", lub, że „całość to więcej niż suma jej czyści i badanie całości ma swoją rację bytu". Na tym polega linia podziału między naukowym redukcjonizmem a holistyczną metafizyką. Spór jest często zaciekły, ale chyba dlatego, że żadna ze stron nie jest skłonna uznać słuszności któregokolwiek spośród argumentów strony przeciwnej. Należy jednak unikać niepotrzebnego zacietrzewienia, albowiem ruch systemowy, jeśli ma do czegoś doprowadzić, musi znaleźć sposób na pogodzenie redukcjonizmu z holizmem.

Celem, który postawiłem sobie w tym artykule, jest prześledzenie, w bardzo wielkim

skrócie, rozwoju myśli holistycznej i ruchu systemowego oraz pokazanie, że w rzeczywistości łączy on w sobie z powodzeniem obie koncepcje pochodzące z diametralnie przeciwstawnych tradycji filozoficznych - holizmu i pozytywizmu.

Nauka i filozofia

Musimy sobie wyrobić jasny pogląd na istotę nauki (a w rzeczywistości również filozofii), jeśli chcemy poddać badaniu istnienie nauki o systemach i filozofii systemów oraz sformułować odpowiednie definicje. *„Celem nauki jest znajdowanie zadowalających objaśnień dla wszystkiego, co uznajemy za wymagające objaśnienia [...] objaśnienie najbardziej zadowalające będzie takie, które zostało poddane najostrzejszym próbom i było najczęściej sprawdzane"* [4]. W nauce kładzie się mocny nacisk na określenie istoty badań, za pomocą, których można sprawdzić słuszność hipotezy.

Metodzie doświadczalnej ustanowionej przez naukowców trudno byłaby coś zarzucić w granicach określonych przez dokładność pomiarów i zasadę niepewności. Na tej podstawie, która umożliwia sprawdzanie poprawności, uzyskano teorie sprawiające wrażenie zupełnie dobrych oczywiście, aż do chwili pojawienia się nowej hipotezy powodującej, że zjawiska ukazują się nam w nowym świetle. Sama nauka nie jest jedna: metodą dokonywania doświadczeń, lecz jest szczególnym rodzajem rozumowania, którego poprawność daje się sprawdzić przez obserwację faktów.

W matematyce i logice prowadzimy eksperymenty myślowe, polegając na ostatecznym sprawdzeniu ich przez logikę, orzekającą o tym, co jest rozsądne, a ca absurdalne, co prawdziwe, a co fałszywe (ale i tu nie ma żadnego bezwzględnego sprawdzianu - jeśli bowiem nauka ma zasadę niepewności Heisenberga, to matematyka ma również swoją zasadę nierozstrzygalności Gödela). Matematykę i logikę można, więc zaszeregować do dyscyplin naukowych i uważać je za filozofię nauk doświadczalnych, ponieważ ich argumenty można poddawać badaniu według ścisłych zasad. Natomiast filozofia, lub raczej to, co z niej zostało, mianowicie: epistemologia, metafizyka, etyka i estetyka, mogą snuć rozważania o znaczeniu lub naturze postrzegania - czy jest to postrzeganie rzeczywiste, czy oderwane. Ale rozważania te mogą jedynie odwoływać się do rozumu i uzasadniające je argumenty mogą spotykać się z uznaniem lub mogą być odrzucane, ale nie można ich nigdy dowieść w taki sposób, jak dowodzi się prawdziwości twierdzenia naukowego. Nie powinniśmy zajmować sztywnej postawy logiczno-pozytywistycznej i utrzymywać, że filozofia jest nieco lepsza od mistycyzmu. Filozofowie, bowiem mają uprawę w stawianiu kłopotliwych pytań o znaczeniu,

poznaniu i wartości. Przekonamy się, że są to ważne zagadnienia zarówno dla nauki o systemach, jak i dla filozofii systemów.

Pewna taksonomia systemów

Czym są systemy, które mogą stać się przedmiotem nauki i filozofii?

Słowo „system" ma w języku angielskim (podobnie jak wiele innych słów) pokaźną liczbę różnych znaczeń. Można go użyć w znaczeniu metody - „system cioci Mary zaparzania herbaty "; w znaczeniu klasyfikacji geologicznej - „system mezozoiczny"; w znaczeniu doktryny -„system kalwinistyczny"; w znaczeniu sposobu rozumowania - „system logiki" itd., aż docieramy coraz bliżej celu - do znaczenia zbioru powiązanych z sobą przedmiotów traktowanego jako jedna całość. Musimy, rzecz jasna, wyrażać swe myśli z większą precyzją, więc bez dalszego rozwodzenia się przejdę bezpośrednio do wskazania znaczenia, jakie w języku niemieckim; dogodnym do filozofowania, ma słowo *Gestalt* (postać). Uważam, że słowo „system", gdy używa się je w ruchu systemowym, ma właśnie znaczenie słowa *Gestalt.* Słowo *Gestalt w zna*czeniu potocznym oznacza postać lub strukturę całości, ale jako termin filozoficzny obejmuje wszystkie implikacje pojęcia całości, która jest większa od sumy jej części. Części, dzięki ich -wzajemnym związkom w ramach całości, nabywają cech systemowych. Zobaczymy później, że koncepcje związane z wyobrażeniem całości mają długą i ciągłą tradycję w filozofii. Zdanie, że *„całość to więcej niż suma ich części"*, przypisuje się Arystotelesowi; koncepcja ta przewija się przez poglądy reprezentantów heglowskiej szkoły filozofii idealistycznej; można ją również znaleźć w filozofii procesów A. N. Whiteheada, obecnie zaś w filozofii systemów. Dwa słowa, których chciałbym użyć do oznaczenia pojęcia całości, to:

a) system - obiekt, który jest całością w znaczeniu słowa *Gestalt;*
b) holizm - doktryna filozoficzna oparta na koncepcji całości.

Laszlo [5j]określa system w kategoriach czterech cech charakterystycznych:

1. Własość stanu systemowego - spójność strukturalna prowadząca do uporządkowania całości, o czym mówi się dalej w sposób bardziej szczegółowy.
2. Cybernetyka systemu-I - adaptacyjna samoregulacja jako reakcja na bodźce zewnętrzne, powodująca, że systemy wykazują tendencję powrotu do określonych stanów ustalonych. Cecha ta dotyczy więc stabilności systemu w postaci, w jakiej rozpatruje się ją w teorii stabilności dynamicznej.
3. Cybernetyka systemu II - adaptacyjna samoorganizacja jako reakcja na bodźce

zewnętrzne, powodująca, że systemy nie tylko wracają do poprzednich stanów ustalanych; ale tworzą drogą reorganizacji nowe stany ustalone, które są bardziej odporne na zmiany. Laszlo korzysta tu w znacznym stopniu z teorii systemów samoorganizujących się opracowanej przez Ross Ashby'ego [6]. Należy wyraźnie rozróżniać systemy żywe, (które zdają się wykazywać taką tendencję) i systemy techniczne tworzone przez człowieka, w których preferuje się stan równowagi - zazwyczaj wracające do początkowego stanu stabilnego. Systemy o rosnącej złożoności organizacyjnej mają,- z konieczności, więcej stanów niestabilnych, ale ich stabilność jest utrzymywana przez zespół funkcji samostabilizujących. Złożoność mierzy się za pomocą negentropii lub. Zawartości informacji.

4. Własność wynikająca z całościowego charakteru systemu (holon) - systemy, które odznaczają się cechami (2) i (3), będą wykazywały tendencję do tworzenia struktur hierarchicznych o rosnącej złożoności. Jest to koncepcja oparta na hipotezie Simona [7], w myśl, której,systemy proste szybciej rozwijają się i przekształcają w systemy złażone, gdy istnieją- pośrednie formy stabilne; wynika stąd koncepcja hierarchii. Wiąże się z tym pojęciem przedmiot sporu, który toczy się wokół ewolucji naturalnej: czy jest losowa, a więc następuje wyłącznie za sprawa prawdopodobieństwa, czy jest teleologiczna, nawet wtedy, gdy celem jest badanie wszelkich możliwych kombinacji DNA? Argument przemawiający przeciwko losowości ewolucji opiera się przede wszystkim na spostrzeżeniu, że przyroda nie miałaby czasu potrzebnego dla rozwoju znanych nam organizacji złożonych, gdyby posługiwała się tylko zwykłym losowym przetasowywaniem atomów w pierwotnym „rosole". Dla nas wystarczy stwierdzenie, że obserwacja struktury efektywnych systemów społecznych, biologicznych i administracyjnych zarządzania) wyraźnie potwierdza konieczność rozwoju-hierarchicznego.

W moim ujęciu modelu systemu rozróżniam sześć cech charakterystycznych, które umożliwiają typizację obiektów systemopodobnych. Pozwalają one określić dla każdej cechy zakres własności systemowych o rosnącej złożoności, dzięki czemu możemy odróżniać agregaty od całości i uwzględniać stopień rozwoju badanego systemu. Ujęcie to ilustruje tabl. 1.

Aby ułatwić badanie obiektów systemopodobnych, opracowano macierz klasyfikacyjną umożliwiającą zaszeregowanie systemów do typów i klas (tabl. 2). Dla ilustracji podano pewne przykłady elementów macierzy, (których zaszeregowanie może budzić zastrzeżenia lub być uznane za bezsporne).

Systemy będące głównym przedmiotem zainteresowania teoretyka systemów - to systemy behawioralne i celowe, należące do typów systemów biologicznych, społecznych, tworzonych przez -człowieka. Dla umożliwienia ogólnego potraktowania tego rodzaju systemów definiuje się dwie konstrukcje pojęciowe.

1. Cały system(W) – takie połączenie systemów specjalnych, które wpływa na zdolność całego systemu do skutecznego działania, rozwoju, przetrwania.

Tablica 1

Charakterystyka Ogólna	Własność Systemowa	Odniesienie do cech podanych przez Laszlo [5]
Strukturalna	Złożoność, różnorodność, całościowość	Własność określająca stan
Behawioralna	Dynamiczny, stabilny, celowy	Cybernetyka I
Cybernetyczna	Samoregulujący, adaptacyjny, uczący się	Cybernetyka I, II
Funkcjonalna	Transfer, konwersja, regulacja, samogenerowanie	Cybernetyka II holizm
Organizacyjna	Hierarchiczny, samoorganizujący się , ewolucyjny	
Logistyczna	Samoutrzymujacy się, samonaprawiający się, samoleczacy się.	

Tablica 2

Klasa	Naturalny	Biologiczny	Społeczny	Utworzony Przez Człowieka	poznawczy
Abstrakcyjna	-	Instynkt	Sztuka	Orkiestra	Filozofia
Informacyjna	-	Chromosom	Historia	-	Lingwistyka
Polityczna	-	Stado	Demokracja	Partia	Marksizm
Społeczna	Molekuła	Rój pszczeli	Rodzina	Klub	Dynamika grupowa
Administracyjna	Praw fizyki	Mózg	Rząd	Maszyna cyfrowa	Teoria organizacji
Ekologiczna	-	Rafa koralowa	Rumunia	Miasto	Oceanografia
Ekonomiczna	Cykl parowania i kondensacji	Cykl pokarmowy	Bank	Sklep Woolwortha	Teoria Użyteczności
Medyczna	-	Sercowo-naczyniowy	Służba zdrowia Kino	Klinika Linia	Patologia Nauki techniczne
Techniczna	Wulkan	Sztuczna nerka	Kolonie	powietrzna	Biologia
Żywa	Roślina	Zwierzę	Galaktyka	Farma	Chemia
Fizyczna	Atom	komórka		Zbiornik	

Definiuje się cztery rodzaje systemów specjalnych.

a) System procesowy (P), który zapewnia zdolność systemu do funkcjonowania, czyli do

realizacji procesów umożliwiających osiąganie przez cały system swoich celów.

b) System sterowania (C), który służy do kierowani i koordynacji działalności pozostałych systemów dla realizacji celów całego systemu.

c) System informacyjny (I), służący do organizacji przetwarzania i dystrybucji strumieni informacji- zarówno w obrębie systemu, jak i wpływającej z zewnątrz systemu, zgodnie z potrzebami sprawnego działania pozostałych systemów specjalnych

d) System logistyczny (L), służący do utrzymywania i zaopatrywania pozostałych systemów specjalnych (i siebie samego), aby działanie całego systemu przebiegało w sposób sprawny.

Rysunek la ilustruje W- strukturę, która, jak stwierdzono, odpowiada głównym typom systemów.

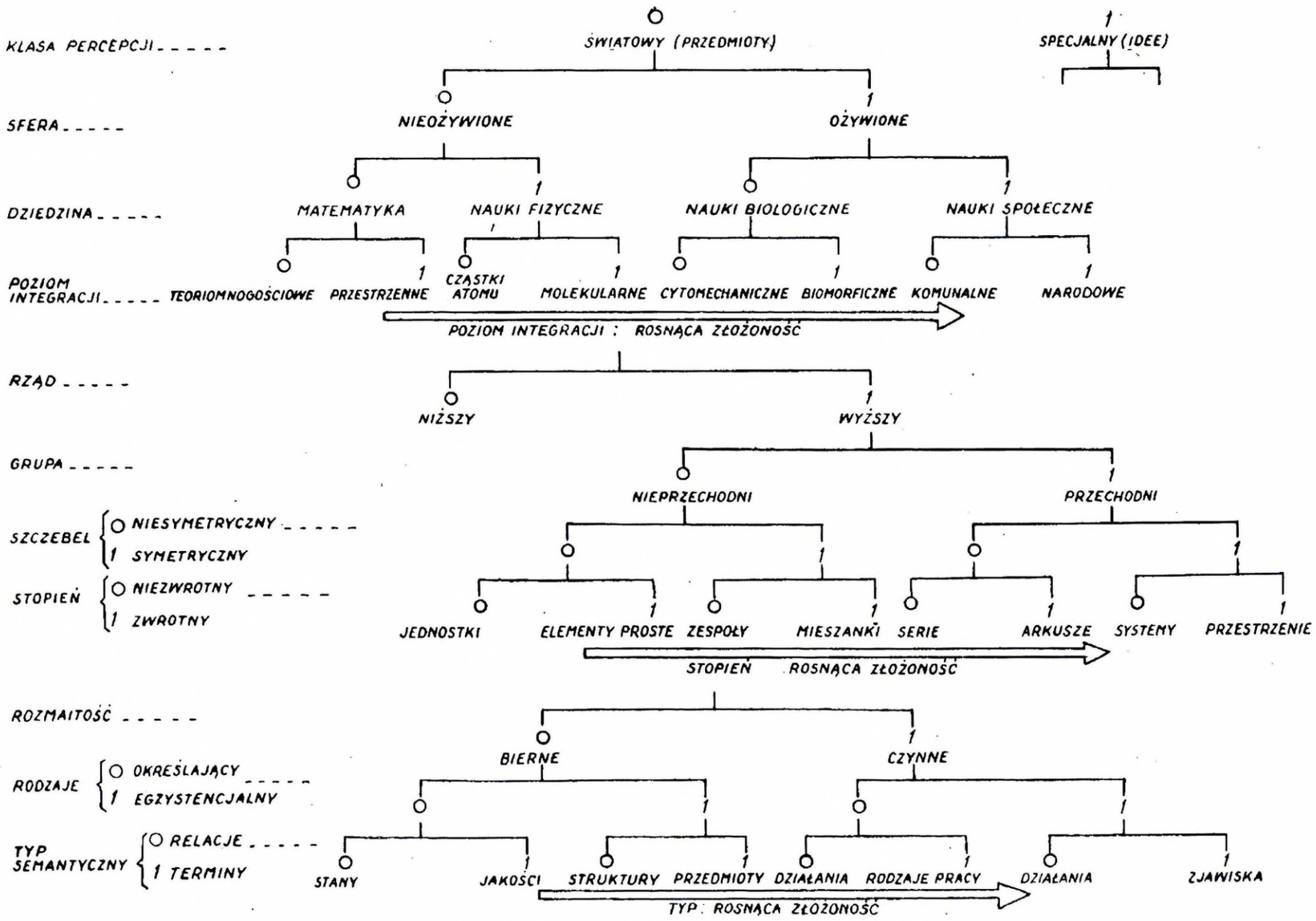
2. System (ogólny behawioralny) (S)--określa się jako rodzinę (zbiór) zbiorów

S={N,M,O,X,Y,Z,F(N,O,M), F(M,Z,X), F(X,Y), F(N,O,Z),T}

Zbiory- te kolejno od lewej ku prawej oznaczają: N- zbiór stanów otoczenia, M- bodźce wejściowe mające wpływ na system (sterowanie, przyroda, szum itp.), O-wymagania operacyjne, X-stan funkcjonalny, systemów, Y - wyjścia funkcjonalne systemów, Z -stan operacyjny procesów funkcjonalnych, F(...)-związki, które sterują funkcje wewnętrzne i działanie systemu, T- czas. Zbiór S obejmuje wymagania niezbędne do pełnego określenia systemu-otwartego, behawioralnego (dynamicznego), celowego; zbiór O obejmuję cele kryteria sprawności i sterowanie. Zbiór S może być odwzorowany w zbiory specjalne całego systemu. Rysunek la stanowi: ilustrację S-struktury.

To dwie konstrukcje pojęciowe dają, jak stwierdzono, należytą podstawę dla badania różnych rodzajów systemów, ich izomorfizmów, struktury i zachowania. W miarę szerszego opracowania matematycznego można przejść do analizy szczegółowej, przewidywania zachowania i projektowania systemu.

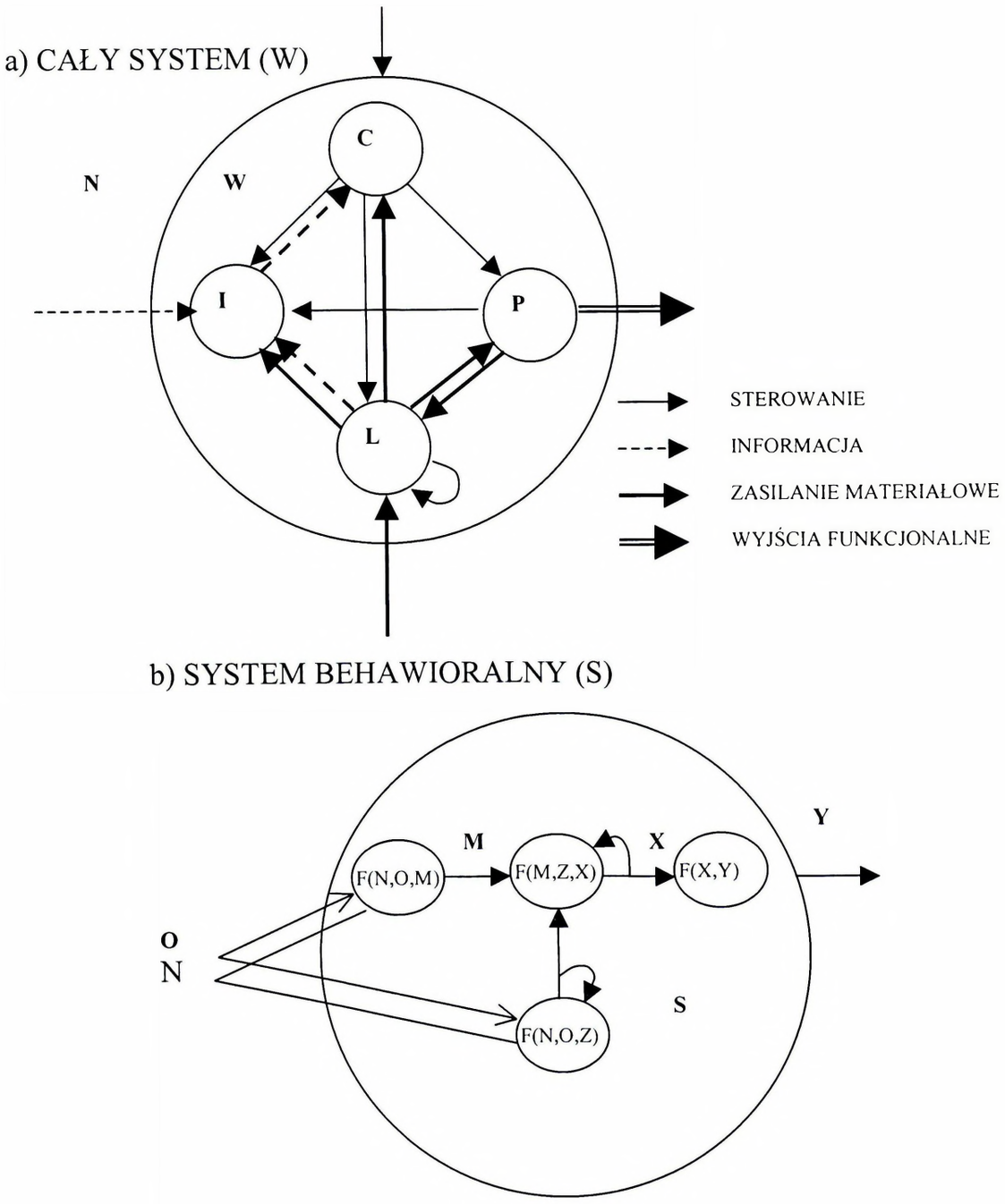
Hierarchię charakterystyk, funkcji i złożoności, jakie wynikają z przytoczonych wyżej dwóch tablic, na które często powołuje się literatura „systemowa" (np. [9], [10], [11]), została rozpatrzona w sposób chyba najpełniejszy w pracy Jolleya [12]. Praca ta zawiera nadzwyczaj ciekawą klasyfikację wiedzy uporządkowanej według poziomów i złożoności pojęć. Na rysunku 2 podano zestawienie tej klasyfikacji; posługując się kodem binarnym, można każde pojęcie lub przedmiot umieścić w tej hierarchii. Na przykład „fotosyntezę" koduje się w sposób nasypujący.



Rys. 2. Pełna klasyfikacja przedmiotowa (Holotheme)

0	·	011	·	1	·	101	·	111
światowy poziom cząsteczkowy				rząd wyższy		proces sekwencyjny		zjawisko

Jest rzeczą ciekawą, że w klasyfikacji tej są zawarte pośrednio porządki logiczne i epistemologiczne nauk określone przez Comte'a i np. na poziomie integracyjnym jest uwzględniona hierarchia Bouldinga. Jest rzeczą jasną, że to, co zwykle rozumie się przez słowo „system" lub „postać" *(Gestalt),* klasyfikuje się jako: światowe, nieożywione lub ożywione, wyższego stopnia, przechodnie i aktywne.



Rys.1. Struktura systemu

Własność całości (całościowości)

Na jedną z własności systemu należy tu zwrócić szczególną uwagę, gdyż jest ona przyczyną licznych nieporozumień. Chodzi o własność, którą można by- zobrazować zdaniem: *„całość to więcej niż suma jej części"*. Zawartą w nim myśl trudno jest obronić, ale łatwo krytykować. Posłużę się jako probierzem argumentami Sir Karla Poppera, który w kilku swych pracach bardzo zjadliwie krytykuje holizm. Przedstawia punkt widzenia holistyczny jako wskazujący na:

a) całokształt wszystkich własności i aspektów przedmiotu, zwłaszcza relacji zachodzących między częściami składowymi:

b) pewne szczególne własności lub aspekty rozpatrywanego przedmiotu, mianowicie te, które powodują, że przedstawia się on nam jako zorganizowana struktura, a nie jako „nagromadzenie różnych rzeczy" [13]. Popper kwestionuje, po pierwsze, słuszność koncepcji struktury całościowej, po drugie, twierdzenie, że badanie całości może być jakimś elementem nauki. Co się tyczy- pierwszego problemu, Poppera j [14] rozpatruje jako przykład trzy jabłka leżące na tacy i przyznaje, że stanowią coś więcej niż jedynie sumę trzech jabłek, ponieważ łączą je relacje przestrzenne i kwantytatywne, które można poddawać badaniu naukowemu. W innym miejscu przytacza przykład roju muszek jako całości i wskazuje, że można go opisać wyłącznie jako sumę jego części - przez opis ruchów każdej poszczególnej muszki i ich sumowanie wektorowe w celu otrzymania ruchu całego roju.

Wydaje mi się, że są to przykłady raczej banalne; żaden teoretyk systemów nie zaprzeczy tym spostrzeżeniem Poppera, ale została iv nich zagubiona istota rzeczy polegająca na tym, że zachowanie całości jest często bardzo złożone, wskutek wzajemnego powiązania części, i nie nożna bez uprzednio zdobytej wiedzy wnioskować o zachowaniu się całości na podstawie zachowania się części. Kontrargumentację można by zacząć od wskazania, że rojowość muszek wynika z faktu, iż każda muszka, gdy tylko znajdzie się na brzegu roju, musi skierować się z powrotem ku środkowi roju. Dlaczego ona to robi? Odpowiedzi nie uzyska się wyłącznie przez policzenie muszek i wyznaczenie tras ich ruchów. Wolałbym jednak sięgnąć po kontrargumenty do dziedziny, która jest bliższa mojemu doświadczeniu, mianowicie do dziedziny zachowania się systemów technicznych. Mogę tu przedstawić trzy takie argumenty:

1. Zachowanie dynamiczne systemu, w którym wszystkie elementy (lub większość elementów)

wzajemnie na siebie oddziaływują.

Ogólne zachowanie systemu (nie biorąc pod uwagę wpływu czynników zewnętrznych) można przedstawić za pomocą równania stanu

$$\dot{X} = f(x), \qquad (1)$$

które daje się rozwinąć w układ n nieliniowych równań różniczkowych dla n różnych atrybutów stanu (lub procesów) systemu

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= f_1(x_1, x_2, \ldots, x_n) \\ \dot{x}_2 &= f_2(x_1, x_2, \ldots, x_n) \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \dot{x}_n &= f_n(x_1, x_2, \ldots, x_n) \end{aligned} \qquad (2)$$

Układ ten pozwala wnioskować, że zmiana każdej poszczególnej wartości x_i jest funkcją wszystkich wartości x_i $(i = 1, 2,...,n)$ i odwrotnie. Zachowanie to nie jest addytywne w znaczeniu dosłownym, ale spełnia kryterium określające, że zachowanie całości jest zależne od części i relacji między nimi. Jest to przykład bardzo ogólny opisujący zachowanie większości rodzajów systemów dynamicznych, biologicznych, społecznych i systemów utworzonych przez człowieka (systemów sztucznych). Można spowodować, aby zachowanie systemu było addytywne, co dotyczy jedynie przypadków szczególnych i raczej trywialnych. Jeśli zlinearyzuje się równanie systemu, to otrzymamy równanie stanu

$$\dot{x} = Ax \qquad (3)$$

lub

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= (a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n) \\ \dot{x}_2 &= (a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2n}x_n) \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \dot{x}_n &= (a_{n1}x_1 + a_{n2}x_1 + \ldots + a_{nn}x_n) \end{aligned} \qquad (4)$$

Zachowanie jest addytywne wtedy i tylko wtedy, g*dy* $a_{ij}=0$, $i \neq j$.

Dla specjalisty-dynamika będzie to naprawdę bardzo nieciekawy system. Argument ten został przytoczony przez Bertalanffy'ego [16] i posłużył się nim Laszlo [17].

2. Optymalna struktura systemów, w który występuje wiele procesów wzajemnego oddziaływania

Jeśli poszczególne procesy są z sobą w znacznym stopniu powiązane, równanie stanu systemu będzie miało postać równania (1) i charakterystyka i-tego procesu (Y;) będzie pewną

(5)

funkcją wszystkich zmiennych projektowych procesu:

$$Y_i = f_i(d_1, d_2, \ldots, d_n)$$

tzn. wskutek wzajemnego oddziaływania projektowanie jednej części może mieć wpływ na projektowanie innych części. Jest rzeczą jasną, że optymalizacja ogólna może być uzyskana jedynie w- rezultacie operowania wektorem ogólnym projektowania

$$D = (d_1, d_2, \ldots, d_n)$$

Całokształt problemu projektowania można przedstawić posługując się, wskaźnikiem sprawności funkcjonowania G w postaci:

$$\max G = \max_{d_1, d_2, \ldots, d_n} f(G_1, G_2, \ldots, G_N, G_W) \qquad (7)$$

przy czym G_i; - wskaźnik funkcjonowania dla i-tego procesu, G_w -. wskaźnik funkcjonowania dla całokształtu zachowania systemu.

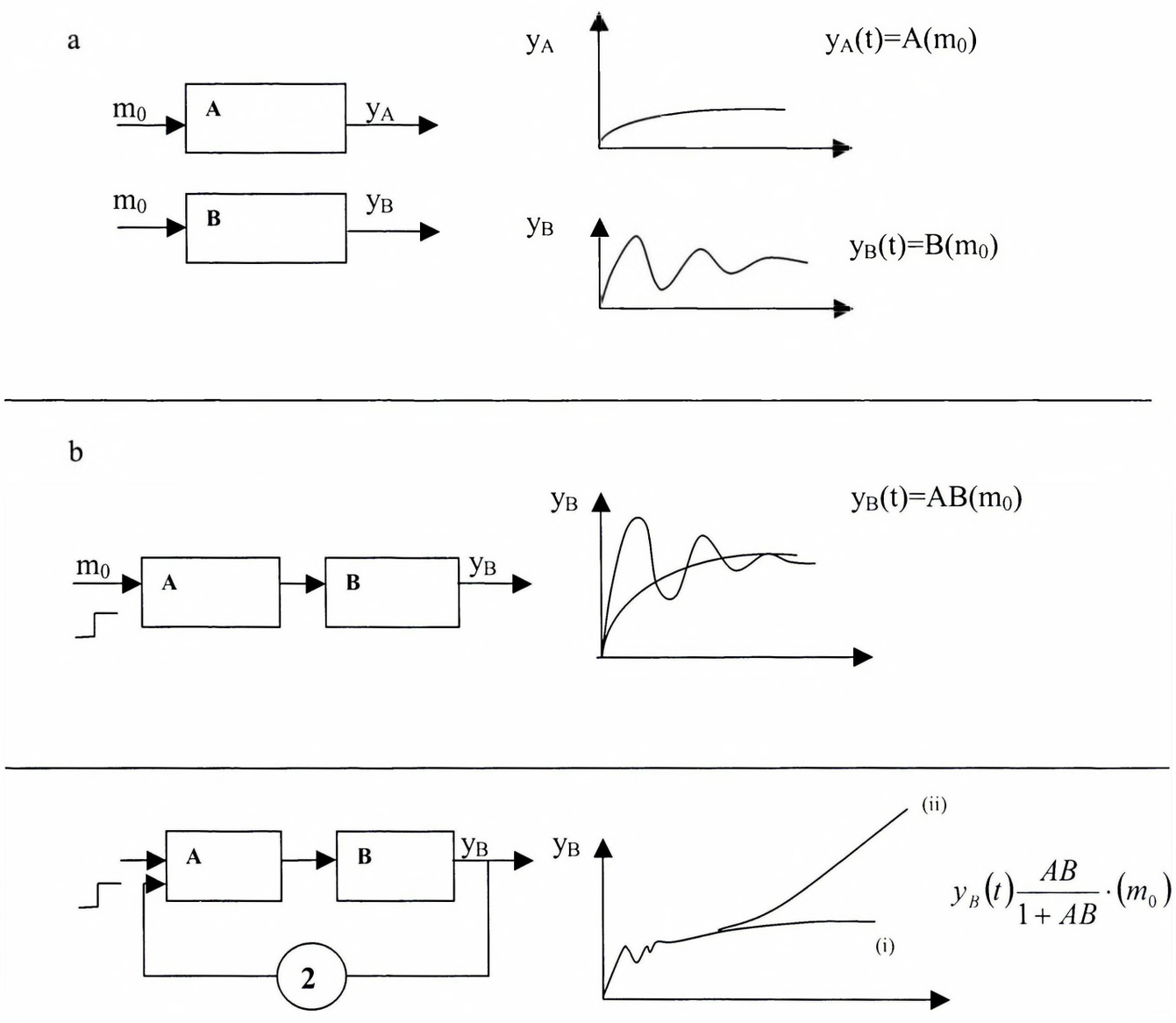
Jest rzeczą całkiem możliwą i często zdarza się, że optymalne funkcjonowanie systemu osiąga się za pomocą pewnych procesów pomocniczych realizowanych na poziomach niższych od poziomu teoretycznie maksymalnego. (Samolot, który ma być skonstruowany jako samolot szybki, różni się od samolotu przeznaczonego dc przewożenia dużych ładunków. „Najlepszy" szybki samolot do przewożenia ładunków będzie kompromisem zawartym między dwoma przypadkami ekstremalnymi.) Również w tym przypadku zachowanie to nie jest addytywne, ponieważ dla każdego z systemów optymalizacja globalna nie pociąga za sobą konieczności optymalizacji lokalnej wszystkich podsystemów, jeśli te ustanie nie są systemami autonomicznymi i nie oddziaływują nawzajem z innymi systemami.

3. Zachowanie systemów złożonych o sprzężeni zwrotnym

Odwołując się do rysunku 3, rozpatrzymy reakcje dynamiczne dwóch procesów. Na bodziec wejściowy m_o, mający postać funkcji skokowe proces A jest odpowiedzią systemu wolno reagującego rzędu pierwszego podczas gdy proces B jest odpowiedzią szybkiego systemu oscylacyjnego rzędu drugiego. Jeśli systemy te są połączone kaskadowo (rys. 3b) odpowiedzią kaskady jest ich łączne oddziaływanie na bodziec wejściowy; jak można zauważyć, reakcja ta ma postać wyrażenia dającego się podzielić na odrębne reakcje systemów A i B. Zachowanie takie jest addytywne.

Dokonamy teraz sprzężenia zwrotnego wyjścia B z wejściem w sensie ujemnym: jest to bardzo często spotkana forma (ujemneg sprzężenia zwrotnego, np. w systemach

biologicznych i systemach utworzonych przez człowieka; odpowiedzią takiego systemu może być coś pośredniego między przypadkiem I i II (rys. 3c).



Rys. 3. Własność całości w systemach ze sprzężeniem zwrotnym

W przypadku I został zachowany ogólny charakter odpowiedzi, ale oscylacje będą szybsze i odpowiedź systemu rzędu pierwszego będzie powolniejsza. W przypadku II system stał się niestabilny; jest systemem o odpowiedzi rosnącej wykładnicze. Rzeczywista forma odpowiedzi zależy od parametrów dynamicznych systemu A i B. Jakakolwiek by nie była odpowiedź połączonego systemu, nie jest ona sumą zachowań indywidualnych poszczególnych systemów, jak to było w przypadku połączenia kaskadowego. W rzeczywistości procesy stabilne mogą stać się całkowicie niestabilne, nawet przy ujemnym

sprzężeniu zwrotnym. Dla specjalistów dynamików nie jest to- żadnym zaskoczeniem, ponieważ znają zachowanie systemów o sprzężeniu zwrotnym oraz problemy związane ze stabilnością wielkich systemów. Na podstawie ich wiedzy o zachowaniu całokształtu systemu ułożą oni odpowiednie równania różniczkowe; rozwiązania tych równań określą, jakiej odpowiedzi dynamicznej należy oczekiwać.

Na podstawie tych trzech przykładów można całkiem słusznie dojść do wniosku, że oczekiwane zachowanie całości daje się określić jedynie wtedy, gdy wiadome jest zachowanie poszczególnych jej części i ich wzajemne oddziaływania. Tylko tyle. Ale argumenty Poppera zdają się sugerować, że własność całości jest nieistotna; nie zaprzeczając istnieniu całości uważa on, że badanie jej zachowania jest nieciekawe, ponieważ wnosi niewiele dodatkowej informacji. Sądzę, iż przytoczone przykładu pokazują, że zachowanie całości jest: 1) bardzo często jedynym przedmiotem badania o istotnym znaczeniu; 2) całkiem niespodziewane w porównaniu do zachowań poszczególnych części, jeśli nie posiada się uzyskanej *a priori* wiedzy o zachowaniu się takich połączonych systemów. (Przypomina mi to lata czterdzieste, gdy uważano za rzecz bardzo trudną przewidywanie reakcji systemu o pętli zamkniętej, o sprzężenia zwrotnym, ponieważ znane 'były wtedy tylko reakcje elementów połączonych w układ otwarty.)

Do uwag krytycznych Poppera wrócę później w kontekście nauk filozoficznych i społecznych, ze znacznie większą niż obecnie sympatią. Na razie ustaliliśmy, jak sądzę, że własność całości jest czymś, co ma zarówno istotne znaczenie, jak i naukowe uzasadnienie.

Rozwój ruchu systemowego

Jak już przedtem wspomniałem, redukcjonizm naukowy, który wywodzi się od Kartezjusza, uzyskał taką przewagę, że poszukiwanie związków między różnymi gałęziami nauki zostało w pewnym stopniu przytłumione presją opinii zachęcającej do specjalizacji. Rosnące niezadowolenie takim stanem rzeczy dawało znać o sobie coraz silniej, zwłaszcza od końca XIX w. Tendencje unifikujące zaczęły się ujawniać w naukach fizycznych i matematyce. Na przykład praca o kinetycznej teorii gazów przyczyniła się do powstania ogólnej teorii zachowania cząsteczkowego, która wykroczyła poza międzydyscyplinarne granice fizyki, chemii i termodynamiki. Tendencje unifikujące wystąpiły także w matematyce. Wychodząc z quasi-holistycznej tradycji mechaniki klasycznej - Eulera, Lagrange'a i Hamiltona - połączono ujęcie topologiczne zastosowane przez Poincarego do badania przestrzeni stanów z teorią stabilności Liapunowa, co przyczyniło się do powstania współczesnej teorii sterowania - ogólnej, behawioralnej teorii przewidywani zachowania i, optymalizacji systemów. Do początku lat -sześćdziesiątych niewiele osób wiedziało o tym

przedmiocie; dopiero obecnie zaczyna on przenikać z teorii sterowania, która znajdowała się pod wpływem nauk technicznych,, do biologii teoretycznej i nauk społecznych.

Znaczenie historyczne mają dla nas prace: Koffki (psychologia postaci i Bertalanffy'ego (biologia teoretyczna i ogólna teoria systemów), które, można rzec, legły- u podstaw ruchu systemowego.

Jest rzeczą znamienną, że korzenie współczesnej teorii systemów tkwią w psychologii i biologii, z których jedna dąży do objęcia całej osobowości, druga zaś bada postać i rozwój organizmów jako całości. Były to punkty wyjścia dla rozwoju szkoły „behawioralnej" teorii systemów uznającej Bertalanffy'ego za swego twórcę i kładącej szczególny nacisk na zastosowania w biologii, psychologii, naukach społecznych i politycznych. Główne prace badawcze w dziedzinie ogólnej teorii systemów podjęto w Stanach Zjednoczonych w latach pięćdziesiątych z rozmachem, jakiego należało oczekiwać od siły żywotnej takiej struktury hybrydowej. Jednym z pomyślnych wydarzeń tego okresu było założenie w 1954 r. Towarzystwa do Badania Systemów Ogólnych (Society for General Systems Research) przez Bertalanffy'ego, Bouldinga, Gerarda i Rapoporta.

Tym, co nadaje ruchowi systemowemu specyficzną treść i spójność, jest trwałe połączenie dwóch nurtów tego ruchu. Jednym z tych nurtów jest szkoła behawioralna skupiona wokół biologia i nauk społecznych, drugim - szkoła techniki systemów i sterowania wywodzącą się z nauk fizycznych. Szkoła ostatnia zawdzięcza swe powstanie rozwojowi zautomatyzowanych systemów uzbrojenia i badań operacyjnych, jaki nastąpił czasie wojny, w wyniku konieczności połączenia w ramach jednej organizacji wielkich zespołów ludzi i maszyn oraz nadania im postaci systemów zdolnych do samodzielnego istnienia i realizacji określanych celów. To „laboratorium pod znakiem Marsa" przyczyniło się do powstania cybernetyki Norberta Wienera, teorii sterowania, techniki systemów i teorii zarządzania. Specjalistami tych dziedzin okazali się inżynierowie i menadżerowie o skłonnościach matematycznych; znajomość cybernetyki skłaniała ich do zwrócenia uwagi na systemy biologiczne i wynajdywanie w nich przydatnych analogii dla swoich własnych problemów, - organizacji sterowania i przepływu informacji w systemach tworzonych przez człowieka. Między nurtem behawioralnym i nurtem technicznym ruchu systemowego zadzierzgnęły się żywotne więzy i coraz -jaśniejsza stawała się świadomość, że systemy żywe i systemy tworzone przez człowieka mają, w istocie rzeczy, podobne cechy określające ich organizację, rozwój, dynamikę i decydujące o trwałości ich istnieniu.

Jeśli istnieje pewna jedność w różnorodności, to takim właśnie określeniem należałoby scharakteryzować obecny stan rzeczy w ramach ruchu systemowego. Przegrupowywanie i

rozszerzenie wiedzy dokonujące się pod sztandarem ruchu systemowego znajduje się jeszcze obecnie w bardzo wczesnych, spekulatywnych stadiach rozwoju tej nowej nauk; obraz, który ona sobą przedstawia, jest jeszcze niewyraźny; każda próba klasyfikacji i definiowania różnych pojawiających się koncepcji ma raczej charakter personalny, uzależniony od osobowości badaczy. Ruch systemowy gromadzi naukowców rozmaitych dziedzin: antropologii, biologii, ekonomii, techniki, teorii zarządzania, matematyki, nauk politycznych, psychologii, nauk społecznych. Wyznają oni wspólną filozofię i mają podobny sposób ujmowania swoich problemów, mianowicie ujmowania systemowego. Laszlo [20] przedstawił opinię, że tą wspólną podstawą filozoficzną jest:

1) holizm jako metodologią i ontologią,
2) integracja poznania naukowego jako ideał dający się praktycznie zrealizować,
3) jedność, przyrody jako credo, filozoficzne
4) humanizm jako zadnie i odpowiedzialność nauki.

Bądź co bądź, każdy naukowiec w ramach tego ruchu działa na dwóch poziomach: po pierwsze, jest specjalistą w swojej szczegółowej dziedzinie wiedzy, ale stosuje w swej pracy charakterystyczne ujęcia i metodologie właściwe dla myślenia systemowego; po drugie, jest generalistą - dzieli swe doświadczenia z mymi naukowcami rozmaitych dziedzin i dąży wspólnie z nimi do rozwoju i objaśniania teorii i filozofii systemów.

W literaturze przedmiotu panuje na ogół zgoda w odniesieniu do podziału dziedziny systemowej na trzy główne części składowe: 1) ogólną teorię systemów, 2) naukę o systemach, 3) filozofię systemów.

1. O g ó l n a t e o r i a s y s t e mów, którą traktuje się rozmaicie - jako formalną teorię matematyczną, jako metajęzyk, jako sposób myślenia, jako cały zakres (hierarchię) teorii systemów o rosnącym stopniu uogólnienia [19], jako macierz dyscyplin [20], jako teorię pola [21). Bertalanffy, który wprowadził termin „ogólna teoria systemów", nie zamierzał sugerować, że ma to być specyficzna teoria formalna; użył tego terminu jako nazwy zbiorowej dla objęcia nią problematyki systemowej w sposób podobny, jak termin „teoria ewolucji" obejmuje wszystkie aspekty badań ewolucji naturalnej, a nie tylko teorię Darwina [22).

2) N a u k a o s y s t e m a c h o b e j m u j ą c a :

a. podstawową matematyczną teorię systemów stanowiącą wyższy poziom uogólnienia systemu jako pojęcia abstrakcyjnego;
b. stosowaną matematyczną teorię systemów, która obejmuje teorie specyficzne dla poszczególnych dziedzin, np. teorię automatów, teorię sterowania,

biodynamikę;

c. empiryczną naukę o systemach, polegającą na świadomym stosowaniu metodologii systemowej i systemowego sposobu myślenia do problemów danej dziedziny, np. biologii, ekonomii, psychologii;

d. technikę systemów (lub, co uważam za nazwę właściwszą, prakseologię), która jest za zastosowaniem koncepcji systemowych do sprawnej realizacji systemów tworzonych przez człowieka i obejmuje np. badania operacji, naukę a zarządzaniu, technikę systemową.

3) Filozofia systemów, która jest dziedziną najnowszą, określona została przez Laszlę (który przyczynił się do jej rozwoju) jako filozofia perspektyw, poszukująca związków miedzy rozmaitymi teoriami i badająca dalekosiężne implikacje wynikające z paradygmatu systemowego. Filozofia systemów tworzy ogniwa wiążące z sobą tradycyjne dziedziny badań filozoficznych, takie,jak epistemologia i ontologia.

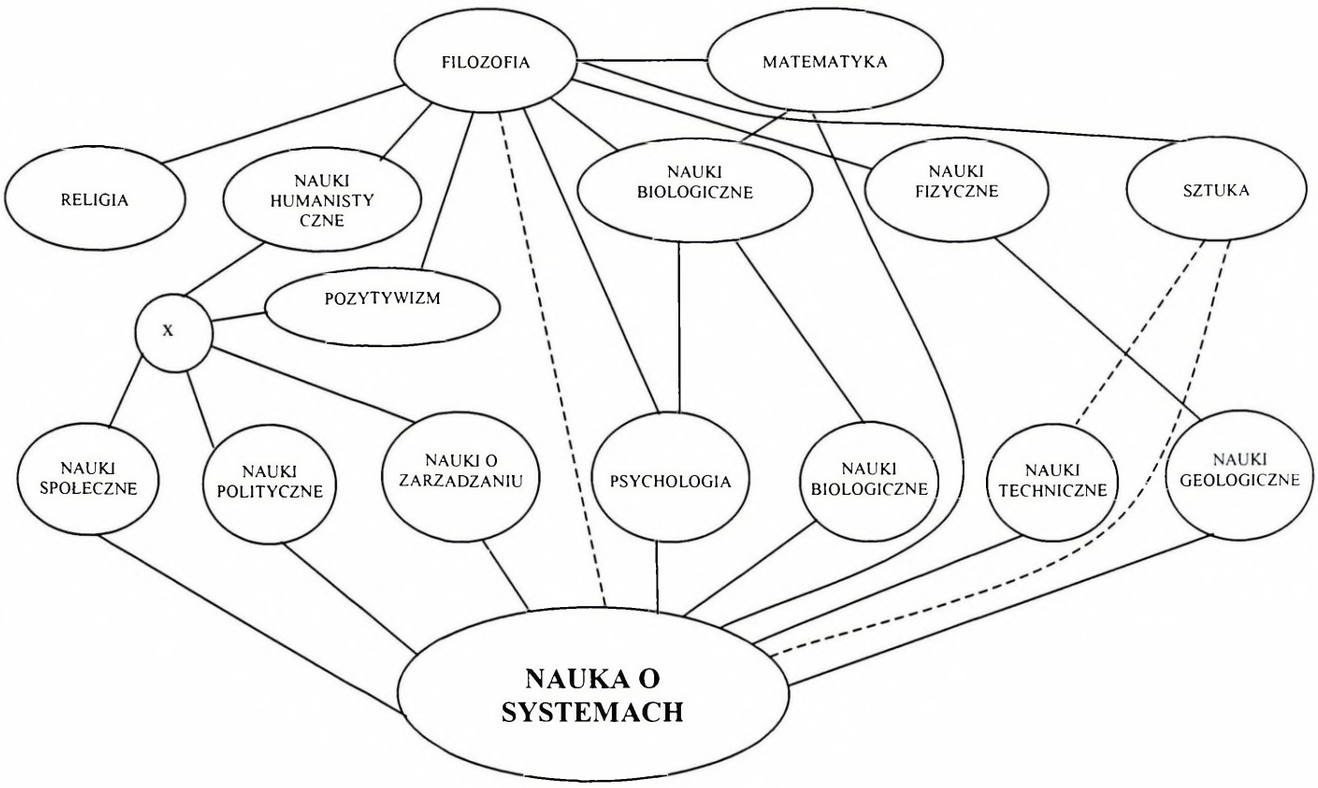
(W praktyce, w opracowaniach rozmaitych autorów, nie zawsze przyjmuje się klasyfikację przytoczoną powyżej. Nazwy „ogólna teoria systemów" używa się często w znaczeniu całej gamy myśli systemowej, bądź też używa się jej jako synonimu nauki o systemach lub filozofii systemów.)

Struktura nauki o systemach

Przechodzę obecnie do przedstawienia swojej własnej analizy istoty i struktury nauki o systemach. Różni się ona trochę od przedstawionego powyżej modelu, którego autorami są Bertalanffy i Laszlo, albowiem, gdy o mnie chodzi, reprezentuję pogląd, że równie ważne znaczenie dla rozwoju nauki o systemach miały teoria sterowania i technika systemów. Ta ostatnia była ważnym źródłem inspiracji dla ogólnej teorii systemów i miała istotne znaczenie dla badania systemów twórczych oraz dla praktycznego projektowania systemów będących dziełem człowieka.

Naukę o systemach określam jako uporządkowany zasób wiedzy uzyskanej w wyniku badania systemów (postaci) w dającym się zaobserwować świecie oraz zastosowanie tej wiedzy do projektowania systemów tworzonych przez człowieka. Definicja ta odpowiada aspektowi ściśle naukowemu poszukiwania, badania i, objaśniania zachowania się systemów w postaci, w jakiej one występują w rozmaitych dziedzinach nauki. Na tej podstawie następuje rozwój ogólnej teorii systemów, która

unifikuje wyniki otrzymywane w poszczególnych dziedzinach specjalnych. Definicja ta bierze również pod uwagę aspekt nauki stosowanej - użycia uzyskanej wiedzy w celu



Rys. 4. Morfogeneza nauki o systemach

usprawnienia procesu projektowania i funkcjonowania systemów tworzonych przez człowieka. Na rysunku 4 pokazano, jako propozycję, schemat morfogenezy nauki o systemach, przedstawiający jej rozwój od nauk szczegółowych poprzez szereg działów podstawowych. Do tych działów podstawowych należą: filozofia i matematyka (których waga jest nieco większa od pozostałych działów), religia, nauki humanistyczne, nauki biologiczne, nauki fizyczne i sztuka. Tych 7 działów obejmuje sferę intelektualną i emocjonalną człowieka. Na poziomie niższym znajdują się nauki szczegółowe, na które nauka o systemach ma wpływ, lub też nauki znajdujące się w zasięgu jej zainteresowań. Wyraziłem opinię, że nauki humanistyczne wchodzą w zakres nauki o systemach na skutek wpływu pozytywizmu. Nie znajduję związków między nauką o systemach i religią, ale jak później zobaczymy, religia ma pewne znaczenie dla filozofii systemów. Sztuka co jest rzeczą ciekawą, wchodzi w zakres nauki o systemach, aczkolwiek w sposób niezbyt eksponowany; sztuka i technika systemów mają wspólne zainteresowania dotyczące projektowania - znam kilku naukowców,

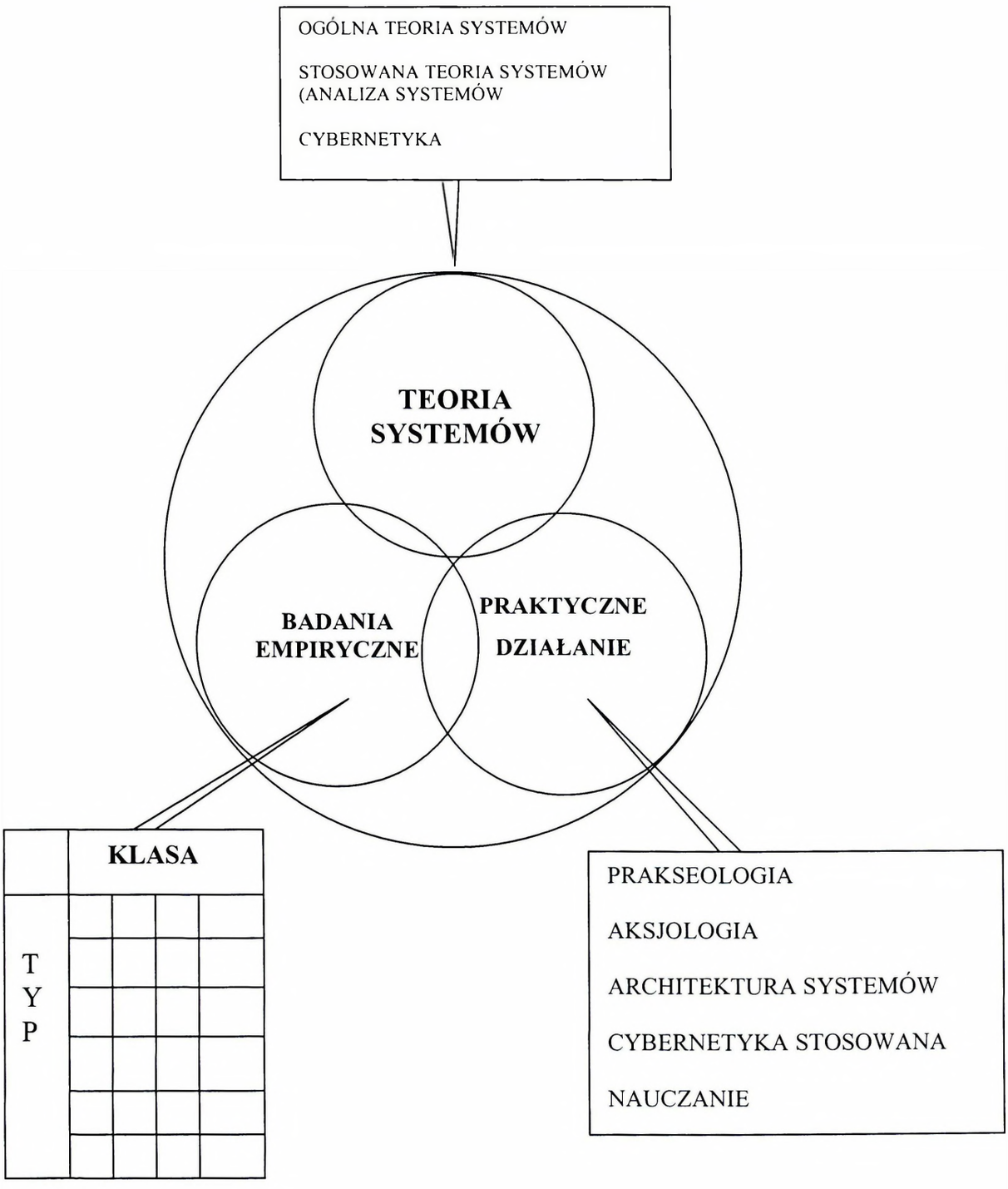
którzy prowadzą czynnie badania nad sztuką z cybernetycznego punktu widzenia. Matematyka stanowi podstawę dla matematycznej teorii systemów, natomiast filozofia użycza nauce o systemach swych tradycji holistycznych.

Pod względem struktury wewnętrznej teoria systemów dzieli się na trzy różne, lecz powiązane z sobą sfery działania: badanie, myślenie, tworzenie (rys. 5). W dziedzinie b a d ń e m p i r y c z n y c h paradygmat systemowy ma zastosowanie jako: aparat do badania struktury zachowania i organizacji poszczególnych rodzajów systemów w danej dziedzinie; służąc do uzyskiwania dowodów niezbędnych -dla dalszego rozwoju- wiedzy o cechach charakterystycznych dla systemów: 2)metodologia pozwalająca głębiej wniknąć w istotę przedmiotu i lepiej go zrozumieć 3) aparat do świadomego projektowania doskonalszych struktur i organizacji w sferach działalności społecznej, administracyjnej i technicznej.

T e o r i a s y s t e m ó w daje podstawę teoretyczną dla następujących nauk:

1. O g ó l n a t e o r i a s y s t e m ó w , która wciąż jeszcze znajduje się w stanie burzliwego rozwoju, jest zespołem teorii opisujących strukturę i zachowanie systemów, które na niższych poziomach uogólnienia obejmują cały zakres rozmaitych rodzajów systemów szczegółowych wznosząc się stopniowo, w miarę coraz szerszego uogólniania i abstrakcji do matematycznej teorii systemów.
2. S t o s o w a n a t e o r i a s y s t e m ó w (analiza systemów) obejmująca wszelkie metody matematyczne stosowane do analizy, syntezy, modelowania i oceny systemów i ponadto przetwarzanie danych i prognozowanie.
3. C y b e r n e t y k a - specjalny zespół teorii odnoszących się do procesów sterowania i informacji występujących w strukturach systemów; żywych i systemów tworzonych przez człowieka. Nazwą „cybernetyka" są objęte: teoria sterowania, teoria informacji, sztuczna inteligencja.

Do dziedziny d z i a ł a n i a p r a k t y c z n e g o zaliczam te działy badań, które są szczególnie związane z tworzeniem systemów będących dziełem człowieka:



Rys. 5. Struktura nauki o systemach

1. P r a k s e o l o g i ę Kotarbińskiego [24] - jest to udany termin oznaczający naukę o sprawnym działaniu człowieka, która obejmuje: badanie operacji, teorię podejmowania decyzji, a k s j o l o g i ę, morfologię projektowania.
2. Architekturę systemów, która zajmuje się projektowaniem i realizacją systemów tworzonych przez człowieka. Obejmuje takie dziedziny, jak: ergonomia, cybernetyka zarządzania i cybernetyka stosowana.

3. Paradygmat systemowy ma coraz szersze zastosowanie w nauczaniu jako pewna filozofia lub dyscyplina nauki, obejmująca opracowywanie programów kształcenia przez zastosowanie cybernetyki - nauczanie programowane i adaptacyjne.

Czy nauka o systemach jest nauką?

Przyjrzyjmy się teraz uważnie nauce o systemach i zadajmy sobie pytanie: czy jest to nauka wyodrębniona jako samodzielna dyscyplina, czy też zbiorowisko metod zapożyczonych z rozmaitych dyscyplin naukowych? Należy pamiętać o tym, że sprawdzianem nauki jest: 1) czy pozwala uzyskać lepsze objaśnienia, 2) czy objaśnienia te dają się sprawdzić w sposób ścisły.

Najpierw rozpatrzy dziedziny badań empirycznych i działania praktycznego. Dla dziedzin techniki i zarządzania odpowiedź jest bez wątpienia, twierdząca. Uzyskano lepsze objaśnienia. Pełne zrozumienie kompleksowego zachowania dużych zespołów przemysłowych, takich jak sieci energetyczne, rafinerie nafty, zakłady przemysłowe, byłoby, w istocie rzeczy, niemożliwe, gdyby specjaliści teorii sterowania i dynamiki systemów nie zaczęli ich rozpatrywać jako całości. Wynikiem takiego ujęcia było sprawniejsze projektowanie i większa efektywność zakładów. Matematyczne modele zachowania można sprawdzić posługując się metodami ścisłymi, w przeciwstawieniu do wyników uzyskiwanych metodą empiryczną na podstawie zaburzeń dynamicznych powstałych w funkcjonowaniu zakładów. W dziedzinie zarządzania (technicznego) całokształtem projektowania systemowego i zarządzania wielkimi przedsięwzięciami, np. takimi jak systemy zbrojeniowe logistyczne, transportowe, informacyjne, odnośne modele znajdują się obecnie w toku opracowania. Również dla nauk biologicznych odpowiedź jest twierdząca. Zastosowanie teorii i analizy systemów do badania procesów zachodzących w organizmach żywych, jak np. metabolizmu proteinowi-ego w układzie sercowo-naczyniowym i oddechowym, pozwoliło uzyskać głębszy wgląd w złożone zachowanie hierarchiczne organizmów żywych, a tak, że umożliwiło lepsze ich zrozumienie. Dowodem tego jest rosnące zainteresowanie paradygmatem systemowym ze strony klinicystów i biologów teoretycznych. Możliwe staje się lepsze objaśnienie całokształtu zachowania biologicznego i objaśnienia te można poddawać ścisłej weryfikacji eksperymentalnej.

Obraz nie jest taki wyraźny, gdy od techniki, biologii i zarządzania przejdziemy do nauk politycznych i społecznych. Nie sądzę, aby to wynikało z jakiejś wewnętrznej ograniczoności

nauki o systemach; trudności wynikają z samej istoty tzw. nauk „miękkich". Nauki społeczne i polityczne mogą obfitować w hipotezy i teorie, ale trudno w tych naukach o ścisłość naukową. Niezależnie od faktu, że niełatwo w tych dziedzinach o dane, prowadzenie zaś sterowanych eksperymentów jest często niemożliwe, odnośne modele zachowania społecznego i politycznego obfitują w tak mgławicowe wskaźniki, jak: skłonność do konsumpcji, oczekiwanie społeczne, spójność społeczna, poziom wrogości. Jak należy je mierzyć? Naukowcy w tych dziedzinach podejmują często ogromne wysiłki dla przekształcenia swych przedmiotów w nauki o większej ścisłości, ale mima to analityk systemów napotyka znaczne trudności, gdy zamierza przekształcić swój koncepcyjny model sytuacji społecznych lub politycznych na prawidłowo skwantyfikowaną symulację matematyczną. Metody są opracowane, ale teoria i dane są mgławicowe. Obserwuję w tych dziedzinach tę samą sytuację, co we wczesnym okresie stosowania analizy systemów,do wielkich systemów technicznych: analityk systemów, dzięki lepszemu- wglądowi, jaki daje jego model holistyczny, widzi związki, których przedtem nie dostrzegano, i -żąda dostarczenia danych, których przedtem nigdy nie, zbierano.

Musimy więc stwierdzić Uczciwie, że nauka o systemach pozwoliła przypuszczalnie lepiej zrozumieć niektóre problemy nauk społecznych i politycznych, ale na razie nie ma sposobu dla uzyskania pewności, czy proponowane przez nią objaśnienia są lepsze. Istnieje mimo to nadzieja na uzyskanie lepszych objaśnień, gdy weźmie się pod uwagę rosnące zastosowanie paradygmatu systemowego i analizy systemów w naukach społecznych i politycznych.

Innym bardzo ciekawym kierunkiem rozwoju, który ostatnio się zarysował, jest szerokie zastosowanie nauki o systemach w dziedzinach planowania ekonomicznego i środowiskowego oraz w planowaniu użytkowania zasobów. Wzrasta zrozumienie, że problemy wieloparametrowe związane z planowaniem regionalnym badaniami zanieczyszczeń środowiska, gospodarki zasobami (w ramach gospodarki narodowej, energetyki, rybołówstwa czy zasobów światowych) wymagają ich zbadania przez wysoko wykwalifikowane zespoły interdyscyplinarne, stosujące w sposób świadomy ujęcia intelektualne i metodologie nauki o systemach. Matematyczne symulacje wielkich systemów dokonywane na podstawie prowadzonych badań są często oparte na założeniach subiektywnych, ale to ich nie dyskwalifikuje, jeśli się je uważa za próby analizy wspartej przez maszyny cyfrowe, lub jako ćwiczenia w zakresie prognozowania i oceny zasad postępowania. Można i tu powołać się na znaczny wzrost liczby grup systemowych zatrudnionych w planowaniu regionalnym i modelowaniu zagadnień o skali światowej, jako

dowód korzyści uzyskiwanych w wyniku zastosowania nauki o systemach.

Należy także wspomnieć o dwu innych aspektach nauki a systemach, jej roli unifikującej i jej teorii ogólnej. Sądzę, że duża siła unifikująca nauki o systemach nie zostanie zakwestionowana przez nikogo, kto w praktyce miał do czynienia z paradygmatem systemowym i czyja wizja naukowa sięga dalej niż wąska dziedzina swojej specjalności. Jest bowiem rzeczą jasną, że systemowy model struktury i zachowania można zastosować do szerokiej sfery działania przyrody i działania człowieka. Już w tym artykule poruszono problemy odnoszące się do: teorii ewolucji, biologii teoretycznej, badania konfliktów, ekonometrii, zarządzania i projektowania, sterowania zespołów technologicznych, teorii systemów hierarchicznych, zakładania nowych miast, zarządzania zasobami w skali światowej,... a przecież lista ta jest niepełna. Badania powinny sprzyjać tendencji do unifikacji i uogólniania stosowanych teorii systemów, gdyż pozwalają rozpoznać i racjonalnie wykorzystać izomorfizmy systemowe występujące między różnymi dziedzinami i teoriami. Na przykład teorię sterowania, teorię decyzji, zespół różnych części i elementów teorii badań operacji i optymalizacji projektowania można obecnie traktować jako rozmaite aspekty tego samego podstawowego problemu - definiowania nieuchwytnej jakości „najlepszej" i następnie dążenie do jej osiągnięcia. (Moim zlaniem, jest to właśnie celem prakseologii.) Tą drogą teoria wartości, teoria użyteczności, analiza kosztów i korzyści łączą się z etyką i estetyką w poszukiwaniu bardziej naukowego ujęcia problemów oceny wartości. Aksjologia jest nazwą, którą nadano tej nowej zunifikowanej dyscyplinie. Modelem cybernetycznym można z powodzeniem objąć badania behawiorystyczne w socjologii, polityce, biologii, neurologii, ekologii, technice, co niewątpliwie prowadzi do głębszego zrozumienia wymagań strukturalnych, które są niezbędne dla wszelkiego rodzaju systemów, dla ich istnienia wzrostu i ewolucji.

(Szybko płyną słowa mało znane i brzmiące obco. Zdaję sobie sprawę z tego, że wielu może zniechęcić bombardowanie nawałą takich słów. Nie zamierzam tu nikogo onieśmielać ani oszałamiać. Nastaje jednak czas, w którym istniejący język wyczerpuje swoje możliwości jako źródło tworzenia przydatnych modeli werbalnych dla nowych pojęć. W swojej obronie powołam się na Whiteheada, który znalazł się pod ostrzałem krytyki z tego samego powodu i bronił się argumentem, że nowe koncepcje trudno jest wyrazić używając starych terminów. Metafizyka jest poszukiwaniem podstawowych uogólnień, nie może, więc posługiwać się z pełną ufnością,językiem potocznym. Zwykły język musi ulec rekonstrukcji. „Słowa i zdania muszą być naciągane w kierunku uogólnień obcych ich zwykłemu znaczeniu" [25]. Jest rzeczą całkiem oczywistą, że jeśli nauka o systemach i filozofia systemów mają spełnić

pomyślnie swą rolę unifikującą, niezbędne będzie, opracowanie języka wyższego poziomu - metajęzyka, w którym nastąpi fuzja pojęć, którymi posługują się nauki istniejące.)

Ogólna teoria systemów jest obecnie, moim zdaniem, raczej nadzieją niż rzeczywistością. Jest tym, czego ruch systemowy poszukuje, a nie ustaloną treścią sprawdzonej teorii, którą można znaleźć w podręczniku. Spodziewamy się, że ogólna teoria systemów stanie się tym, co w sposób jasny zostało przedstawione przez Bertalanffy'ego:

„Istnieją modele, zasady i prawa, które odnoszą się do systemów ogólnych i ich treści, niezależnie od ich specyficznego charakteru, natury ich elementów składowych i występujących między nimi związków i «sił». Wydaje się, że jest rzeczą uzasadnioną poszukiwanie teorii nie dla systemów mniej lub bardziej szczegółowych, lecz zasad uniwersalnych, odnoszących się do systemów w ogóle [.. .] Postulujemy utworzenie nowej dyscypliny zwanej ogólną teorią systemów. Jej przedmiotem jest formułowanie wynajdywanie takich zasad które są ważne dla «systemów.» wogóle [. . .] Jest to ogólna nauka o „całości", jaką do tej pory uważano za pojęcie mgliste mętne, półmetafizyczne. W rozwiniętej postaci byłaby, to dyscyplina logiczno- matematyczna, mająca charakter czysto formalny, ale, dającą się zastosować do rozmaitych nauk empirycznych [26]

Istnieją już pewne konstrukcje teoretyczne o ważnym znaczeniu i ogólnym charakterze, które składają się na podstawowe, aksjomaty ogólnej teorii systemów; mam tu na myśli sformułowane przez Ashby'ego prawo niezbędnej różnorodności i pojęcie reorganizacji adaptacyjnej; zasadę ekwifinalności Bertalanffy'ego, teorię rozwoju hierarchicznego Simona i obszerny zakres matematycznej teorii systemów opracowany np. przez Bellmana, Kalmana, Zadeha, stanowiących punkt wyjścia do opracowania teorii bardziej ogólnej.

Na tym etapie przypomina to dążenie Platona do szerokiego spojrzenia na wszystkie nauki, albowiem to właśnie okaże się jednym z wyników ogólnej teorii systemów, jeśli osiągnie oma stawiane przed nią cele. Whitehead, gdy rozpoczynał swoje wykłady tarnerowskie w 1919, mówił o „nauce jako posiadającej już pewien stopień jedności: właśnie dzięki temu zasoby zdobytej wiedzy uznaje się instynktownie za naukę. Filozofia nauk - pojmowana jako jeden przedmiot, a stanowi dążenie do wykazania, że wszystkie nauki tworzą jedną naukę, lub - gdyby to się nie udało - uzyskanie dowodu, że jest to niemożliwe" [27].

Na tej podstawie możemy- uważać, że ogólna teoria systemów znajduje się na pograniczu nauki i filozofii. Z tego właśnie powodu zamierzam przy stąpić do zwięzłego rozpatrzenia filozofii systemów.

Źródła historyczne filozofii systemów

Widzieliśmy, że koncepcja całości nadaje specyficzny sens myśli systemowej i daje się obronić, gdy rozpatruje się zachowanie złożonych systemów behawioralnych. Jest to problem weryfikacji doświadczalnej. Koncepcja ta jednakże stawia pytanie, którego istota ma charakter filozoficzny, mianowicie, czy badanie całości jest właściwym i płodnym kierunkiem badań naukowych.

Nie mogę dłużej unikać tego kłopotliwego problemu. Ale zanim zabiorę się do jego rozwikłania, naszkicuję tu pokrótce tradycję holistyczną w filozofii, ponieważ filozofia systemów wiele czerpała z tej tradycji. W załączonym schemacie pozwalam sobie przedstawić b a r d z o w y b i ó r c z y [2] schemat rozwoju filozofii systemów[3] (rys. 6).

Jedna z idei, do której wciąż się nawraca w historii filozofii, daje wyraz przekonaniu, że żadnej części świata rzeczywistego nie można zrozumieć, jeżeli nie widzi się jej w kontekście wszechświata jako całości. Widzieliśmy, że przewijało się to w nauce Arystotelesa. Ideę ty określę po prostu jako holistyczną (chociaż jest to słowo, które zostało wymyślone przez generała Smutsa). Arystotelesowi- biologowi zawdzięczamy wiele idei, na których została oparta nowoczesna teoria ewolucji, do czego otwarcie przyznawał się Darwin [29j. Dokonana przez Arystotelesa klasyfikacja nauk była zalążkiem pozytywistycznej szkoły- filozofii, z której czerpiemy myśli o jedności nauki i poprawności metody naukowej jako narzędzia do badania problemów poza dziedziną nauk ścisłych. Widzę cztery główne koncepcje, które miały wpływ na filozofię systemów:

1. holizm,
2. ewolucja biologiczna,
3. jedność nauki,
4. uznanie za rzecz właściwą stosowanie metody naukowej do badań ogólnych.

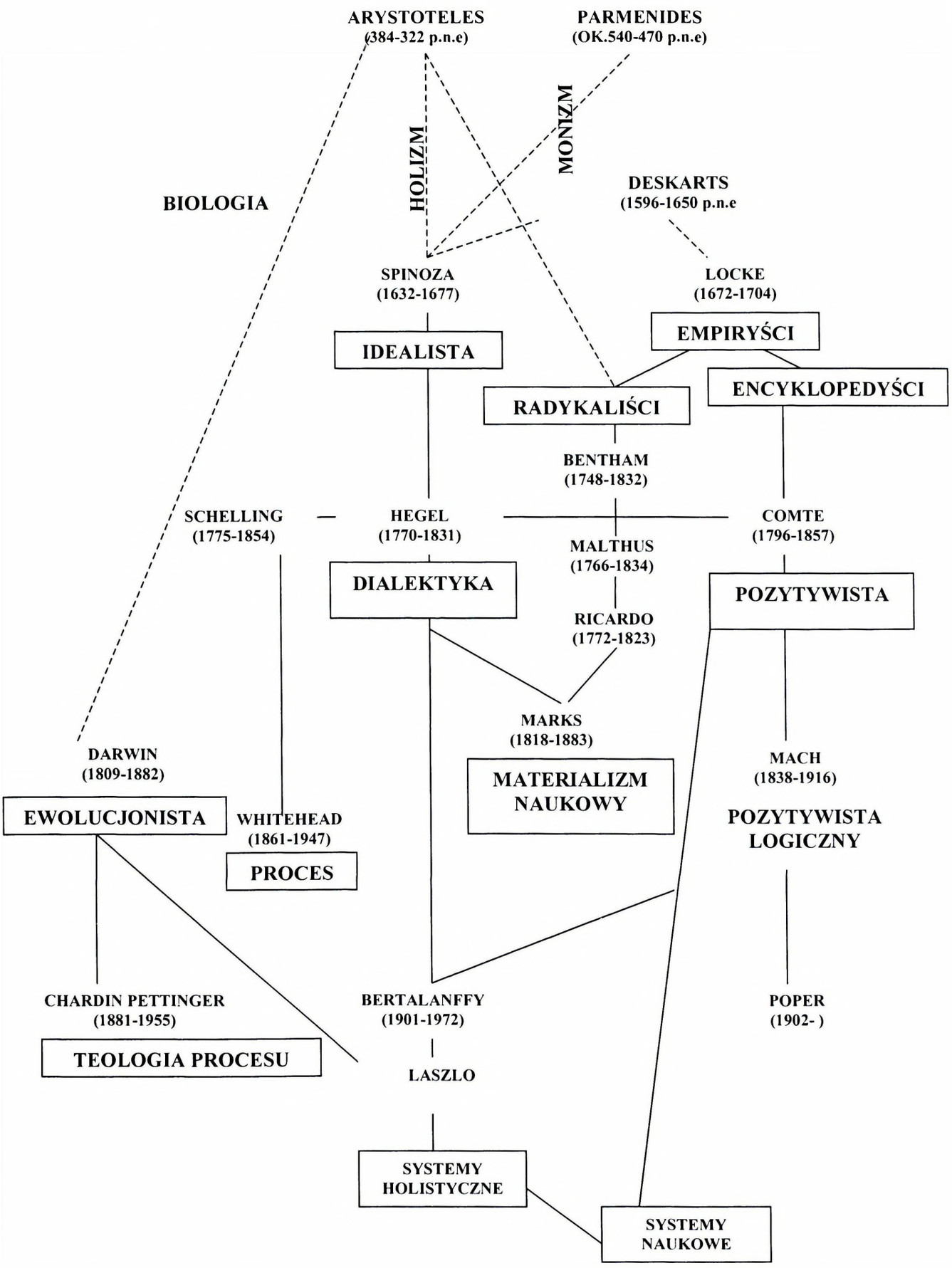
Są to źródła wpływu, które prowadzą od Arystotelesa - jemu, więc możemy nadać z a s z c z y t n y t y t u ł t w ó r c y t e o r i i .

Myśl holistyczna w jej postaci szczególnej (że część daje się w pełni zrozumieć w kontekście całości) osiąga punkt szczytowy w filozofii Hegla i niemieckiej szkole filozofii idealistycznej. obserwujemy w niej dialektyczną wspinaczkę prowadzącą do idei absolutnej

---

[2] Pomijam np. Leibniza (1647-1716), który oprócz swej ciekawej filozofii, stworzył aparat matematyczny do rozpatrywania dynamiki systemów jako całości. Było to ważne odkrycie, które prowadziło do opracowania mechaniki analitycznej i następnie do ogólnych teorii dynamicznych i optymalizacyjnych nauki o sterowaniu, o których wspomniałem powyżej.

[3] Mój szkic historyczny jest oparty na lekturze *Historii filozofii zachodniej* Russela [28].



Rys.6. Morfogeneza filozofii systemów

jako jedynej rzeczywistości. Koncepcja ta przekształca się w pogląd, że osobnik, jako cześć całości organicznej, urzeczywistnia się w pełni tylko przez swoje związki z całością. Goethe był zafascynowany tą myślą, gdy w 1785 r. (Hegel był wtedy jeszcze młodzieńcem) pisał, że „w każdym żywym jestestwie to, co nazywamy jego częściami, jest nierozłączne od całości, do takiego stopnia nierozłączne, że można je zrozumieć tylko wraz ze zrozumieniem całości i tylko jako części całości" [30].

Koncepcja Hegla a wyższości państwa jest następstwem jego idei holistycznej, podobnie jak jego pogląd, że historia jest procesem dialektycznym. Prowadzi to nas do Marksa. Mówię o Marksie nie jako o człowieku, który przyczynił się do rozwoju filozofii systemowej, ale po to, aby pokazać, że połączenie holizmu heglowskiego z dialektyką i pozytywizmem naukowym miało bardzo silny wpływ na rozwój myśli systemowej. (Na podstawie moich odwiedzin u kolegów, profesorów wyższych uczelni w krajach demokracji ludowej, mogłem przekonać się, że cybernetykę i planowanie systemowe uważa się tam za dobrze nadające się do potrzeb centralnego planowania państwowego. Nie widzę w tym nic niezwykłego: trudne zadanie zarządzania nowoczesnym złożonym państwem wymaga stosowania bardzo rozwiniętych metod, niezależnie od stanowiska politycznego.) Idealiści przejawiali tendencję do upraszczania i monizmu, ponieważ istotą rzeczywistości była dla nich zasadnicza treść zawarta w doskonałej prostocie całości. Kierunek monistyczny pochodzi od Spinozy, jego koncepcji jedności „Boga w przyrodzie". W swej *Etyce* bronił koncepcji holizmu, ponieważ stanowisko przeciwne byłoby, jego zdaniem, absurdalne, albowiem części nie miałyby nic wspólnego z całością, a całość mogłaby istnieć i być pojęta bez części, które się na nią składają" [31. Tradycja monistyczna w holizmie prowadzi wstecz do Parmenidesa (ok. 450 r. p.n.e.), który twierdził, że istnieje tylko jedna podstawowa nie zmieniająca się rzeczywistość: to, co istnieje, jest rzeczywiste.

Typ heglowski holizmu monistycznego bardzo się różni od koncepcji narastającej złożoności, którą przyjmują współcześni holiści systemowi. Narastająca złożoność jako antyteza upraszczania jest koncepcją wynikłą zarówno z przewrotu spowodowanego przez darwinowską teorię ewaluacji, jak i z rozwoju nauk biologicznych. Zastosowanie coraz silniejszych mikroskopów ujawniło w strukturze biologicznej maleńkie mikroorganizmy i ich skomplikowane powiązania. Nasuwa to myśl, że życie przedstawione przez proces ewolucji stanowi ciągły postęp ad stosunkowo prostej struktury komórki do zdumiewającej hierarchii różnorodności i biochemicznej złożoności. Pogląd taki był reprezentowany przez Whiteheada w jego *Filozofii procesu,* który jest procesem organicznym {według późniejszego Schellinga), a nie monistycznym. Idea holistyczna, która wiązała się u Whiteheada z poznaniem

złożoności biologicznej i ewolucyjnej, tworzy jedną z, głównych zasad, na których jest oparta współczesna filozofia systemów. Można się jej dopatrzyć w pracy, której autorem jest Laszlo, oraz - w postaci zabarwionej przez silne tło biologiczne - w pracach Bertalanffy'ego.

Ciekawą odroślą filozofii procesu i ewolucji darwinowskiej jest teologia procesu, której przykłady dają prace Teilharda de Chardin i Pettingera. W pracach tych wprowadza się koncepcje naukowe do teologii w celu nadania współczesnego kontekstu systemowego zarówno -myśli teistycznej, jak i deistycznej. Istotnie, niektóre nowoczesne definicje religii mogłyby być zaakceptowane przez wyznawcę poglądu systemowego jako odpowiadające jego filozofii o silnej tonacji unifikacyjnej i humanistycznej! (patrz opis poglądów, które reprezentuje Laszlo - p. (3) i (4); a oto przykład definicji: „zdrowa i normalna reakcja ducha ludzkiego na wszystko, co wiemy o prawie kosmicznym", „uczucie oparte na przekonaniu o harmonii między nami i wszechświatem jako całością" [32].

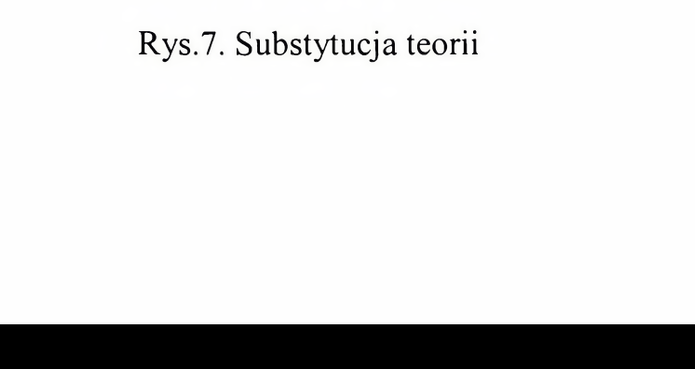
Inne ważne źródła, z których czerpie filozofia systemów, to, o dziwo, szkoła kartezjańska i szkoła empirycystyczna, które holizm traktowałyby jako fetysz. Ale z tego właśnie nurtu wynikają dwa dążenia ważne dla rozwoju filozofii systemów: unifikacja nauki i zastosowanie metody ścisłej do nauk społecznych. Pozytywista Comte mieści się w naszym schemacie, gdyż próbował ustawić wszystkie dziedziny nauki w porządku wynikającym z ich wzajemnych związków: praca jego stworzyła podstawę użytecznej klasyfikacji epistemologicznej i logicznej nauk w jej obecnej postaci. Ważne znaczenie ma również jego pogląd na rozwój filozofii. Wytycza dla nauk drogę poprzez trzy etapy: animizm, metafizykę i pozytywizm (czyli czystą abstrakcyjną teorię). Na marginesie zauważmy, że nauka o systemach znajduje się jeszcze wciąż na pewnym etapie metafizycznym, ogólna teoria systemów zaś jest pierwszym zwiastunem etapu pozytywistycznego.

Szkoła pozytywistyczna i jej spadkobiercy - pozytywiści logiczni (Mach, Carnap, Waismann) - uważali naukę za jedyną drogę do sprawdzania postrzeżeń; nauka jest, więc jedyną właściwą drogą prowadzącą do rzeczywistego poznania, albowiem spekulatywne myślenie filozoficzne nie jest wiele lepsze od mistycyzmu. Jest to pogląd surowy, ale niewątpliwie zgadzamy się z tym, że metodę naukową można -stosować do badania problemów poza sferą ścisłej wiedzy fizycznej. Popper wywodzi się od pozytywistów logicznych. Przejdę obecnie do rozpatrzenia jego krytyki poglądu, że badanie całości jest właściwym kierunkiem eksploracji naukowej. Uważam, że z jego krytyką można się zgodzić, w odróżnieniu -od jego krytyki dotyczącej natury całości, i sądzę, że apel Bertalanffy'ego wzywający do utworzenia nauki o całości powinien ulec pewnej modyfikacji. Dlatego też rozróżniam dwa nurty we współczesnej filozofii systemów: nurt „holistyczny" odpowiadający

tradycji ustanowionej przez Bertalanffy'ego i reprezentowanego przez Laszlo i nurt „naukowy" reprezentowany przez teoretyków systemów wywodzących się z nauk technicznych i nauki o zarządzaniu.

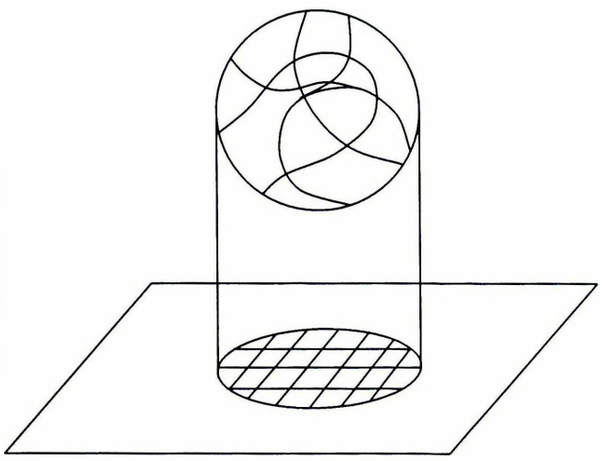
Krytyka filozofii holistycznej

Filozofowie holistyczni najnowszego okresu (np. Duhem, Quine) utrzymują, że badanie pewnej określonej teorii jest nie tylko sprawdzaniem słuszności danej teorii, ale również całego systemu teorii z nią powiązanych. Wobec tego nigdy nie możemy być pewni, którym konkretnym założeniom należy przypisać potwierdzenie słuszności tej teorii lub jej obalenie. Rozpatrując sytuację graniczną, prowadzi to do wniosku, że teorii o rzeczywistości nie można badać, rozpatrując każdą teorię z osobna, lecz jedynie wszystkie teorie łącznie, jako jedną całość. Popper wskazał, że stanowiska takiego nie da się obronić [33]. Rozpatrzmy rysunek 7. Przedmiotem badania jest teoria A. Teoria ta jest na pewno wewnętrznie powiązana z innymi teoriami, które składają się na naszą wiedzę podstawową. Postuluje się alternatywną teorię B i pokazuje się, że teoria ta lepiej odpowiada miejscu zajmowanemu przez teorię A; żadnego z dotychczasowych związków z innymi teoriami nie zrywa się i przewidywania uzyskiwane przy zastosowaniu teorii B zachowują swe znaczenie. Przyjmujemy wtedy teorię B zamiast teorii A, nie pytając o całokształt naszej wiedzy. Z drugiej jednak strony, gdy coraz trudniejsze staje się znalezienie zadowalającej odpowiedzi na problemy, które wynikają wskutek uznania teorii A za niezadowalającą, zwracamy większą uwagę na całą strukturę teoretyczną i doszukujemy się jej podstawowej wadliwości.



Rys.7. Substytucja teorii

W istocie rzeczy, powiedziałbym więcej, że ta szczególna doktryna holistyczna jest absurdalna, ponieważ nigdy nie posiądziemy całkowitej wiedzy o rzeczywistości: po pierwsze – rozumując praktycznie – życie nasze jest zbyt krótkie i możliwości naszych umysłów i maszyn matematycznych są ograniczone; po drugie - rozumując filozoficznie – sami jesteśmy częścią rzeczywistości i nie możemy pretendować do pełnej wiedzy obiektywnej. Modele, którymi się posługujemy, nawet wtedy, gdy mówimy o modelach całościowych, są w najlepszym przypadku aproksymacjami, rzutami wielowymiarowej rzeczywistości na ekran o znacznie mniejszej, skończonej liczbie wymiarów. Ponadto, takie rzutowania mogą bardzo łatwo przekształcić znaczną zawiłość w układ prosty, na skutek losowej ortogonalności osi (rys. 8). Zdajemy sobie z tego sprawę i wiele wysiłku poświęcamy na to, aby należycie sprawdzić poprawność naszych modeli. Przyznanie się do tego nie oznacza wcale, że jesteśmy redukcjonistami. Albowiem, gdybyśmy rozczłonkowali nasze modele, według tradycji metody kartezjańskiej, na części, które dałoby się dogodnie rozpatrywać, narażalibyśmy się na utratę ważnej informacji o wyższych poziomach złożonej struktury, którą model nasz ma reprezentować.



Rys. 8. Rzutowanie i ortogonalność

Redukcjonizm i holizm naukowy

Sedno sprawy polega na jednolitym sposobie podejścia do poznania, co trafnie przedstawili Koestler i in. w książce *Wyjście poza redukcjonizm (Beyond Reductionism).* Budzi to jeszcze, widocznie, wiele nieporozumień. Znany genetyk -francuski Jacques Monod [8] zarzucał holistom, że nie zrozumieli metody naukowej:„co potrafiłby zrozumieć inżynier z Marsa,

gdyby badając ziemską maszynę cyfrową z zasady odrzucił metodę rozłożenia maszyny na podstawowe elementy elektroniczne, które wykonują operacje algebry zdań?". Zgadzamy się z tym w zupełności i możemy powołać się na prace genetyków, których nadzwyczaj ważne badania mikroskopijnych struktur cybernetycznych stwierdzonych w komórkach, pozwoliły nam o wiele lepiej zrozumieć istotę życia. Ale lepsze zrozumienie uzyskano w wyniku umieszczenia nowej wiedzy genetycznej w kontekście wszystkich jej wzajemnych powiązań z tym, co już przedtem było wiadome o roślinach, wirusach, zwierzętach i ludziach. Znający się na rzeczy teoretyk systemów i filozof są zarówno redukcjonistami, jak i holistami. Zważmy dokładność, z jaką rozpatrują szczegółową strukturę systemu, ich skrupulatność przy ustalaniu właściwych relacji między obiektami, systematyczność, z jaką tworzą z tych części swój model całości, oczywiście wtedy dopiero, gdy najpierw dało się określić granice całego systemu, a także niepokój, który ich dręczy, gdy stara się stwierdzić, czy stworzony przez nich model jest właściwy. Taka jest właśnie dobra nauka hipotetyczno-dedukcyjna i taki jest dobry redukcjonizm i holizm.

Całości społeczne

Wracając do Poppera i jego generalnej krytyki holizmu, należ stwierdzić, że w rzeczywistości odnosi się ona do koncepcji holistycznych w naukach społecznych i teoriach politycznych. Można Popperowi poniekąd przyznać rację, gdy się zważy wypaczenia wynikłe z postaw idealizmu heglowskiego; ale Popper odrzuca zarazem, jako naiwne, podejmowane przez nauki społeczne próby „badania zachowania społecznych struktur całościowych, takich jak grupy, narody, klasy, społeczeństwa, cywilizacje itp. Tego rodzaju struktury społeczne pojmuje się jako obiekty empiryczne, które nauki społeczne badają w taki sam sposób, jak nauki biologiczne badają zwierzęta lub rośliny". Popper uważa, że takie społeczne struktury całościowe są jedynie konstrukcjami teoretycznymi, nie mającymi żadnego właściwego znaczenia empirycznego i dalej wyraża pogląd, „że zjawiska społeczne obejmujące zbiorowości należy analizować w kategoriach poszczególnych osobników, ich działań i relacji"[35].

W swej argumentacji Popper poddaje w wątpliwość niektóre spośród podstawowych tez ruchu systemowego, mianowicie: tezę, że użyteczną wiedzę można uzyskać przez badanie izomorfizmów między systemami utworzonymi przez człowieka, systemami żywymi i systemami fizycznymi; tezę, że możliwe jest badanie modeli zachowania, które dają się zaobserwować w konfliktach ekonomicznych i konfliktach między narodami. Popper uważa,

że badania takie są faktycznie pozbawiane sensu. Prowadzi to nas na głębokie wody rozważań, czy w ogóle można mówić o naukach społecznych jako naukach, dlatego nie zamierzam dalej rozwijać tego tematu. Wystarczy powiedzieć, że teoretyk systemów zdaje sobie dobrze sprawę z tego rodzaju argumentów i niedoskonałości modeli holistycznych, ale posługuje się nimi, ponieważ istnieją tu i ówdzie problemy piln2e wymagające rozwiązania i nie można czekać do czasu uzyskania lepszych teorii i lepszej informacji. Bardzo znanym przykładem są prace nad modelem zasobów światowych, co jest obecnie modnym tematem i zarazem przedmiotem ostrej i szerokiej krytyki. Korzystamy z pomocy symulacji na maszynach cyfrowych, których moc obliczeniowa stale się zwiększa, i wierzymy, że nasze prace prowadzą do wyje śnienia pewnych zagadnień. W wyniku takich prac wyłaniają się oryginalne problemy i następuje ustalenie kierunków dalszych szczegółowych badań, które powinny być podjęte. Czy prace te należy kontynuować, czy też ich zaniechać, dlatego, że obecnie nie jesteśmy w stanie ich lepiej wykonać?

Wnioski

Jest rzeczą jasną, że zakres zagadnień, którymi ma zajmować się filozofia systemów, jest szeroki; oprócz ontologii systemów - (na czym polega istota systemowości?) - istnieją ważne problemy epistemologiczne dotyczące poprawności teoretycznej redukcjonizmu, holizmu i konstrukcji teoretycznych określanych mianem modeli, które reprezentują większe lub mniejsze struktury całościowe. Moim zdaniem, ruch systemowy znajduje się obecnie w połowie drogi między ścisłym pozytywizmem logicznym a holizmem utopijnym. Jestem przekonany, że nasza mocna realistyczna postawa, dotycząca zagadnień modelowania, zachowania systemowego i holizmu, przyczyni się do wniesienia znacznego i istotnego wkładu do dyskusji również, dlatego, że ruch nasz jest ściśle powiązany z tradycją naukową.

Jest obecnie za wcześnie, by wyrokować o filozofii systemów i nauki o systemach, będących w toku powstawania. Obie te dyscypliny podejmują się roli unifikacji i integracji nauki oraz filozofii. Jest to pożyteczne i zgodne z duchem czasu, który żąda solidnego, interdyscyplinarnego ujęcia, odpowiadającego złożoności problemów, z którymi spotykamy się przy badaniu konfliktów wnoszonych przez człowieka do biosfery, technosfery i noosfery (stosuję tu terminologię, której inspiratorem jest de Chardin). Nie ulega wątpliwości, że zastosowanie koncepcji systemowych w dziedzinie nauczania może przynieść istotne korzyści: szanse na zmniejszenie dystansu między sztuką i nauką, (który, rzecz dziwna, jest tak przesadny w Anglii) stwarzają ramy, pozwalające na utworzenie jednolitych kursów

wychodzących poza konwencjonalne bariery między dyscyplinami, ale nade wszystko dają nadzieję na udoskonalenie poznania, które prowadzi do korzystniejszego rozwoju całokształtu możliwości ludzkich w duchu klasycznej tradycji humanistycznej. Mogliśmy się przekonać, że koncepcje i metody stosowane w zasięgu ruchu systemowego, zarówno w postaci nauki, jak i filozofii, wnoszą nowe wymiary do istniejących modeli - proponując zunifikowaną teorię systemów behawioralnych, połączenie różnych wątków filozoficznych, które, jak należy oczekiwać, pozwolą głębiej wnikać w istotę poznania.

Dla zakończenia szuka się zwykle jakieś mądrej myśli. Najlepsza, jaką znajduję, zawarta jest w słowach A. N. Whiteheada: „System naukowe i filozoficzne pojawiają się i przemijają. Każda metoda poznania ograniczonego została już całkowicie wyczerpana. W swym początkowym rozwoju każdy system jest oszałamiającym powodzeniem; u swego schyłku staje się nieznośną zawadą. Przejście do nowego, płodnego sposobu pojmowania osiąga się przez nawrót do najgłębszych warstw intuicji w celu odświeżenia wyobraźni. W końcu - chociaż właściwie końca nie ma - to, co się osiąga, jest szerokością spojrzenia, znajdującą wyraz w tworzeniu większych możliwości" [36].

Z języka angielskiego przełożył C. *Berman*

A Perspective On Systems Science and Systems Philosophy

by P. K. *M'Pherson*

A philosophical survey of Systems Science and Systems Philosophy is offered to provide an integrated, if personal, wiew of the ideas within the contemporary systems movement. An attempt is mole to establish the validity of the two disciplines by meeting some of the criticisms levelled at the systmes paradigm - particularly Sir Karl Popper's attacks on Holisitic thought. During the discourse the arguments that rage around Reductionism and Holism will be Been to containo some confused thinking, and it is suggested that philosnphy, theories and methods in Systems Science and Systems Philosophy offer a means far bringing Reductionism and Holism into a satisfactory alliance.

ZAŁĄCZNIK 6

ZAGADNIENIA

NAUKOZNAWSTWA

3-4 (67-68), 1981

Krzysztof Tchoń

Teoria systemów jako podstawa komunikacji międzydyscyplinowej

ZAGADNIENIA
NAUKOZNAWSTWA
3-4 (67-68), 1981

Krzysztof Tchoń

Teoria systemów jako podstawa komunikacji międzydyscyplinowej

W pracy została sformułowana teza, że systemy, tak jak rozumie je teoria systemów, stanowią podstawowe kanały komunikacji międzydyscyplinowej. Określono dwie relacje komunikacji międzydyscyplinowej realizowane za pośrednictwem systemów stanowiących modele bądź metafory sytuacji problemowych w dyscyplinach, między którymi zachodzi komunikacja. Rozważania zostały zilustrowane przykładem komunikacji międzydyscyplinowej zachodzącej za pośrednictwem elementarnej teorii katastrof.

> To understand an event, ar a sequence of events, means to fit it into a preconceived scheme of thought or perception. It may be a scheme shared by many, or it may be one's own private scheme. At one extreme are the conceptual schemes of science, called theories, at the other, the delusiors of psychotics.
>
> *(A, Rapoport: The* Big Two)

1. Potrzeba komunikacji międzydyscyplinowej

Cechą charakterystyczną nauki ostatnich dziesięcioleci jest stale rosnąca i coraz dokuczliwsza specjalizacja, przejawiająca się w kreowaniu nowych, często bardzo wąskich i hermetycznych, dyscyplin i subdyscyplin naukowych. Już przed czterdziestu laty pisał Wiener [1]: „Dziś niewielu tylko uczonych można określić bez zastrzeżeń mianem matematyka, fizyka, biologa. Są natomiast topologowie, akustycy lub specjaliści od tęgopokrywych". Od owych czasów ten stan dezagregacji struktury dyscyplinowej nauki uległ widocznemu pogłębieniu. Pojawiły się liczne wyspecjalizowane dyscypliny leżące „na styku" dyscyplin „tradycyjnych", takie jak biofizyka, biochemia, biomatematyka, bioelektronika [2], socjobiologia, itd.

Przekonanie, że istniejący stan „kompartmentalizacji" nauki jest niezwykle niekorzystny dla samej nauki i samych naukowców zaczęło zdobywać popularność w społeczności uczonych wówczas, gdy pojawiły się wielkie problemy i programy badawcze, wymagające ścisłej współpracy specjalistów z różnych dyscyplin naukowych. Programy takie, jak na przykład dotyczący maszyn cyfrowych czy automatycznego sterowania artylerią przeciwlotniczą, zainicjowano pod koniec II wojny światowej. Realizacja wielkich programów badawczych spowodowała przewrót w organizacji badań naukowych, a w wymiarze indywidualnym - zmusiła specjalistów z poszczególnych dziedzin do takiego formułowania podstawowych problemów i uzyskiwanych rezultatów, by były zrozumiałe dla specjalistów z innych dziedzin, będących uczestnikami badań. Powstała potrzeba komunikowania się za pomocą „wspólnego języka".

Wobec ogłaszania coraz liczniejszych wielkich programów badawczych musiało dojść do rewizji metod rozwiązywania problemów. Wymogi najprostszej ekonomii pracy naukowej skłaniały z jednej strony do poszukiwania dla problemów powstających w jednej dyscyplinie gotowych metod i modeli, które okazały się skuteczne przy rozwiązywaniu innych problemów, w innych dyscyplinach. Pojawił się zatem transfer międzydyscyplinowy metod i modeli [3]. Z drugiej strony, rozpoczęto intensywne poszukiwania nowych środków rozwiązywania problemów,. środków możliwie najbardziej skutecznych i uniwersalnych zarazem. Terenem tych poszukiwań stała się matematyka wspierana wciąż udoskonalanymi maszynami cyfrowymi. Potrzeba rozwiązania konkretnych problemów doprowadziła do „wynalezienia" metod sieciowych, teorii gier, teorii informacji, cybernetyki itd.

Konieczność wzajemnego rozumienia się przez współpracujących specjalistów stworzyła podatny grunt dla zaakceptowania przez badaczy teorii systemów, której podstawowe założenia zostały sformułowane przez Bertalanffy'ego w latach trzydziestych. Teoria systemów dala początek nowej koncepcji .jedności nauki, jedności w różnorodności [4] i jedności przez różnorodność [5], [6], [7], [8]. Jedność ta wynika z uniwersalności pewnych schematów myślenia, paradygmatów i struktur badawczych i realizuje się przez różnorodność dyscyplin, w których te schematy i struktury znalazły zastosowanie. Stale otwarta lista tych struktur stanowi przedmiot badań teorii systemów.

2. Źródła i zadania teorii systemów

Teoria systemów znalazła rezonans w społeczności uczonych w drugiej połowie lat czterdziestych, w formie opracowanej przez von Bertalanffy'ego. Wypada jednak pamiętać o

dwóch prekursorach teorii systemów, którzy sformułowali jej założenia w sposób bardzo zbliżony do założeń obecnie akceptowanych -już w pierwszym dwudziestoleciu naszego wieku, lecz nie znaleźli aprobaty swoich współczesnych. Mam tu na myśli, inspirowane rozważaniami filozoficznymi lub para-filozoficznymi, koncepcje J. Ch. Smutsa i A. A. Bogdanowa [9], [10]. Jest rzeczą niemal nieznaną, że w ramach koncepcji Bogdanowa mieści się zarówno teoria systemów otwartych, sformułowana później przez von Bertalanffy'ego, jak i teoria kryzysów, będąca zapowiedzią teorii katastrof Thoma. Zarówno Bogdanow jak i Bertalanffy sformułowali założenia teorii systemów, biorąc za punkt wyjścia sytuację panującą w uprawianych przez nich dyscyplinach. Tektologia Bogdanowa opiera się na hipotezie o jedności procesów organizacyjnych w naturze i społeczeństwie. U podstaw teorii systemów Bertalanffy'ego legio przekonanie o istnieniu takiej jedności w świecie ożywionym i nieożywionym.

Powołane na początku lat pięćdziesiątych Society for General Systems Research postawiło przed teorią systemów następujące zadania [7]. [11]:

1) Badanie izomorfizmu koncepcji, praw i modeli w różnych dziedzinach i wspomaganie transferu użytecznych koncepcji, praw i modeli z jednej dziedziny do drugiej.

2) Popieranie rozwoju adekwatnych modeli teoretycznych w dziedzinach, w których ich brak.

3) Eliminacja zjawiska duplikowania badań teoretycznych w różnych dziedzinach.

4) Promowanie jedności nauki przez doskonalenie komunikowania się specjalistów.

Zdania te, w połączeniu z następującą „operacyjną" definicją systemu [7]: system ogólny jest to dowolny system teoretyczny interesujący dla więcej niż jednej dyscypliny, dowodzą, że teoria systemów ma na celu umożliwianie i ułatwianie komunikowania się specjalistów. W dalszym ciągu zobaczymy dokładniej jak teoria systemów realizuje ten cel.

Termin „teoria systemów" ma dwa różne znaczenia. Pierwsze z nich prowadza teorię systemów do roli pewnego ruchu umysłowego, punktu widzenia, orientacji badawczej [3], [5], [6], [7], [16]. W drugim znaczeniu teoria systemów jest teorią modeli zjawisk rzeczywistości, modeli matematycznych, maszyn matematycznych, fizycznych, pojęciowych, itd. [3], [5], [12], [13], [14], [15], [16]. W obrębie teorii systemów w tym drugim znaczeniu można wyróżnić teorie systemów, zajmujące się jednym, skreślonym wzorcem - schematem - modelem - systemem i ogólną teorię systemów, której zadaniem jest badanie własności wspólnych wszystkim systemom szczegółowym. Oczywiście, do najbardziej zaawansowanych należą te szczegółowe teorie systemów, które mają charakter matematyczny. Można je z grubsza podzielić na teorię systemów dynamicznych i teorię

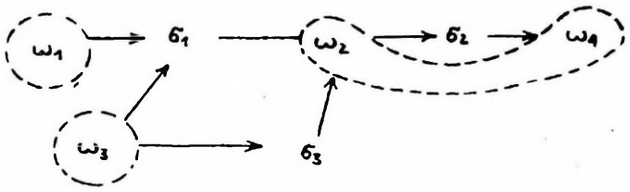
systemów decyzyjnych [3]. Pierwsza teoria systemów skupia się wokół pojęcia systemu dynamicznego, druga - na schemacie optymalizacji. Obie teorie przenikają się na gruncie mechaniki [13], [17]. gnanymi szczegółowymi teoriami systemów dynamicznych są: teoria automatów, teoria systemów liniowych ciągłych i dyskretnych, teoria systemów sterowania. Do teorii systemów decyzyjnych można zaliczyć programowanie liniowe i dynamiczne, wielopoziomowe systemy optymalizacji, metody sieciowe. Teoria katastrof wnosi swój wkład do obu wspomnianych teorii.

3. Słaba i mocna komunikacja międzydyscyplinowa

Rozważmy sytuację, jaka wynika z „dobudowania" do danej struktury dyscyplinowej nauki - rozwiniętej teorii systemów, rozumianej zarówno jako źródło potencjalnych modeli, jak i dyrektywa ich stosowania. Mówiąc w pewnym uproszczeniu, z jednej strony mamy zatem do czynienia z klasą $\sum = \{\sigma_1, \sigma_2, ..., \sigma_k\}$ mniej lub bardziej „ogólnych" systemów, z drugiej - z klasą dyscyplin $\Delta = \{\sigma_1, \sigma_2, ..., \sigma_l\}$ oraz obiektów, będących przedmiotem sytuacji problemowych ([4], [24], [28]) w tych dziedzinach: $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, ..., \omega_m\}$, przy założeniu, że każdej dyscyplinie odpowiada co najmniej jeden obiekt z klasy Ω.

Przyjmijmy, że obiekty $\omega \in \Omega$ zostały skonceptualizowane w taki sposób, iż możliwe jest określenie relacji modelowania $R \subset \sum \times \Omega \cup \Omega \times \sum$. Relacja modelowania może być określona za pośrednictwem pewnych homomorfizmów ([12], [17], [18], [19], [20]). Jeżeli para $(\sigma, \omega) \in R$ będziemy mówić, że obiekt ω jest modelem systemu σ lub, że system a jest metaforą obiektu ω [12]). Analogiczną terminologię zastosujemy w przypadku, gdy $(\sigma, \omega) \in R$

Ze względu na poglądowy charakter naszych rozważań, nie będziemy szczegółowo precyzować warunków, jakie powinna spełniać relacja modelowania *R*. Wydaje się, że warunki dyskutowane w pracy [21], w odniesieniu do tzw. sieci Petriego, zasługują tu na uwagę. Relacja modelowania może być reprezentowana jako graf. Przykładowy graf modelowania został przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Przykładowy graf modelowania.

Układ (Σ,Ω,R), gdzie R jest relacją modelowania, nazwiemy siecią modelowania [21]. Dla każdego elementu $x \in \Sigma \cup \Omega$ definiujemy zbiory „poprzedników" $P(x) = \{ y \in \cup \Omega : (y,x) \in R\}$ i „następników" - $N(x) = \{y \in \Sigma \cup \Omega : (x,y) \in R\}$. Zauważmy, że jeżeli $x \in \Sigma$, to $P(x)$, $N(x) \subset \Omega$; jeżeli $x \in \Omega$, $P(x)$, $N(x) \subset \Omega$. Dla grafu modelowania przedstawionego na rysunku mamy np.: $P(\sigma_1) = \{\omega_1, \omega_3\}$, $N(\sigma_1) = \{\omega_2\}$. Zbiór $P(x)$ składa się z metafor elementu x, zbiór $N(x)$ konstytuują modele x. Elementy zbiorów $P(x)$ i $N(x)$ możemy uważać za - w pewnym sensie - analogiczne [12], [22].

Jak zaznaczyliśmy, każdej dyscyplinie $\sigma \in \Delta$ odpowiada pewien zbiór obiektów ω, zaangażowanych w sytuację problemową tej dyscypliny. Przyporządkowanie to wyznacza na zbiorze Ω pewną relację równoważności. Klasy obiektów równoważnych (tj. odpowiadających tej samej dyscyplinie) będziemy utożsamiać z tą dyscypliną. Przyjmując jako punkt wyjścia sieć modelowania (Σ, Ω, R), proponujemy wprowadzenie dwóch następujących relacji komunikacji międzydyscyplinowej:

a) Relacja słabej komunikacji międzydyscyplinowej.

Powiemy, że dyscyplina σ jest w relacji słabej A-komunikacji (komunikacji przez analogię) do dyscypliny. σ', jeżeli dla pewnych obiektów $\omega \in \sigma$, $\omega' \in \sigma$ istnieje system $\sigma \in \varepsilon$; taki, że $\omega, \omega' \in P(\sigma)$ lub $\omega, \omega' \in N(\sigma)$. Przyjmując dla grafu z rysunku $\sigma = \{\omega_1\}$, $\sigma_2 = \{\omega_3\}$, $\sigma_3 = \{\{\omega_2, \omega_4\}$, zauważamy od razu, że dyscypliny σ_1, σ_2 są w relacji słabej A-komunikacji. Nie trudno sprawdzić, że relacja słabej A-komunikacji jest symetryczna.

Powiemy, że dyscyplina σ jest w relacji słabej M-komunikacji (komunikacji przez model) do dyscypliny σ', jeżeli dla pewnych obiektów $\omega \in \sigma$, $\omega \in \sigma$' i pewnego (parzystego) n zachodzi $\omega R^n \omega'$. Symbolem R^n oznaczamy n-krotne złożenie relacji R ze sobą. Dyscypliny σ, σ' są w relacji M-komunikacji, jeżeli w grafie modelowania istnieje droga łącząca pewne obiekty $\omega \in \sigma$ i $\omega' \in \sigma$'. W przedstawionym przykładzie dyscypliny σ_1, σ_3 oraz σ_2, σ_3 są w relacji słabej M-komunikacji.

Powiemy, że dyscyplina σ jest w relacji słabej M*-komunikacji (komunkacji przez metaforę) do dyscypliny σ', jeżeli dla pewnych obiektów $\omega \in \sigma$ i $\omega' \in \sigma$' oraz pewnego (parzystego) n zachodzi $\omega (R \cup R^{-1})^n \omega'$. Relacja M*-komunikacji między dyscyplinami σ,σ' zachodzi wtedy i tylko wtedy, gdy w grafie modelowania istnieje łańcuch łączący pewne $\omega \in \sigma$ i $\omega' \in \sigma$'. Relacja słabej M*-komunikacji jest symetryczna.

Oznaczmy zdefiniowane wyżej relacje słabej komunikacji odpowiednio symbolami: C_A, C_M, $C_M^* \subset \Delta \times \Delta$. Z przyjętych definicji łatwo wynika, że $C_A \subset C_M^*$ oraz $C_M \subset C_M^*$. Relacje

słabej komunikacji międzydyscyplinowej C_W możemy zatem określić po prostu jako $C_W = C_A \cup C_M \cup C_M^* = C_M^*$. Dwie dyscypliny pozostają do siebie w relacji słabej komunikacji, jeżeli pewne obiekty tych dyscyplin mogą być połączone łańcuchem złożonym z metafor lub modeli tych obiektów i pewnych systemów. Układ (Δ, C_W) będziemy nazywać siecią słabej komunikacji międzydyscyplinowej.

b) Relacja mocnej komunikacji międzydyscyplinowej.

Relacja mocnej komunikacji międzydyscyplinowej opiera się na mocnych relacjach *A*-, *M*- i M*-komunikacji. Sposób ich określenia zilustrujemy na przykładzie relacji mocnej *A*-komunikacji.

Powiemy, że dyscypliny σ, σ' są w relacji mocnej A-komunikacji, jeżeli dla każdego obiektu $\omega \in \sigma$ i każdego $\omega' \in \sigma'$ oraz pewnego n zachodzi związek $\omega (R \cup R^{-1}) \omega$. Relację mocnej komunikacji międzydyscyplinowej definiujemy w sposób analogiczny do relacji słabej komunikacji jako: C_S = mocnej relacji M*-komunikacji. Układ (Δ, C_S) nazwiemy siecią mocnej komunikacji międzydyscyplinowej.

Zastanówmy się teraz nad konkretnymi przykładami relacji modelowania. Jak się wydaje, większość dotychczasowych i współczesnych badań systemowych koncentruje się na poszukiwaniu metafor procesów biologicznych [12]. Ten swoisty biocentryzm teorii systemów wynika nie tyle z faktu jej „biologicznego" rodowodu, co raczej z tego, że problemy biologiczne *sensu largo* należą do najważniejszych i najtrudniejszych problemów współczesnej nauki. Zauważmy, że do metafor procesów biologicznych należą nie tylko fizyko-chemiczne, biochemiczne i bioelektryczne „modele" życia, lecz także każda rozwinięta szczegółowa teoria systemów. Rolę tę spełniają: teoria automatów, teoria sieci neuronowych, teoria systemów otwartych, teoria katastrof i rozwidlenia, itd. Metafory te odnoszą się do poszczególnych aspektów funkcjonowania lub organizacji organizmów żywych. Żadna z nich nie zasługuje na miano modelu. Przekazując naszą wiedzę biologiczną posługujemy się wyłącznie metaforami. Podobną rolę metafory odgrywają np. hierarchiczne systemy optymalizacji w odniesieniu do organizacji systemów zarządzania produkcją czy społeczeństwem.

Widzimy, że istnieje wiele obiektów $\omega \in \Omega$, dla których $N(\omega) = 0$. Może to zrodzić wątpliwości, czy w ogóle istnieją obiekty $\omega \in \Omega$, posiadające następniki (modele)? Odpowiedzi twierdzącej możemy udzielić, jeżeli idzie np. o proste układy fizyczne, takie jak para mas, ładunków punktowych czy mas magnetycznych. Wspólny dla tych obiektów model ma postać „prawa odwrotnych kwadratów" [3]. Dysponujemy także adekwatnymi modelami

niektórych sieci elektrycznych, zjawisk wzrostu ekonomicznego i ekologicznego, znamy modele zjawisk zachodzących w różnych instalacjach przemysłowych i globalne modele ekonomiczne w skali makro [23]. Rozwój teorii systemów zmierza do stopniowej eliminacji tych obiektów, dla których $P(\omega)$, *a* zwłaszcza $N(\omega)$, są puste.

4. Komunikowanie się za pośrednictwem teorii katastrof

Przedstawiony w poprzednim rozdziale schemat komunikacji międzydyscyplinowej przez systemy postaramy się zilustrować w sensie bardzo ;,lokalnym", skupiając uwagę na elementarnej teorii katastrof i wykorzystywanych w tej teorii siedmiu systemach zwanych katastrofami elementarnymi. Naszym zadaniem nie będzie przy tym prezentowanie teorii katastrof - zainteresowany Czytelnik może skorzystać z prac [24, 25), mających charakter wprowadzenia lub z bardziej zaawansowanych prac [26, 27). Pragniemy tu jedynie podać listę wybranych obiektów (zjawisk, procesów) badanych przez różne dyscypliny nauk, których modeli lub metafor dostarcza teoria katastrof. Lista ta będzie zarazem świadectwem zasięgu komunikacji międzydyscyplinowej uzyskiwanej przez teorię katastrof. A oto jak przedstawia się ta lista:

1. Fizyka.

Obiekt	System	Typ relacji *R*
Przemiana fazowa ciecz-gaz	Katastrofa typu ostrze (26)	Metafora
Kaustyki świetlne	Katastrofy typu ostrze, jaskółczy ogon, pępek hiperboliczny i eliptyczny [26), (27].	
Maszyna Zeemana	Katastrofa typu ostrze [26]	Model

2. Biologia.

Obiekt	System	Typ relacji *R*
Morfogeneza	Wszystkie 7 katastrof [27)	Metafora
Pobudzanie mózgu	Katastrofa typu ostrze [26)	Metafora

3. Psychologia.

Obiekt	System	Typ relacji *R*
Agresja	Katastrofa typu ostrze [26)	Metafora
Spór	j:w.	Metafora

4. Socjologia.

Obiekt	System	Typ relacji *R*

Cenzura	Katastrofa typu ostrze [26)	Metafora
Zaburzenia społeczne	j.w.	Metafora
Wojna	j.w.	Metafora
Rewolucja naukowa	j.w. [24), [28)	Metafora

5. Ekonomia.

Obiekt	System	Typ relacji *R*
Giełda	Katastrofa typu ostrze [26)	Metafora
Przetarg	j.w.	Metafora.

Przedstawiona lista wskazuje, że teoria katastrof umożliwia słabą komunikację między wszystkimi wymienionymi dyscyplinami nauki. Fakt, że relacja modelowana dla większości „modeli" teoriokatastrofowych ma charakter metafory (tzn. istnieje raczej możliwość „dopasowania" rzeczywistości do poszczególnych katastrof niż odwrotnie, [24] i zamieszczona tam bibliografia), nie umniejsza, w naszym przekonaniu, ważnej roli „komunikacyjnej", jaką ma do odegrania teoria katastrof we współczesnej nauce.

5. Uwagi końcowe

Zaprezentowane rozważania na temat komunikacji międzydyscyplinowej były oparte na założeniu, że, po pierwsze, komunikacja taka jest nieodzowna, po drugie - że wobec hermetyczności języków poszczególnych dyscyplin, komunikowanie się specjalistów wymaga powstania „wspólnego języka". Stawiamy i próbujemy umotywować tezę, że jednym z takich wspólnych języków jest teoria systemów. Świadczy o tym rozpowszechnienie się w nauce wielu terminów teoriosystemowych, jak na przykład: system, system otwarty i zamknięty, równowaga, stabilność, homeostaza, homeoreza, ekwifinalność, stabilność strukturalna, system hierarchiczny, sprzężenie zwrotne, koordynacja, morfogeneza, ka-, tastrofa, bifurkacja, itd.

Doceniając znaczenie teorii systemów, należy równocześnie zdawać sobie sprawę z jej ograniczeń. Wynikają one z tego, że „moc modelująca" teorii systemów odnosi się wyłącznie do wspólnych aspektów organizacji obiektów i procesów badanych przez poszczególne dyscypliny nauki ([12], [13]), przy abstrahowaniu od ich specyficznej struktury. W tym kontekście, komunikacja przez teorię systemów może być uznana jako w pewnym sensie powierzchowna. Niemniej jednak, teoria systemów jest dziedziną, która umożliwia „zadzierzgnięcie" odpowiedniej sieci komunikowania się naukowego.

Bibliografia

1. W i e n e r N.: Cybernetyka. Warszawa 19 71 PWN.
2. S e d l a k W.: Bioelektronika. Warszawa 1979 PAX.
3. B e t t a J. i in.: Podstawy teorii systemów. Skrypt Politechniki Wrocławskiej (w przygotowaniu).
4. G o ć k o w s k i J.: Struktura dyscyplinowa nauki a sieci komunikowania się naukowego. Raport INS Politechniki Wrocławskiej nr 28, 1980.
5. B e r t a l a n f f y L. von.: General System Theory. Braziller N. Y. 1968.
6. L a s z l o E.: Introduction to Systems Philosophy. Gordon and Breach, N. Y. 1971.
7. B o u l d i n g K. E.: General Systems as an Integrative Force in the Social Sciences. W: W. Gray, N. D. Rizzo [red.]: Unity Through Diversity. Gordon and Breach, N.Y. 19 71, ss. 951-968.
8. R o s e n R.: A. Survey of Dynamical Descriptions of System Activity. W: W. Gray, N. D. Rizzo [red.]: Unity Through Diversity. Gordon and Breach N.Y. 1971, ss. 461-478.
9. G o r e l i k .G.: Principal Ideas of Bogdanov's Tektology - the Universal Science of Organization. "Gen. Syst." vol. XX 1975, ss. 3-13.
10. Z e l e n y M.: Cybernetics and General Systems - a Unitary Science? "Kybernetes", vol. 8 1979, ss. 17-23.
11. G a u s e D. C., W e i n b e r g G. M.: On General System Education. "Gen. Syst.", vol. XVIII 1973, ss. 137-146.
12. R o s e n R.: Biology and Systems Research: An Overview. W: G. J. Klir [red.]. Applied General Systems Research. Plenum Press, N.Y. 1987, ss. 489-510.
13. R o s e n R.: Old and New Trends in General Systems Research. "Int. J. Gen. Syst.", vol. 5 1979, ss. 173-184.
14. G a i n e s B. R.: Progress in General Systems Research. W: G. J. K l i r [red.]: Applied General Systems Research, Plenum Press, N. Y. 1978, ss. 3-28.
15. K l i r G. J.: From General Systems Theory to General Systems Profession. W: W. G r a y. N. D. R i z z o red.: Unity Through Diversity. Gordon and Breach,. N. Y. 1971, ss. 513-535.
16. W e i n b e r g G. M.: Myślenie systemowe. Warszawa 1980 PWN.
17. R o s e n R.: Is There a Unified Mathematical Biology? W : R. R o s e n red.:

Foundations of Mathematical Biology. Ac. Press, N Y. 1973, ss. 361-393.

18. J a r o ń J:: Systemie Prolegomena to Theoretical Cybernetics. Monografie ICT Politechniki Wrocławskiej Wrocław 1978.
19. S i e r o c k i L, T c h o ń K.: Reasoning by Analogy and Dynamical Systems. W: P. d e H a n i k a, R. T r a p p l [red.] Progress in Cybernetics and Systems. Research. Hemisphere, Washigton, vol. 10 (w przygotowaniu).
20. A s h b y W. R.: Wstęp do cybernetyki. Warszawa 1961 PWN.
21. Petri C. A.: Non-sequential Processes. GMD Bonn, Report ISR-75-05, Bona 1977.
22. B u n g e M.: Analogy, Simulation, Representation. "Gen. Syst.", vol. XV 1970, ss. 27-34.
23. M e s a r o v i c M. D., P e s t e l E.: Ludzkość w punkcie zwrotnym ? Warszawa 1977 P W E.
24. T c h o ń K., W o j c i e c h o w s k a J.: Thom's Classification Theorem and itr Applications. „Postępy Cybernetyki" 1981 (w przygotowaniu).
25. 25. C h i l l i n g w o r t h D. R. J.: Structural Stability of Mathematical Models. W: J. G. A n d r e w s, R. R. M c L o n e [red.]: Mathematical Modelling. London 1976 Butterworths (przekład rosyjski Mir, Moskwa 1979, ss. 249-278)
26. Z e e m a n E. C.: Catastrophe Theory. London 1977 Addison-Wesley.
27. T h o m R., Structural Stabilny and Morphogenesis. N. Y. 1975 Benjamin.
28. 28. G o ć k o w s k i J. i in.: On a Catastrophe Theory Approach to the Development of Sience. W: P. de H a n i k a, R. T r a p p l [red.]: Progress in Cybernetics and Systems Research. Hemisphere. vol. 11 (w przygotowaniu).

ZAŁĄCZNIK 7

Georg Wintgen

SYSTEM CYBERNETYCZNY W ŚWIETLE TEORII MNOGOŚCI

RADA PROGRAMOWA

Janusz Gościński
Henryk Halama
Jerzy Kortan
Stanisław Kowalewski (Przewodniczący)
Tadeusz Kotarbiński
Leszek Krzyżanowski
Jerzy Lutosławski
Ryszard Manteuffel
Władysław Radzikowski
Jerzy Trzcieniecki
Zygmunt Zbichorski
Jan Zieleniewski

KOMITET REDAKCYJNY

Jerzy Kurnal (Redaktor Naczelny)
Mieczysław Dąbrowski (Sekretarz Redakcji)
Jakub Drozdowicz
Zbigniew Gackowski
Zbigniew Heidrich
Tadeusz Kasprzak
Witold Kieżun
Salomea Kowalewska

ZESPÓŁ CZŁONKÓW KORESPONDENTÓW

Marcin Bielski — Łódź
Edward Burdziński — Katowice
Wiesław M. Grudzewski — Wrocław
Zbigniew Martyniak — Kraków
Mieczysław Pietrusiński — Gdańsk, Trójmiasto
Zbigniew Szeloch — Lublin, Rzeszów
Kazimierz Zimniewicz — Poznań, Zielona Góra

Georg Willgeit

W ŚWIETLE TEORII MNOGOŚCI

Tytuł oryginału — *Zur mengentheoretischen Definition und Klassifizierung kybernetischer Systeme* **

Tłumaczenia z języka niemieckiego dokonał dr Józef Oleński

1. WPROWADZENIE

W pracy tej zajmiemy się niektórymi podstawowymi pojęciami i elementarnymi modelami cybernetyki, które mają duże znaczenie w cybernetyce ekonomicznej. Centralnym punktem naszych rozważań będzie pojęcie systemu. Postaramy się podać matematycznie ścisłe, tzn. teoriomnogościowe definicje tych pojęć. Główna trudność przy tym polega na tym, aby przy pomocy definicji matematycznej ustalić istotne, najważniejsze składniki interesującego nas pojęcia, które obecnie przedstawia się w sposób niejasny i wielostronny. Bogata dyskusja nad pojęciem systemu, która między innymi toczyła się w Naukowym Towarzystwie Cybernetyki Ekonomicznej, wykazała jeszcze raz, jak żmudne i mozolne jest wypracowanie ścisłych i powszechnie akceptowanych definicji tych właśnie najbardziej ogólnych i najbardziej owocnych pojęć cybernetycznych. Każdy naukowiec abstrahuje od nich, mimo że z pojęć tych wychodzi w swoich dociekaniach naukowych i pozanaukowych.

Matematycznemu zdefiniowaniu jakiegoś ogólnego pojęcia towarzyszy zawsze pewne rozczarowanie i utrata złudzeń. Goëthe skarżył się:

„Matematycy są na swój sposób jak Francuzi, mówi się coś do nich, oni zaś tłumaczą to na swój język, i wówczas to coś jest czymś zupełnie innym" [1].

Definicja matematyczna rezygnuje z bogactwa skojarzeń, które występują przy słownym opisie pojęcia. Skojarzenia te mają dużą wartość heurystyczną, jednak właśnie z ich powodu każdy pod danym pojęciem rozumie coś innego.

---

* Wybitny matematyk niemiecki, profesor na Uniwersytecie Humboldta w Berlinie, wiceprzewodniczący Wschodnioniemieckiego Towarzystwa Matematycznego i przewodniczący Sekcji Naukoznawstwa w tym Towarzystwie, zajmuje się obecnie teorią cybernetyki i jej zastosowaniami w innych naukach. Utrzymuje żywe kontakty z polskimi naukowcami.

** W pracy zbiorowej — *Mathematik und Kybernetik in der Ökonomie* (III) Humboldt Universität zu Berlin 1971 r.

[1] Cytowane za W. Ahrens. Scherz und Ernst in der Mathematik. Leipzig 1904.

Jak bardzo skomplikowane może być ostateczne wypracowanie definicji matematycznej, do czego taka definicja nadaje się, a do czego nie, przedstawimy na przykładzie pojęcia algorytmu, które obecnie jest znacznie lepiej wyjaśnione, aniżeli pojęcie systemu. Algorytmy odgrywają w cybernetyce ekonomicznej ważną rolę. Wiele procesów produkcyjnych, jak również procesów planowania i zarządzania, ujmowanych jest w postaci algorytmów, a następnie symuluje się je na automatach liczących i steruje nimi za pomocą automatów. Algorytmy mają podstawowe znaczenie we wszystkich zagadnieniach automatyzacji.

Wprawdzie każdy matematyk intuicyjnie wie, co to jest algorytm, jednak do dziś dnia nie udało się podać matematycznej definicji algorytmu. Opis słowny tego pojęcia możemy sformułować następująco [2]:

„Z algorytmem mamy dokładnie do czynienia wówczas, gdy dane wielkości, nazywane również wielkościami początkowymi, informacjami wejściowymi lub wielkościami zadanymi, mogą być przetworzone lub przekształcone na podstawie jakiegoś systemu reguł, reguł przekształcania, w inne wielkości, nazywane również wielkościami wynikowymi, wyjściowymi, informacjami wynikowymi lub rozwiązaniami".

Definicja ta w zupełności wystarcza, aby rozstrzygnąć, czy w danym postępowaniu mamy do czynienia z algorytmem. Nie wystarcza ona jednak do tego, by matematycznie udowodnić ogólne twierdzenia o algorytmach, na przykład takie, jak postawiona przez Churcha w 1936 roku hipoteza. Hipoteza Churcha mówi, że funkcje, których wartości liczbowe możemy teoretycznie ustalić przy pomocy dowolnego algorytmu, są funkcjami odwracalnymi (rekursywnymi).

Markow, Post i Turing podali trzy różne matematyczne definicje algorytmów specjalnych, dla których słuszna jest hipoteza Churcha. Dlatego też wszystkie trzy definicje uważa się za równoważne. Na tym problem uznano za ostatecznie zamknięty i używać się będzie tych trzech równoważnych definicji algorytmów, gdy chce się przeprowadzić matematyczny dowód o danym algorytmie. Niedawno udało się K. Schröterowi [3] udowodnić hipotezę Churcha przy jeszcze bardziej ogólnych założeniach o tym, czego z punktu widzenia „zdrowego rozsądku" trzeba żądać od algorytmu. Problem nie został jednak ostatecznie zamknięty i jest całkiem możliwe z logicznego punktu widzenia, że pewnego dnia ktoś znajdzie procedurę, za pomocą której będzie można znajdować wartości liczbowe funkcji nieodwracalnych, nazwie tę procedurę algorytmem, chociaż nie będzie to żaden algorytm w sensie Markowa, Posta i Turinga, a przynajmniej musi odrzucić założenia przyjęte przez Schrötera.

[2] *Kleine Enzyklopädie Mathematik* Leipzig 1965 s. 779.

[3] Tamże, s. 787.

Podczas międzynarodowego kongresu matematycznego w Amsterdamie (1958) węgierski cybernetyk Kalmár w związku z tym problemem stwierdził:

„Istnieją pewne pojęcia parametryczne, które muszą pozostać parametrycznymi, gdyż nie dopuszczają one żadnego ograniczania za pomocą ścisłych definicji matematycznych. Do takich pojęć, wedle mego przekonania, należą takie pojęcia jak efektywna przeliczalność lub rozwiązalność, albo też możliwość udowodnienia za pomocą dowolnego poprawnego dowodu. Ich ciągłego rozszerzania i rozwijania nie można zaprzestać wraz z rozwojem matematyki" [4].

Postaramy się tu wykazać, że definicja matematyczna nie jest jedynym i ostatecznym celem dla wszelkich pojęć. Język składający się wyłącznie z pojęć matematycznie zdefiniowanych, jak na przykład języki programowania elektronicznych maszyn cyfrowych ALGOL lub FORTRAN, nie wystarcza ani w praktyce wymiany informacji między ludźmi, ani do odzwierciedlenia świata rzeczywistego. Przypuszczamy, że w tym względzie podstawowe pojęcia cechować będzie pewna nieostrość. Niemniej jednak usiłowania czynione po to, aby znaleźć matematyczną definicję jakiegoś pojęcia, mają nie tylko wartość naukowo-teoretyczną, lecz także przyczyniają się do usuwania wszelkich zbędnych nieostrości przy używaniu tego pojęcia i do wypracowania jakiegoś możliwie najbardziej zbliżonego pojęcia matematycznego, które będzie można wprowadzić do „języka maszynowego" zamiast pojęcia parametrycznego.

2. POJĘCIE SYSTEMU (UKŁADU)

2.1. OMÓWIENIE TREŚCI POJĘCIA

Wyrażenie „system" (układ) jest stosowane w wyjątkowo wielu różnych znaczeniach. Mówi się o systemie planetarnym, układzie okresowym pierwiastków chemicznych, o systemie nerwowym człowieka, o systemie klasyfikacji roślin Lineusza, o układzie równań liniowych i o kartezjańskim układzie współrzędnych.

Mamy systemy filozoficzne, systemy wartości, systemy władzy. Również w ekonomii, zwłaszcza w ostatnim czasie, pojęcie systemu jest używane w bardzo wielu przypadkach. Wymieńmy choćby tylko system bodźców ekonomicznych, nowy system ekonomiczny, system gospodarki narodowej i rozwinięty społeczny system socjalistyczny.

Dobra, wygodna definicja, która odpowiada wszystkim przytoczonym

[4] L. Kalmàr, An argument against the plausibility of Church's Thesis. Internationaler Mathematiker Kongress, Amsterdam 1958.

w których na pierwszym miejscu figuruje bezpośredni zwierzchnik pracownika, umieszczonego na miejscu drugim. Jeżeli trzeba wykazać, czy Schmidt jest bezpośrednim zwierzchnikiem Lehmana, należy jedynie sprawdzić, czy para Lehman—Schmidt występuje w spisie czy nie.

Po tym wprowadzeniu zrozumiała będzie dla Czytelnika poniższa definicja:

Definicja 1: Relacja dwuargumentowa R określona w zbiorze M jest zbiorem par uporządkowanych, złożonych z elementów zbioru M.

Weźmy dwa elementy x i y należące do zbioru M, i utwórzmy z nich relację R. Zapiszemy wówczas xRy lub $R(x, y)$. Naszą Definicję 1 można by więc krótko zapisać w następujący sposób:

$$xRy =_{\text{Def}} [x, y] \in R$$

Korzystając z pojęcia produktu kartezjańskiego $A \times B$ dwóch zbiorów A i B, gdzie:

$$A \times B =_{\text{Def}} \{[a, b] \mid a \in A, b \in B\}$$

możemy powiedzieć, że dwuargumentowa relacja określona w M jest podzbiorem zbioru $M \times M$. Zapisujemy to następująco

$$R \subseteq M \times M$$

Wyrażenia „powiązanie" i „relacja" traktujemy synonimicznie.

Przy definiowaniu pojęć relacji dwuargumentowej i produktu kartezjańskiego pojawia się pojęcie pary uporządkowanej.

Parę uporządkowaną $[a, b]$ odróżniamy ściśle od zbioru $\{a, b\}$. Zbiór jest całkowicie określony przez podanie pełnej listy elementów, a zatem nie ma żadnej różnicy między zbiorem $\{a, b\}$ i zbiorem $\{b, a\}$. W przeciwieństwie do tego, dla każdej pary uporządkowanej można podać, który element jest pierwszy, a który drugi; w ten sposób $[a, b] \neq [b, a]$. Godne uwagi jest tu cenne odkrycie Norberta Wienera, iż do zdefiniowania pary uporządkowanej nie potrzeba liczb porządkowych „pierwszy", „drugi", lecz lepiej wprowadzić to pojęcie do pojęć elementarnych teorii mnogości. Najprościej zapisać możemy za Kuratowskim [9]

$$[a, b] =_{\text{Def}} \{\{a, b\}, \{a\}\}.$$

Można łatwo udowodnić, że zbiór, który zawiera elementy obu zbiorów $\{a, b\}$ i $\{a\}$, posiada własności charakteryzujące parę uporządkowaną $[a, b]$. Zbiór ten określa dokładnie oba elementy a i b, a wśród tych dwóch elementów element a jest określony jednoznacznie (jako element, który jest zawarty w obu zbiorach). Element ten określany jest jako pierwszy element pary uporządkowanej.

Oprócz relacji dwuargumentowych istnieją relacje trzy i więcej argumentowe. Taką relacją trójargumentową jest na przykład relacja „między"

[9] *Kleine Enzyklopädie Mathematik* Leipzig 1965 s. 13.

dla punktów leżących na jednej prostej. Jeżeli punkt b leży między punktami a i c, to a nie leży między punktami b i c. W relacji tej pojawia się również kolejność elementów. Innym przykładem jest związek pokrewieństwa.

Jeżeli przypadkiem x jest synem ojca y i matki z, to tym samym x, y i z tworzą relację trójargumentową. Z punktu widzenia teorii mnogości relacja trójargumentowa określona w zbiorze M jest podzbiorem zbioru $M \times M \times M$ składającym się z trójek uporządkowanych $[a, b, c]$ zbudowanych z elementów a, b i c należących do M. W kategoriach teorii mnogości trójkę uporządkowaną można zdefiniować następująco:

$$[a, b, c] =_{\text{Def}} [[a, b], c] = \{\{[a, b], c\} \{[a, b]\}\}$$

Obie podane przykładowo wyżej relacje trójargumentowe mają formalnie rzecz biorąc różny charakter. Niech Z oznacza relację „znajdowania się między", a V rozważoną relację „pokrewieństwa". Można by zapisać, że $[a, b, c] \in^{*} Z$, jak również $[c, b, a] \in Z$; natomiast z relacji pokrewieństwa wynika, że $[x, y, z] \in V$, ale i $[z, y, x] \bar{\in}^{**} V$.

Uogólniając pojęcie pary uporządkowanej na n elementów, będziemy mówili o n-tce uporządkowanej.

Ogólnie prawdziwa jest więc

Definicja 2: Relacja n-argumentowa określona w zbiorze M jest podzbiorem zbioru M, którego to podzbioru elementami są n-tki uporządkowane.

Dla relacji n-argumentowej R_n określonej w zbiorze M będzie więc prawdziwe że:

$$R_n \subseteq M \times M \times \ldots M = \overset{n}{\underset{i=1}{X}} M$$

Uporządkowana n-tka nazywana bywa także ciągiem składającym się z n składowych. Zamiast $[a_1, a_2, \ldots, a_n]$ piszemy prościej $a_1, a_2, \ldots, a_n$. Szczególnie n-tki uporządkowane, dla których zdefiniowane są pewne operacje, pewne określone reguły działań, nazywamy wektorami.

Wreszcie możemy spotkać ciągi przeliczalne nieskończone, $a_1, a_2 \ldots$, a więc i n-tki uporządkowane zawierające nieskończoną liczbę elementów $[a_1, a_2, \ldots]$. Dla takich n-tek używamy zapisu podobnego jak w przypadku skończonej liczby elementów, $[a_1, \ldots, a_n]$, $n = \infty$. W ten sposób można uprościć szereg sformułowań. Przy pomocy tej ∞-tki możemy zdefiniować relacje o przeliczalnej, nieskończonej liczbie argumentów.

W dalsze rozważania na temat relacji nie będziemy wchodzić, ponieważ wydaje się, że nie mają one znaczenia dla praktycznych badań. Relacje

* Element przynależny do zbioru (przyp. tłum.).

** Brak przynależności do zbioru elementów (przyp. tłum.).

o skończonej liczbie argumentów z więcej niż dwoma argumentami wkraczają jednak również do praktyki ekonomicznej. Jeżeli na przykład A jest zwierzchnikiem B, C i D, to czyż relacja taka nie da się zredukować do dwuargumentowej relacji podporządkowania, zachodzącego między A i każdą z pozostałych trzech osób. Jeżeli jednak A jako kierownik miałby za zadanie koordynację działań B, C i D, otrzymalibyśmy zależność czteroargumentową.

Szczególnym przypadkiem relacji n-argumentowych są relacje jednoargumentowe. Na mocy Definicji 2 relacja jednoargumentowa R_1 określona w zbiorze M jest podzbiorem zbioru M, a więc $R_1 \subseteq M$. Jest ona li tylko własnością taką, że elementy należące do zbioru M należą również do R_1.

Pozostałych pojęć elementarnych teorii mnogości nie będziemy tutaj omawiać. Wyjaśnimy je wówczas, gdy będziemy z nich korzystać w przypadkach, gdyby mogły okazać się niezrozumiałe.

2.3. ŚCISŁA DEFINICJA SYSTEMU

Teraz potrafimy już podać teoriomnogościową definicję pojęcia systemu:

Definicja 3: System jest parą uporządkowaną $[M, S]$, składającą się ze zbioru M i ciągu S, określonego jako relacja w zbiorze M. M nazywa się zbiorem elementów, a S strukturą systemu.

Dla wyjaśnienia należy zauważyć, iż:

1. W definicji tej nie mówi się nic ani o naturze elementów, ani o naturze relacji. Dany abstrakcyjny system $[M, S]$ można więc interpretować w różny sposób, zależnie od znaczenia i treści, jakie nadamy zbiorowi elementów M i relacji w S.

2. System zdefiniowany został jako para uporządkowana $[M, S]$, a nie jako zbiór $\{M, S\}$, zatem struktura jest ciągiem relacji $[R_1, R_2, \ldots]$ a nie zbiorem relacji $\{R_1, R_2, \ldots\}$. W ten sposób można na przykład w ramach struktury $S = [R_1, R_2]$ mówić o pierwszej i drugiej relacji, i rozróżniać między strukturą $[R_1, R_2]$ a $[R_2, R_1]$, nawet bez wchodzenia w wewnętrzną treść obu relacji. Można zatem określić jednoznacznie zbiór elementów jako pierwszy zbiór—element pary uporządkowanej $[M, R]$ wtedy, gdy dla jakiegoś systemu $[M, S]$ strukturę stanowi pojedyncza relacja R (system o strukturze prostej, patrz Definicja 4).

3. Definicja systemu dopuszcza również istnienie systemu o postaci $[M, \phi]$, w którym struktura jest zbiorem pustym $\{\phi\}$ (system bez struktury), i systemu o postaci $[\phi, \phi]$ (system pusty). System bez struktury różni się tylko formalnie od zwyczajnego zbioru, system pusty jest identyczny ze zbiorem pustym również z formalnego punktu widzenia. Celowe jest zaliczenie takich „niewłaściwych" systemów do systemów w ogóle, na takiej samej zasadzie, na jakiej zero zaliczane jest do liczb naturalnych, a [illegible] pusty do zbiorów.

4. Jeżeli struktura systemu składa się z większej liczby relacji (systemy o strukturze wielokrotnej, patrz Definicja 5), wówczas zamiast formuły $[M, S] = [M, [R_1, R_2, \ldots]]$ możemy zapisać prościej $[M, S] = [M, R_1, R_2, \ldots]$. Tak więc w ten sposób sprowadzamy definicję trójki uporządkowanej do definicji pary uporządkowanej i odwrotnie:

$$[a, b, c] = {}_{Def}\, [[a, b], c]$$

5. Nasze pojęcie systemu jest szczególnym przypadkiem pewnego bardzo ogólnego pojęcia matematycznego, a mianowicie pojęcia algebry. Pod pojęciem tym rozumie się trójkę uporządkowaną $[M, \varrho, \sigma]$, gdzie M jest pewnym zbiorem, ϱ ciągiem operacji na zbiorze M, a σ jest ciągiem relacji określonych w zbiorze M [10].

Jeżeli ϱ jest puste, otrzymujemy tak zwaną algebrę relacji, która pokrywa się z podanym tutaj pojęciem systemu.

Aby ukazać wysoki szczebel ogólności i wielostronności naszego pojęcia systemu, zajmiemy się pewnymi przypadkami szczególnymi i zilustrujemy je na prostych przykładach. W paragrafie 2.3.1. zajmiemy się systemami o prostej strukturze, a więc systemami, których strukturę stanowi pojedyncza relacja. W paragrafie 2.3.2. zajmować się będziemy złożonymi systemami o strukturze wielokrotnej.

2.3.1. SYSTEMY Z PROSTĄ STRUKTURĄ

Definicja 4: System $[M, R]$, gdzie R jest pewną relacją określoną w zbiorze M, nazywamy systemem z prostą strukturą.

Do najprostszych systemów ze strukturą prostą należą systemy, których struktura jest relacją jednoargumentową. Struktura takiego systemu jest jedynie bardzo „luźna". Jako przykład weźmy pewną zbiorowość ludzi, z których pewna znana liczba posiada opaski traktowane jako wyróżniki, albo też partię dostawy pojedynczych produktów, z których część trzeba było odrzucić przez kontrolę wstępną jako produkty wybrakowane.

Najczęściej spotykane są systemy z relacją dwuargumentową.

System taki ma postać $[M, R]$, gdzie R jest pewną relacją dwuargumentową, a więc zbiorem uporządkowanych par elementów zbioru M.

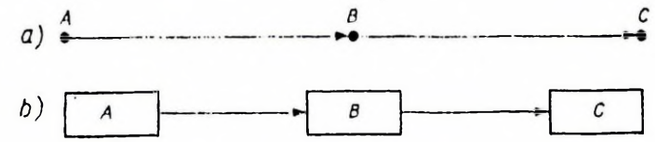
Weźmy jako przykład takiego systemu: łańcuch kooperantów, składający się z trzech przedsiębiorstw A, B i C, gdzie A jest dostawcą dla zakładu B, B zaś jest dostawcą dla C. W tym przypadku $M = \{A, B, C\}$, a $R = \{[A, B], [B, C]\}$. Związek „bycia dostawcą" nie zachodzi między A i C, ani też między C i B. Relacja R nie zawiera więc par $[A, C]$ i $[C, B]$ jako elementów.

[10] Patrz *Wörterbuch der Kybernetik* Berlin 1967 s. 253.

System z relacją dwuargumentową można przedstawić jako graf zorientowany (uporządkowany). Wizualnie rzecz biorąc graf jest to figura geometryczna, która składa się z punktów (węzłów) i linii (krawędzi) łączących te węzły. Jeżeli każdej krawędzi przypiszemy pewien kierunek (zwrot), będziemy mówili o grafach zorientowanych [11].

System $[M, R]$ jest równoważny z grafem o zbiorze węzłów M i zbiorze krawędzi R. A zatem system możemy przedstawić w formie graficznej, oznaczając elementy za pomocą punktów. Jeżeli dwa elementy pozostają w związku R, to odpowiadające im punkty łączymy strzałką, której kierunek odpowiada kierunkowi powiązania. Zazwyczaj zamiast punktów rysujemy prostokąty (bloki). W ten sposób powstaje schemat blokowy systemu.

Rys. 1. przedstawia graf i schemat blokowy omówionego wyżej łańcucha kooperacyjnego.



Rys. 1. a) graf; b) schemat blokowy systemu $\{A, B, C\}$, $\{[A, B], [B, C]\}$

Zajmiemy się teraz systemami $[M, R]$, w których R jest relacją więcej niż dwuargumentową. Panuje przekonanie, że takie systemy odgrywają istotną rolę w socjologii; bowiem nawet związek trzech osób jest czymś o wiele bardziej złożonym aniżeli całość powiązań wszystkich par tych elementów.

Mamy tu na myśli sytuację, w której „A przekazuje B swoją opinię o C", lub „A dzieli się z B opinią C o B". Badania Johna von Neumanna nad grami wieloosobowymi wskazują na dość częstą potrzebę rozważania relacji więcej niż dwuargumentowych. Gra trzyosobowa z możliwością tworzenia koalicji jest czymś zupełnie innym aniżeli trzy gry dwuosobowe.

[11] Patrz C. Berge. Théorie des graphes et ses applications. Paris 1958. Definicja grafu używana przez Berge'a nie jest najbardziej ogólna. Obecnie ogólna definicja grafu — zgodnie z tym co podał mi dr Starke z Instytutu Logiki Matematycznej Uniwersytetu Humboldta w Berlinie — jest następująca: $G = [P, K, f]$ nazywamy grafem zorientowanym skierowanym, gdzie P, $K \neq \phi$ są dowolnymi zbiorami, f jest funkcją określoną w K, która każdemu elementowi zbioru K przyporządkowuje parę uporządkowaną złożoną z elementów zbioru P; a więc mamy $f \subseteq K \times P \times P$. W przeciwieństwie do pojęcia używanego przez Berge'a, w G dwa punkty mogą być połączone więcej niż jedną krawędzią o tym samym zwrocie.

Należy zauważyć, co zresztą starano się uwypuklić przy definiowaniu relacji trójargumentowej, że istota tych różnic tkwi w różnicy kolejności elementów; a więc $[a, b, c] \in R$ oznacza coś zupełnie innego aniżeli $[b, a, c] \in R$. Często jednak w związkach wielostronnych kolejność nie jest istotna. Można wówczas badać takie systemy za pomocą analizy wielu relacji jednoargumentowych. Systemy te zaliczamy do systemów o strukturze „wielokrotnej". Omówimy je w następnym paragrafie.

2.3.2. SYSTEMY O STRUKTURZE WIELOKROTNEJ

Może okazać się niekiedy celowe analizowanie jednocześnie różnych rodzajów powiązań między elementami systemu. W poprzednim paragrafie omówiliśmy przykład łańcucha kooperacyjnego. W łańcuchu tym należy wyróżnić oprócz omówionych sprzężeń „dostawca — odbiorca" również sprzężenia informacyjne, występujące między każdą parą przedsiębiorstw w obu kierunkach. Łańcuch kooperacyjny można więc przedstawić jako system o podwójnej strukturze, co oznacza, że struktura systemu składa się z dwóch relacji. Ogólnie możemy sformułować to następująco:

Definicja 5: System $[M, S]$ nazywać będziemy systemem z wielokrotną strukturą wtedy, gdy struktura systemu jest ciągiem $S = [R_1 R_2, ...]$ złożonym z więcej niż jednej relacji określonej w zbiorze M. W naszym przykładzie ciągu kooperacyjnego mamy

$$[M, S] = [\{A, B, C\}, \{[A, B], [B, C]\}, \{[A, B], [B, A], [A, C], [C, A], [B, C], [C, B]\}]$$

Jeżeli chcemy przedstawić graficznie system ze strukturą wielokrotną, która składa się wyłącznie z relacji dwuargumentowych, potrzebujemy tak zwanych multigrafów, w których możemy wyróżniać różne rodzaje krawędzi (na przykład choćby przy pomocy różnych kolorów) [12].

Rys. 2 przedstawia przykładowy multigraf.

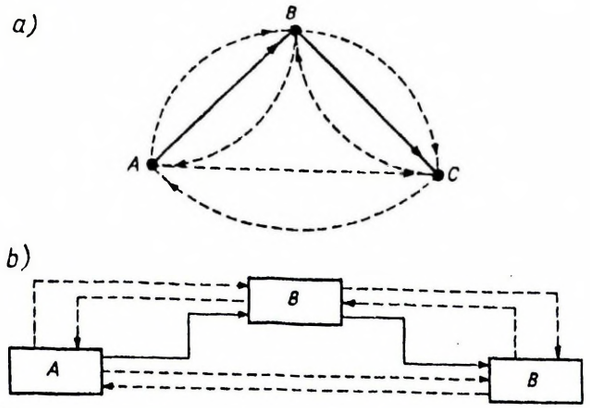
Szczególnym przypadkiem systemu z wielokrotną strukturą jest system, którego struktura składa się z wielu relacji jednoargumentowych. Nazywamy go systemem przemiennym (komutatywnym).

Definicja 6: System $[M, S]$ nazywa się systemem przemiennym (komutatywnym), wtedy gdy $S = [R_1, R_2, ...]$ gdzie R_i jest jednoargumentową relacją w M (podzbiorem zbioru M).

Przykładem takiego systemu jest zakład produkcyjny, którego pracowników chcemy analizować najpierw z punktu widzenia płci, a następnie czy są pracownikami pobierającymi zarobek akordowy czy pensję. Oznaczmy przez M zbiór pracowników zatrudnionych w danym zakładzie, przez M_m zbiór pracowników — mężczyzn, przez M_k zbiór pracowników —

[12] A więc podane w odsyłaczu (11) określenie pojęcia grafu $G = [P, K, f]$ nie jest wystarczające; należy je uogólnić, wprowadzając wiele zbiorów krawędzi i odpowiadające im funkcje $G = [P, K_1, f_1, K_2, f_2 \ldots]$.

kobiet, przez G zbiór pracowników otrzymujących wynagrodzenie w formie pensji, a przez L zbiór pracowników pobierających zarobek akordowy. System ten możemy określić przez $[M, M_m, M_k, L, G]$.



Rys. 2. a) multigraf; b) schemat blokowy łańcucha kooperacyjnego. Sprzężenia informacyjne przedstawiono przy pomocy linii przerywanych

3. PODSTAWOWE POJĘCIA TEORII SYSTEMÓW. SPRZĘŻENIA I OPERACJE

W poprzedniej części tej pracy wprowadziliśmy ścisłe i bardzo ogólne pojęcie systemu. Teraz zajmiemy się takimi związkami między systemami i operacjami na systemach, które są istotne dla cybernetyki w ogóle, a mają szczególne znaczenie w cybernetyce ekonomicznej.

3.1. HOMOMORFIZM I IZOMORFIZM SYSTEMÓW

Podstawowym pojęciem cybernetyki jest pojęcie modelu. Modele systemów są to również systemy, które wykazują pewne mniejsze lub większe analogie z oryginałami, umożliwiając uzyskanie wiedzy o oryginale na podstawie modelu.

Ważną rolę w badaniu związków między modelem i oryginałem odgrywają pojęcia homomorfizmu i izomorfizmu. Dlatego też najpierw postaramy się te pojęcia objaśnić.

W paragrafie 2.3.1 analizowany łańcuch kooperacyjny i jego schemat blokowy są tak zupełnie różne, że powierzchownemu badaczowi wydawać by się mogło, że nie ma między nimi żadnej cechy wspólnej. A jednak można je przez odpowiednią abstrakcję zredukować do dwóch systemów izomorficznych, w których porównywalnych [illegible] racyjnego wszelkie cechy charakterystyczne zakładów produkcyjnych A, B i C poza jedną jedyną cechą, że są to indywidualne, rozróżnialne elementy; odrzućmy też wszelkie powiązania jakie występują między tymi zakładami, oprócz związku „dostawca—odbiorca". Z kolei ten związek pozbawmy wszelkich indywidualnych własności poza tą, że jest to pewna dwuargumentowa relacja na określonym zbiorze elementów. Otrzymamy wówczas system

$$\Sigma = [\{A, B, C\}, \{[A, B], [B, C]\}$$

A teraz nieco inaczej przekształćmy schemat blokowy z rys. 2. Składa się on z prostokątnych bloków, które dla rozróżnienia umownie nazywamy zakładami A', B' i C', oraz z łączących je strzałek.

Odrzućmy teraz wszelkie własności bloków, takie jak prostokątny kształt, ich wielkość, to czy są narysowane ołówkiem, czy atramentem, i tak dalej, oprócz jednej cechy: że są to różne indywidua. Podobnie uczyńmy ze strzałkami. Interesować nas będzie jedynie to, w jakim kierunku są skierowane łącząc dwa elementy. W ten sposób otrzymamy system

$$\Sigma' = [\{A', B', C'\}, \{[A', B'], [B', C']\}$$

Nie można powiedzieć, że Σ i Σ' są identyczne; przecież A jest zakładem produkcyjnym, a A' blokiem, $[A, B]$ jest powiązaniem dostawcy i odbiorcy $[A', B']$ jest strzałką. Oba systemy są jednak izomorficzne: każda bowiem wypowiedź w języku teorii systemów dla systemu Σ, jest również poprawna dla systemu Σ' i odwrotnie. Omówiony tu przykład izomorfizmu systemów jest szczególnym przykładem homomorfizmu. Dla objaśnienia tego ostatniego pojęcia podamy najpierw przykład. Wyobraźmy sobie, że w naszym łańcuchu kooperacyjnym Σ zakłady produkcyjne B i C mieszczą się w tym samym budynku i dlatego mogą być traktowane jako jedna całość, którą oznaczamy przez D.

Otrzymamy wówczas nowy system:

$$\Sigma'' = [\{A, D\}, \{[A, D], [D, D]\}]$$

gdzie para uporządkowana $[D, D]$ oznacza, że występuje dostawa z D do D, a zatem że w D realizowane są dwie fazy procesu produkcyjnego. Każdemu elementowi Σ jest więc przyporządkowany dokładnie jeden element systemu Σ'' (A ma odpowiednik identyczny z sobą. B jest przyporządkowane D, ale i C jest przyporządkowane D). Zatem mamy taki stan, że jeżeli występują pewne związki między dwoma elementami systemu Σ, to również pewne związki występują między przypisanymi im elementami systemu Σ''. Mówimy wtedy, że Σ'' jest homomorficzne względem Σ.

Jednak systemy nie są izomorficzne wówczas, gdy jednemu elementowi Σ'' może odpowiadać więcej niż jeden element zbioru Σ. (Elemento-

Homomorfizm f systemu $[M, S]$ względem $[M', S']$ nazwiemy wówczas mocnym homomorfizmem i zapiszemy

$$[M, S] \sim [M', S'] \text{ (mocny)}$$

Mocny homomorfizm jest również słabym homomorfizmem, tyle że nie odwrotnym.

Tak więc na przykład homomorfizm

$$[\{a, b, c\}, \{[a, b], [b, c]\} \sim [\{A, B\}, \{[A, A], [A, B], [B, A]\}]$$

uzyskany przez odbicie $f(a) = f(b) = A$, $f(c) = B$ jest homomorfizmem słabym, a nie silnym, ponieważ parze uporządkowanej $[B, A]$ w systemie drugim nie odpowiada żadna para uporządkowana w systemie pierwszym. Homomorfizm mocny jest również silny, ale nie na odwrót. Homomorfizm uzyskiwany poprzez odbicie lustrzane f

$$[\{a, b, c\}, \{[a, b], [b, c]\}] \sim [\{A, B\}, \{[A, A], [A, B]\}]$$

jest wprawdzie silny, ponieważ parze $[A, A]$ odpowiada para $[a, b]$ w systemie pierwszym, a parze $[A, B]$ odpowiada para $[b, c]$ w systemie pierwszym, ale za to para $[a, a]$ w systemie pierwszym nie występuje. Jeżeli natomiast znajdowałyby się w pierwszym systemie wszystkie pary odpowiadające parom $[A, A]$ i $[A, B]$, to otrzymalibyśmy homomorfizm mocny, czyli

$$[\{a, b, c\}, \{[a, a], [a, b], [b, a], [b, b], [a, c], [b, c]\}] \sim [\{A, B\}, \{[A, A], [A, B]\}] \text{ (mocny)}$$

Izomorfizm jest szczególnym przypadkiem homomorfizmu. Podamy tylko następującą definicję pojęcia izomorfizmu systemów:

Definicja 11: System $[M', S']$ nazywamy izomorficznym względem systemu $[M, S]$, jeżeli zachodzi nieodwracalny jednoznaczny silny homomorfizm systemu $[M, S]$ względem systemu $[M', S']$. $[M', S']$ nazywa się wówczas izomorficznym obrazem systemu $[M, S]$, f nazwiemy izomorfizmem, i zapiszemy

$$[M, S] \cong [M', S']$$

Dla takiego przypadku słuszne są następujące twierdzenia:

Twierdzenie 1: Homomorfizm f systemu $[M, S]$ względem systemu $[M', S']$ jest wtedy i tylko wtedy izomorfizmem, gdy f jest odwracalne i jednoznaczne, oraz gdy f^{-1} jest homomorfizmem systemu $[M', S']$ względem $[M, S]$ [16].

Dowód:

1°. Jeżeli f jest odwracalne i jednoznaczne, a f^{-1} jest homomorfizmem, to z faktu, że $[a', b', \ldots] \in R_i'$ wynika, że $[f^{-1}(a'), f^{-1}(b'), \ldots] = [a, b, \ldots] \in R_i$.

2°. Jeżeli f jest izomorfizmem, to f jest równocześnie silnym homomorfizmem. A więc $[a', b', \ldots] \in R_i'$ odpowiada co najmniej jedna $[a, b, \ldots] \in R_i$.

[16] Por. H. Hermes. Einführung in die Verbandstheorie. Berlin 1955.

Ponieważ f jako izomorfizm jest odwracalne i jednoznaczne, to $[a, b, \ldots] = [f^{-1}(b'), \ldots]$ jest jednoznaczne i jest elementem podzbioru R_i, a zatem f^{-1} jest homomorfizmem.

Twierdzenie 2. Jeżeli $[M, S] \cong [M', S']$, to również $[M, S] \sim [M', S']$ (silne).

Dowód: Jeżeli $[M, S] \cong [M', S']$, to $[M, S] \sim [M', S']$ (mocne), a f jest odwracalnym jednoznacznym homomorfizmem, zaś na podstawie Twierdzenia 1 f^{-1} jest homomorfizmem. Z faktu, że $[a', b', \ldots] \in R_i'$ wynika więc, że $[f^{-1}(a'), f^{-1}(b'), \ldots] = [a, b, \ldots] \in R_i$ co było do udowodnienia.

Twierdzenie 3. Jeżeli $[M, S] \cong [M', S']$, to $[M', S'] \cong [M, S]$.

Dowód: Z izomorfizmu systemów $[M, S] \cong [M', S']$ na podstawie Twierdzenia 1 wynika, że f jest odwracalnym jednoznacznym homomorfizmem, oraz że również f^{-1} jest homomorfizmem. Z tego samego z kolei wynika, że f^{-1} jest odwracalnym jednoznacznym homomorfizmem, oraz że f jest homomorfizmem. Przez odwrócenie z Twierdzenia 1 wynika więc również, że $[M', S'] \cong [M, S]$, co było do udowodnienia.

Twierdzenie 4. Jeżeli $[M, S] \sim [M', S']$, $[M', S'] \sim [M, S]$ oraz M i M' są zbiorami skończonymi, w których określone są wyłącznie jednoargumentowe relacje S i S', to $[M, S] \cong [M', S']$.

Dowód: Homomorfizm f zbioru M w M musi być odwracalny i jednoznaczny. Wówczas z równości $f(a) = f(b) = a'$ oraz $a \neq b$ wynikałoby, że M będzie zawierało o co najmniej jeden element więcej, aniżeli zbiór M' (każdy element zbioru M' musi być obrazem elementu zbioru M). Ale wówczas nie można by znaleźć żadnego odbicia zbioru M' w M, co jest sprzeczne z założeniem $[M', S'] \sim [M, S]$. Musimy więc jeszcze wykazać, że f jest silnym homomorfizmem. Możemy łatwo udowodnić, że f jest mocnym homomorfizmem; f przypisuje każdemu $[a, b, \ldots] \in R_i$ jednoznacznie i odwracalnie jedno $[a', b', \ldots] \in R_i'$. Homomorfizm $[M', S']$ względem systemu $[M, S]$ przyporządkowuje także jednoznacznie i odwracalnie każdemu elementowi należącemu do R_i' jeden element należący do R_i. Z tego wynika, że R_i i R_i' posiadają jednakową liczbę elementów. Gdyby f nie było mocnym homomorfizmem, to należałoby znaleźć jedno i oraz jedno $[a', b', \ldots] \in R_i'$ odpowiadające $[a, b, \ldots] \bar{\in} R_i$. Stąd wynikałoby, że R_i' ma o co najmniej jeden element więcej, aniżeli R_i. Z tej sprzeczności wynika, że jeżeli f jest mocnym homomorfizmem, to musi być również homomorfizmem silnym, co stanowi dowód Twierdzenia 4.

Twierdzenie 4 jest prawdziwe tylko dla zbiorów skończonych. Można to wykazać na następującym przykładzie:

Niech

$$M = \{a_1, a_2, \ldots, a_n, \ldots\}$$
$$M' = \{b_1, b_2, \ldots, b_n, \ldots\}$$

$$S' = \{[a_1, a_1], [a_2, a_1], [a_3, a_2], [a_5, a_4], \ldots [a_{2n+1}, a_{2n}], \ldots\}$$
$$S' = \{[b_1\, b_2], [b_2, b_1], [b_1, b_3], [b_6, b_5], \ldots [b_{2n}, b_{2n-1}], \ldots\}$$

Systemy $[M, S]$ i $[M', S']$ nie są izomorficzne, ponieważ w zbiorze M znajdują się dwa elementy, a mianowicie a_1 i a_2, które należą do dwóch różnych par zbioru S, podczas gdy w zbiorze M' występuje tylko jeden element b_1, który należy do dwóch par zbioru S'. Z drugiej jednak strony spełnione są warunki $[M, S] \sim [M', S']$, jak również $[M', S'] \sim [M, S]$. Wobec tego odbicia

$$f(a_1) = b_1,\ f(a_{n+1}) = b_n \qquad n \geqslant 1$$

oraz

$$\varphi(b_1) = a_1,\ \varphi(b_2) = a_2,\ \varphi(b_{n+1}) = a_n \qquad n \geqslant 2$$

są nie tylko homomorfizmami, lecz w szczególności silnymi homomorfizmami, co zresztą można łatwo wykazać.

Przytoczone wyżej twierdzenia i ich dowody pokazują, że formalizacja pojęcia systemu została posunięta tak daleko, iż stało się możliwe traktowanie systemu w sposób w pełni zmatematyzowany. Związki występujące między oryginałem i modelem systemu możemy jeszcze bardziej uściślić, wykorzystując pojęcia odbicia, różnego stopnia homomorfizmu i izomorfizmu.

W związku z tym pragniemy zwrócić uwagę na następujące zagadnienia.

1. Model $[M', S']$ systemu $[M, S]$ w ogólnym przypadku nie jest ani homomorficzny, ani tym bardziej izomorficzny z systemem $[M, S]$. Nie tylko w oryginale, lecz także w modelu występują elementy, które nie są uwzględnione w odbiciu. Tak więc gdy mówimy o odbiciu oryginału przez model, chodzi nie o jakieś odbicie zbioru M na zbiorze M' w ogóle, lecz jedynie o pewne odbicie części zbioru M w M'. Weźmy dla przykładu rysunek konstrukcyjny jakiegoś wyrobu poddawanego obróbce i potraktujemy go jako model tego wyrobu. Rysunek konstrukcyjny jako system materialny zawiera wiele elementów, które dla obrabianego produktu w ogóle nie mają znaczenia, jak choćby włókna celulozowe, z których składa się papier, albo data zakończenia kreślenia. Z drugiej strony przedmiot obrabiany zawiera szereg elementów, które nie znajdują odzwierciedlenia w rysunku konstrukcyjnym, jak na przykład atomy metalu lub farba pokrywająca wyrób. Pewne cechy modelu i pewne cechy oryginału w ogóle nie są uwzględniane w odbiciu. Zanim więc model i oryginał będą się wzajemnie pokrywać, upraszczamy je w procesie abstrakcji. System $[M, S]$ zastępujemy przez uproszczony system $[\tilde{M}, \tilde{S}]$, gdzie $\tilde{M}$ jest podzbiorem M, a $\tilde{S}$ jest cząstkową strukturą S [17].

[17] $[\tilde{M}, \tilde{S}]$ może być rozumiany jako podsystem systemu $[M, S]$, lub też jako agregacja takiego podsystemu. Pojęcia te omawiamy w paragrafach 3.3. i 3.4.

w taki sam sposób w procesie [illegible]

otrzymamy system $[\tilde{M}', \tilde{S}']$. Teraz dopiero ma sens zastanawianie się, czy między $[\tilde{M}, \tilde{S}]$ oraz $[\tilde{M}', \tilde{S}']$ zachodzi relacja izomorfizmu, czy homomorfizmu.

2. Po przeprowadzeniu procesu abstrakcji możemy stwierdzić, że izomorfizm daje wierne odbicie modelowanego systemu. Homomorfizm daje natomiast odbicie uproszczone. Widać więc, że modelowanie umożliwia tylko silny, a jeszcze lepiej mocny homomorfizm. W modelu pozostającym w relacji słabego homomorfizmu w stosunku do modelowanego systemu mogą występować cechy, które sprawiają, że model nie jest żadnym analogiem systemu oryginalnego. Cechy występujące w modelu silnie homomorficznym możemy zawsze odnaleźć w oryginale. Nie występują one we wszystkich parach uporządkowanych prototypu, ale należą do odpowiadających im par odbicia. Przypadek ten występuje przy silnym homomorfizmie.

3.2. OTOCZENIE I GRANICE SYSTEMU

Pojęcie otoczenia systemu jest istotne dla cybernetyki. Stawia ona jako bardzo ważny problem wydzielenie systemu cybernetycznego z jego otoczenia. Głównym celem tego paragrafu jest wprowadzenie uogólnionego i ścisłego pojęcia otoczenia dowolnego systemu. Postępujemy tu tak samo jak w teorii mnogości, gdzie dla każdego zbioru możemy utworzyć uzupełnienie tego zbioru (dopełnienie zbioru), które nazwać można zbiorem dopełniającym. Pod pojęciem zbioru dopełniającego zbiór M rozumiemy zbiór wszystkich elementów, które nie należą do zbioru M. Zbiór dopełniający można więc utworzyć tylko wtedy, gdy mamy zdefiniowany zbiór I zawierający wszystkie elementy w ogóle. W podstawach teorii mogności wskazuje się, w jaki sposób można uściślić nieostre pojęcie zbioru wszystkich elementów. Przy „stopniowym budowaniu zbiorów" rozpoczynamy od jakichkolwiek obiektów, które tworzą tak zwany obszar indywiduów I, nazywany również zbiorem pełnym. Tylko te obiekty są elementami i tylko z nich można przez grupowanie tworzyć zbiory „pierwszego stopnia". Ze zbiorów „pierwszego stopnia" tworzy się zbiory „drugiego stopnia" i tak dalej. Zbiorem dopełniającym zbioru M pierwszego stopnia jest zbiór wszystkich elementów I, które nie należą do M:

$$M =_{\text{Def}} \{x | x \in I,\ x \bar{\in} M\}$$

Pojęcie systemu zbioru dopełniającego jest więc pojęciem względnym. Zależy ono od wyboru obszaru indywiduów. Nie jest ani ważne, ani niezbędne ścisłe określenie z góry obszaru indywiduów. Obszar ten powinien być na tyle duży, aby obejmował wszystkie elementy, jakie mogą się pojawić w trakcie prowadzonych badań.

Aby można było zdefiniować otoczenie systemu, należy dysponować pojęciem uniwersalnego systemu, który krótko będziemy nazywać uniwer-

sum. Zbiór elementów tego systemu składa się ze zbioru I wszystkich elementów, a jego struktura jest strukturą uniwersalną, to znaczy obejmującą wszystkie relacje określone na zbiorze I, $Q = [Q_1, Q_2, \ldots]$.

Postępujemy tu tak samo, jak w teorii zbiorów. Przyjmujemy mianowicie, że struktura Q systemu uniwersalnego jest na tyle złożona, iż obejmuje wszystkie relacje, jakie w trakcie badań mogą okazać się przedmiotem naszego zainteresowania. Dlatego też przeważnie wystarcza uwzględnianie tylko skończonej liczby relacji.

System uniwersalny nie jest pojęciem jednoznacznie ustalonym. Ważne jest tylko, aby dla danych potrzeb raz je sprecyzować w dostatecznym stopniu i nie zmieniać go w trakcie prowadzonych badań. Dlatego też w następnej definicji nie potrzeba określać przedmiotu, którego definicja dotyczy, ponieważ w trakcie konkretnych badań będziemy go mogli bez wątpliwości wprowadzić i używać.

Definicja 12. Systemem uniwersalnym lub uniwersum nazywamy system $[I, Q]$, w którym I jest obszarem indywiduów (zbiór pełny), a $Q = [Q_1, Q_2, \ldots]$ jest strukturą uniwersalną, przy czym Q_i są relacjami określonymi na zbiorze I.

Zbiory elementów M wszystkich badanych systemów są podsystemami I. Relacje badanych systemów są określone jedynie w tych podzbiorach M. W jaki więc sposób relacje te zależą od Q_i, które są określone w zbiorze I? Definiujemy je po prostu jako podzbiory Q_i, które obejmują tę każdą n-tkę uporządkowaną i są zawarte w relacjach określonych na zbiorze M. Musimy tu podać kilka pojęć z zakresu teorii mnogości.

Definicja 13: Niech $R \subseteq M \times M \times \ldots$ będzie n-argumentową relacją określoną na zbiorze M i $M_1 \subseteq M$. Pod pojęciem ograniczenia $R|M_1$ relacji R w podzbiorze M_1 zbioru M rozumieć będziemy n-argumentową relację określoną na M_1, a mianowicie przekrój $R|M_1 \times M_1 \ldots$

Wprowadzimy jeszcze następujące skrócone oznaczenia:

Definicja 14:

1. $x \dot{\in} R =_{\text{Def}} \exists [\ldots, x, \ldots, y, \ldots] \in R \vee \exists [\ldots, y, \ldots, x, \ldots] \in R$
2. $x \dot{\in} S = [S_1, S_2, \ldots] =_{\text{Def}} \exists i\, x \dot{\in} S_i$

Definicja 15:

$$S|M = [S_1, S_2, \ldots]|M =_{\text{Def}} [S_1|M, S_2|M, \ldots].$$

Znaku $\dot{\in}$ używamy również dlatego, by podkreślić, że x staje się elementem w n-tce uporządkowanej w jakiejś relacji. $S|M$ nazywamy ograniczeniem struktury S na zbiorze M.

Obecnie możemy już zdefiniować otoczenie systemu. Przez otoczenie systemu $[M, S]$ rozumiemy system, którego zbiór elementów jest zbiorem dopełniającym $\overline{M}$ i którego struktura jest ograniczeniem struktury uniwersalnej na tym zbiorze dopełniającym. Formułujemy to następująco:

Definicja 16: Otoczeniem systemu $[M, S]$ jest system $[\overline{M}, \overline{S}]$ dla $\overline{M} \cup M = I$, $\overline{M} \cap M = \phi$ i $\overline{S} = Q|\overline{M}$.

Rezultaty powyższych rozważań zilustrujemy na bardzo uproszczonym przykładzie zjednoczenia przedsiębiorstw, które będziemy traktować jako system $[M, S]$. Niech M będzie zbiorem zakładów, a $S = [S_p, S_t]$ zbiorem interesujących nas struktur, gdzie $[a, b] \in S_p$ oznacza, że zakład „a" dostarcza w określonym czasie produkty zakładowi „b", oraz $[a, b] \in S_t$ oznacza, że zakład „a" przekazuje zakładowi „b" pewne informacje. Organ kierowniczy zjednoczenia przedsiębiorstw, na przykład zarząd, traktujemy tak samo, jak poszczególny zakład, czyli jako element zbioru M. Jeżeli dla pewnych celów chcemy zajmować się kontaktami zewnętrznymi zjednoczenia jako całości, wystarczy jako uniwersum $[I, Q]$ przyjąć system, którego zbiór elementów I obejmować będzie wszystkie zakłady i ponadzakładowe organy zarządzające. W konkretnych warunkach zbiór ten można znacznie zmniejszyć, jeżeli na przykład dla naszych rozważań wystarczyłby jedynie zbiór wszystkich zakładów w NRD. Strukturę uniwersalną zapiszemy jako strukturę $Q = [Q_p, Q_t]$, gdzie Q_p oznaczać będzie zbiór wszystkich związków dostawca—odbiorca między elementami zbioru I, a Q_t zbiór wszystkich sprzężeń informacyjnych między tymi elementami. Otoczenie $[\overline{M}, \overline{S}]$ będzie więc systemem wszystkich zakładów i ponadzakładowych jednostek zarządzających, które nie należą do naszego zjednoczenia przedsiębiorstw $[M, S]$. Struktura $\overline{S}$ otoczenia obejmuje wszystkie powiązania między elementami otoczenia. Jednakże powiązania między jakimkolwiek elementem zbioru M i elementem zbioru dopełniającego $\overline{M}$, nie są zaliczane ani do systemu $[M, S]$, ani też do otoczenia $[\overline{M}, \overline{S}]$.

Ponieważ sprzężenia systemu z jego otoczeniem mają dla nas szczególne znaczenie, wprowadzimy pojęcie struktury krańcowej. Pod pojęciem tym rozumiemy całość sprzężeń struktury uniwersalnej, które to sprzężenia nie znajdują się ani wewnątrz systemu, ani też wewnątrz jego otoczenia. Aby zdefiniować to pojęcie, musimy skorzystać z teoriomnogościowego pojęcia różnicy $M \setminus N$ dwóch zbiorów M i N. Jak wiadomo, $M \setminus N = \{x | x \in M \wedge x \bar{\in} N\}$. Zatem możemy zapisać następujące sformułowanie:

Definicja 17: Struktura krańcowa S_R danego systemu $[M, R]$ jest strukturą $S_r = Q \setminus Q|M \setminus Q|M$.

Strukturą krańcową jest określona na złożeniu * podzbioru M_r zbioru M z danym podzbiorem $\hat{M}_r$ zbioru $\overline{M}$. Zbiory M_r lub $\hat{M}_r$ nazywamy zbiorami krańcowymi odpowiednio $[M, S]$ lub $[\overline{M}, \overline{S}]$. Można zdefiniować je następująco:

* Konkatencja (przyp. tłumacza).

$$M_r = \{x | x \in M \wedge x \dot{\in} S_R\}$$
$$\hat{M}_r = \{x | x \in \overline{M} \wedge x \dot{\in} S_R\}$$

Dzięki temu możemy wreszcie zdefiniować również granicę systemu $[M, S]$ i granicę jego otoczenia.

Definicja 18: Pod pojęciem granicy systemu $[M, S]$ rozumiemy system $Rd\,[M, S] = [M_r, Q|M_r]$. Granica otoczenia systemu jest systemem $Rd\,[\overline{M}, \overline{S}] = [\hat{M}_r, Q|\hat{M}_r]$.

W naszym przykładzie przedsiębiorstwa uspołecznionego granica składa się ze wszystkich zakładów (oraz organu nadrzędnego przedsiębiorstw), które utrzymują kontakty z otoczeniem (wysyłają lub otrzymują z otoczenia produkty lub informacje), wraz ze wszystkimi sprzężeniami, które występują między tymi zakładami i organem kierowniczym. Dodajmy jeszcze, że strukturę granicy systemu $[M, S]$ można zapisać jako $S|M_r$. Tak więc podstawiając otrzymamy:

$$Rd\,[M, S] = [M_r, S|M_r]$$

i analogicznie

$$Rd\,[\overline{M}, \overline{S}] = [\hat{M}_r, \overline{S}|\hat{M}_r]$$

3.3. PODZIAŁ I ZŁOŻENIE SYSTEMÓW

W świecie rzeczywistym nader często spotykamy systemy na tyle skomplikowane, że aby je analizować niezbędne staje się podzielenie ich na podsystemy. Oprócz analizy systemów złożonych należy badać ich syntezę z systemów prostszych. W tym paragrafie podamy podstawy rozwiązania tych ważnych problemów, przy czym zajmować się będziemy dowolnymi podziałami lub złożeniami systemów. Będzie to problem, który bezpośrednio nie ma zastosowania dla analizy podziału konkretnego systemu w ściśle określonym celu. Również problemy złożenia systemów, którymi będziemy się zajmować, dostarczają jedynie ogólnych ram dla bardzo złożonego problemu syntezy systemów.

Najpierw jednak musimy sprecyzować pojęcie podsystemu. Przy tym powinniśmy rozróżniać, kiedy chcemy zajmować się podsystemem systemu $[M, S]$, kiedy podzbiorem zbioru M, a kiedy podstrukturą struktury S. A zatem musimy używać trzech różnych pojęć, co zresztą daje się zauważyć w teorii grafów [18].

Definicja 19: Przez podsystem systemu $[M, S]$ rozumiemy system $[N, S|N]$, gdzie $N \subseteq M$. Przez system cząstkowy systemu $[I, S] = M, S_1, S_2, \ldots]$ rozumiemy system $[M, R] = [M, R_1, R_2, \ldots]$ gdzie $\phi \subset R_i \subset S_i$ $(i = 1, 2, \ldots)$. Pod pojęciem cząstkowego podsystemu danego systemu $[\overline{M}, S] = M, S_1, S_2, \ldots]$ rozumiemy system $[N, R] = [N, R_1, R_2, \ldots]$, gdzie $N \subseteq M$ oraz $R_i \subseteq S_i|N$ $(i = 1, 2, \ldots)$.

[18] Por. C. Berge. Teoria grafów i jej zastosowania, jw. s. 6.

Dla przykładu przyjmijmy, że naszym systemem $[M, S]$ jest zakład produkcyjny, którego pracownicy tworzą zbiór elementów, a struktura określona jest przez stosunki podporządkowania służbowego i sprzężenia informacyjne między poszczególnymi pracownikami.

Podsystemem będzie na przykład wydział produkcyjny w zakładzie przemysłowym. Strukturę tego podsystemu będą tworzyły, podobnie jak w całym systemie, te same powiązania (ograniczone do jednego wydziału).

Systemem cząstkowym byłby na przykład cały zakład, gdyby struktura składała się jedynie ze sprzężeń informacyjnych między pracownikami, lub też tylko z części tych sprzężeń, na przykład wyłącznie sprzężeń polegających na przekazywaniu wiadomości na piśmie.

Cząstkowy podsystem wreszcie to na przykład oddział produkcyjny, w którym bierzemy pod uwagę jedynie stosunki służbowego podporządkowania pracowników.

W teorii zbiorów dla danego zbioru tworzy się tak zwany zbiór potencjalny, który jest zbiorem wszystkich podzbiorów zbioru M. Analogicznie z tym wprowadzimy tutaj dla zbioru $[M, S]$ trzy podzbiory, a więc:

$P\,[M, S]$ — zbiór wszystkich podsystemów $[M, S]$,
$\Pi\,[M, S]$ — zbiór wszystkich systemów cząstkowych $[M, S]$,
$\Pi\,P\,[M, S]$ — zbiór wszystkich cząstkowych podsystemów $[M, S]$.

Wprowadzenie tych oznaczeń potrzebne jest przede wszystkim po to, aby można było uprościć zapis podanych niżej sformułowań.

Podobnie jak w teorii zbiorów, możemy tworzyć sumy i przekroje systemów. Tutaj trudność polega na tym, że przy dodawaniu dwóch systemów (lepiej: łączeniu dwóch systemów — przyp. tłum.) muszą być uwzględnione relacje, które występują między elementami pierwszego i drugiego systemu, a które nie wynikają ze struktury każdego z tych systemów z osobna. Podobne trudności wystąpią przy tworzeniu przekroju systemów. Trudności te możemy usunąć. Podstawą ich uniknięcia jest zdefiniowanie obu tych operacji przy pomocy pojęcia systemu uniwersalnego $[I, Q]$.

Definicja 20: Złożenie i przekrój dwóch systemów $[M_1, S_1]$ oraz $[M_2, S_2]$ definiujemy następująco:

$$[M_1, S_1] \cup [M_2, S_2] =_{Def} [M_1 \cup M_2, Q|M_1 \cup M_2]$$
$$[M_1, S_1] \cap [M_2, S_2] =_{Def} [M_1 \cap M_2, Q|M_1 \cap M_2].$$

Pragniemy zauważyć, że gdyby przy tworzeniu przekroju systemów okazało się niepotrzebne korzystanie z pojęcia struktury uniwersalnej, to okazałoby się, co zresztą łatwo można spostrzec, że:

$$[M_1, S_1] \cap [M_2, S_2] = [M_1 \cap M_2, S_1|M_1 \cap M_2] = [M_1 \cap M_2, S_2|M_1 \cap M_2].$$

Dla opisania operacji w kategoriach teorii systemów i dla operacji w kategoriach teorii mnogości wykorzystaliśmy te same oznaczenia. Nie jest to całkiem poprawne. Systemy jako pary uporządkowane są często niczym

innym, jak zbiorami. Dlatego też nie zajmowaliśmy się teoriomnogościową operacją złożenia i przekroju systemów.

Przekrój dwóch systemów może być nieliniowy; na przykład dwa zespoły pracowników w zakładzie produkcyjnym. Połączenie takich systemów prowadzić może do trudności organizacyjnych, które są do przewidzenia na gruncie logiki. Przypuśćmy, że w pierwszym zespole roboczym a jest kierownikiem b, a w drugim zespole roboczym odwrotnie, b jest przełożonym a. Przy teoriomnogościowym połączeniu obu systemów powstanie sprzeczność, jeżeli w strukturze uniwersalnej uwzględnione zostanie tylko jednokierunkowe sprzężenie służbowego podporządkowania.

Jeżeli przekrój dwóch systemów jest pusty, to nie ma żadnych trudności z połączeniem obu systemów, ponieważ są to systemy rozłączne.

Definicja 21: Dwa systemy $[M_1, S_1]$ i $[M_2, S_2]$ nazywamy rozłącznymi, wtedy, gdy $M_1 \cap M_2 = \phi$.

Dwa systemy rozłączne mogą być łączone niezależnie od powiązań wzajemnych między ich elementami. W związku z tym zdefiniujemy łączną strukturę dwóch połączonych systemów:

Definicja 22: Pod pojęciem łącznej struktury dwójki systemów $[M_1, S_1]$ i $[M_2, S_2]$ rozumiemy strukturę $S_{12} = Q|[M_1 \cup M_2 \setminus Q|M_1 \setminus Q|M_2]$.

Teraz wreszcie możemy wprowadzić pojęcie niezależności systemów.

Definicja 23: Dwa systemy $[M_1, S_1]$ i $[M_2, S_2]$ nazywamy niezależnymi, jeżeli są rozłączne oraz jeżeli ich łączna struktura jest pusta, a zatem jeżeli prawdziwie jest że $M_1 \cap M_2 = \phi$ oraz $S_{12} = \phi$. Oba wprowadzone wyżej pojęcia są względne, a zależą od podstawowego dla nich pojęcia systemu pełnego. Z natury powszechnych zależności między obiektami materialnymi świata rzeczywistego wynika, że nie istnieją całkowicie niezależne systemy materialne. A zatem wprowadzone tu pojęcie niezależności jest niezbędną abstrakcją. Odpowiada to również pojęciu systemu zamkniętego, które możemy zdefiniować następująco:

Definicja 24: System $[M, S]$ nazywamy zamkniętym wtedy, gdy jest on niezależny względem swego otoczenia $[\overline{M}, \overline{S}]$. Na zakończenie tej części rozważań omówimy problem podziału systemu na podsystemy. Najpierw zajmiemy się podziałem systemu na dwa podsystemy.

Definicja 25: Przez podział systemu $[M, S]$ na dwa podsystemy rozumiemy przedstawienie systemu jako złożenia dwóch rozłącznych podsystemów. Czyli możemy zapisać, że $[M, S] = [M_1, S_1] \cup [M_2, S_2]$, gdzie $M_1 \cap M_2 = \phi$, $S_1 = S|S_1, S_2 = S|M_2$. Jak widać, podział systemu możemy zdefiniować bez korzystania z pojęcia systemu pełnego. Co się tyczy problemu analizy, o którym wspomnieliśmy na początku tego paragrafu, możemy z przyjętego tu bardzo generalnego punktu widzenia stwierdzić jedynie, iż najbardziej celowe i właściwe dzielenie systemu na podsystemy powinno wychodzić z zasady wydzielania podsystemów tak, by ich struktura łączna $S_{12} = S \setminus S|M_1 \setminus S|M_2$, którą można zdefiniować niezależnie od systemu pełnego, była jak najprostsza.

Podział systemu na więcej niż dwa podsystemy, jak również uogólnienie złożenia i przekroju więcej niż dwóch systemów, nie przedstawia żadnych trudności. Zwrócimy tu jedynie uwagę na następujące zagadnienie.

Niech $[M, S] = [M_1, S_1] \cup [M_2, S_2] \cup [M_3, S_3]$ będzie podziałem systemu $[M, S]$ na trzy podsystemy. Przypuśćmy, że w strukturze S występuje przynajmniej jedna więcej niż dwuargumentowa relacja, co najmniej trójargumentowa. Wówczas oprócz struktur łącznych S_{12}, S_{13}, S_{23} będzie występowała jeszcze jedna niepusta struktura łączna S_{123}, w której zawarte są trójki uporządkowane $[x_1, x_2, x_3] \in R$, gdzie $x_1 \in M_1, x_2 \in M_2, x_3 \in M_3$.

W takim przypadku może się zdarzyć, że systemy te będą parami niezależne, niemniej nie ma sytuacji, w której wszystkie trzy okazałyby się względem siebie niezależne.

3.4. AGREGACJA

Powyższe rozważania zawierają już wszelkie wyjaśnienia niezbędne do tego, aby zająć się szczególnie ważnym dla nauk ekonomicznych problemem agregacji. Naturalnie nie będziemy się zajmować rozwiązaniem tego skomplikowanego problemu dla konkretnych przypadków, lecz ograniczymy się do wyjaśnienia pojęć istotnych, które są niezbędne również przy rozwiązywaniu praktycznym zagadnień agregacji.

W paragrafie 3.1. dokonaliśmy zamiany łańcucha kooperacyjnego Σ w jeden mocno homomorficzny system Σ'' przez połączenie zakładów B i C w jedność D. Wykonaliśmy tam czynność agregowania. W procesie agregacji systemu podzielonego na podsystemy, traktujemy te podsystemy jako elementy nowego systemu, którego struktura składa się w istocie z łącznych struktur podsystemów. Pokażemy tu, w jaki sposób można konstruować system zagregowany przez podział systemu na podsystemy. Z tego zaś wyniknie, że system zagregowany jest zawsze silnie homomorficzny z odpowiadającym mu systemem prototypowym. Niech będzie dany podział systemu

$$[M, S] = [M_1, S_1] \cup [M_2, S_2] \ldots \cup$$

na skończoną lub nieskończoną przeliczalną ilość podsystemów. Jeżeli relacja R należy do struktury S, zapiszemy, że $S = [\ldots, R, \ldots]$. System zagregowany $[M', S']$ należący do podziału konstruujemy w następujący sposób. Przyjmujemy, że $M = \{m_1, m_2, \ldots\}$ gdzie każdy podzbiór M_i odpowiada jednoznacznie elementowi m_i. Niech $S' = [\ldots, R', \ldots]$, gdzie R' jest relacją należącą do struktury S', odpowiadającą relacji R z S. Łączna liczba relacji R i R' nie będzie n (n może się równać nieskończoności). Wówczas

prawdziwe jest, że $[m_i, m_k] \in R'$, gdy jedno $x_i \in M_i$, a jedno $x_k \in M_k$, ... a więc $[x_i, x_k, \ldots] \in R$ [19].

Ze sposobu konstruowania $[M', S']$ wynika, że $[M, S] \sim [M', S']$ (mocne). Oznaczmy przez f odbicie, które każdy element zbioru M_i przedstawia jako m_i $(i = 1, 2, \ldots)$, odbicie to jest więc jednoznacznym odbiciem M na M'. Wówczas jeżeli tylko $[x_i, x_k, \ldots] \in R$ jest relacją należącą do struktury S, to również $[m_i, m_k, \ldots] = [f(x_i), f(x_k), \ldots] \in R'$ jest odpowiadającą jej relacją R' w S', jak również $[M, S] \sim [M', S']$. Homomorfizm ten jest mocny., ponieważ dla każdego $[m_i, m_k, \ldots] \in R'$ istnieje co najmniej jedna n-tka uporządkowana $[x_i, x_k, \ldots] \in R$, z której można przejść odwrotnie, do $[m_i, m_k, \ldots]$ w relacji R'.

Aby wyjaśnić lepiej proces agregacji i wskazać, że homomorfizm między systemem pierwotnym i systemem zagregowanym w ogólnym przypadku nie jest mocny, odwołajmy się do przykładu. Dla prostoty weźmy jako elementy systemu liczby naturalne. Przypuśćmy mianowicie, że $M = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, $S = [R_g, R_p]$, gdzie R_g nazwiemy relacją wielkości, $R_g = \{[x, y] \mid x \in M, y \in M, x > y\}$. Zatem R_g jest relacją dwuargumentową. Relacja R_p będzie natomiast relacją trójargumentową $R_p = \{[x, y, z] \mid x \in M, y \in M, z \in M, x^y = z\}$. Podział systemu $[M, S] = [M_1, S_1] \cup [M_2, S_2] \cup [M_3, S_3]$

gdzie

$$M_1 = \{1, 2\},\ M_2 = \{2, 4\},\ M_3 = \{5, 6\}$$

oraz

$$S_1 = [\{[2, 1]\},\ \{[1, 1, 1],\ [1, 2, 1],\ [2, 1, 2]\}]$$
$$S_2 = [\{[3, 4]\},\ \phi]$$
$$S_3 = [\{[6, 5]\},\ \phi]$$

Tworzymy również struktury łączne, chociaż w dalszych rozważaniach nie będziemy ich potrzebować.

$S_{12} = [\{[3, 1],\ [3,2],\ [4, 1],\ [4, 2]\},\ \{[1, 3,1],\ [1, 4, 1],\ [2, 2, 4],\ [3, 1, 3],\ [4, 1, 4]\}]$

$S_{13} = [\{[5, 1],\ [5, 2],\ [6, 1],\ [6, 2]\},\ \{[1, 5, 1],\ [1, 6, 1],\ [5, 1, 5],\ [6, 1,6]\}]$

$S_{23} = [\{[5, 3],\ [5, 4],\ [6, 3],\ [6, 4]\},\ \phi]$,

$S_{123} = [\phi, \phi]$

Łączna struktura S_{123} jest pusta, ponieważ R_g jest relacją dwuargumentową i wobec tego nie ma żadnej trójki uporządkowanej $[x, y, z]$ złożonej z elementów trzech różnych zbiorów M_1, M_2, M_3, która dałaby $x^y = z$.

System zagregowany $[M', S']$ będzie miał następującą postać:

$$M' = \{m_1, m_2, m_3\}$$
$$R_g' = \{[m_1, m_1],\ [m_2, m_1],\ [m_3, m_1],\ [m_2, m_2],\ [m_3, m_2],\ [m_3, m_3]\}$$
$$R_p' = \{[m_1, m_1, m_1],\ [m_1, m_2, m_1],\ [m_1, m_3, m_1],\ [m_1, m_1, m_2],\ [m_2, m_1, m_2],\ [m_3, m_1, m_3]\}$$

[19] Indeksy i, k nie wszystkie muszą być różne.

Na przykład w relacji R_p' mamy trójkę uporządkowaną $[m_1, m_1, m_2]$, co odpowiada $[2, 2, 4] \in R_p$, i dalej $2^2 = 4$.

To, że nie zawsze występuje silny homomorfizm, pokazuje na przykład fakt, że mimo iż $[m_1, m_1, m_2] \in R_p'$, to nie odpowiada mu $[1, 2, 3] \in R_p$, ponieważ $1^2 = 3$ jest zawsze fałszywe.

4. UOGÓLNIENIA POJĘCIA SYSTEMU

W paragrafie tym zajmiemy się pewnymi uogólnieniami teoriomnogościowego pojęcia systemu. Uogólnienia te odzwierciedlają pewne cechy systemów rzeczywistych istotne w określonych warunkach, które nie dają się uchwycić w ramach pojęcia systemu wprowadzonego w paragrafie 2.3. Pojęcia ogólnej teorii systemów takie jak sprzężenia i operacje, dają się po pewnych modyfikacjach wykorzystać przy formułowaniu uogólnionego pojęcia systemu, jednakże w zagadnienia te nie będziemy bliżej wnikać.

4.1. SYSTEMY ZE SPRZĘŻENIAMI MIĘDZY PODSYSTEMAMI I PODZBIORAMI

Czy istnieją oddziaływania jakiegoś systemu lub podsystemu na inny podsystem lub element, które by nie napotykały zwrotne oddziaływanie tego elementu lub podsystemu? Pewne obserwacje natury biologicznej i socjologicznej wydają się to potwierdzać. Jeżeli płat skóry kijanki, z którego później budowana jest soczewka oka żaby zastąpimy płatem skóry brzucha innej kijanki, to uformuje się z niego normalna soczewka oczna [20]. Wpływ tłumu na jednostkę znajdującą się w tym tłumie nie wydaje się się być identyczny z wpływem każdego uczestnika tłumu z osobna na tę jednostkę. Nie stawiając pytania, czy opisane wyżej zjawiska dają się sprowadzić do dwuargumentowych relacji między elementami, pragniemy pokazać, że możliwe jest zbudowanie pojęcia systemu odzwierciedlające również oddziaływanie całości na część.

Definicja 26: Systemem spójnym nazywamy parę uporządkowaną $[M, S]$ składającą się ze zbioru M i ciągu S określonych na zbiorze $P(M)$ wszystkich podzbiorów M. Z kolei M nazywamy zbiorem elementów, a S strukturą systemu spójnego.

Jako przykład systemu spójnego weźmy zakład produkcyjny, w którym interesują nas istniejące w nim sprzężenia informacyjne. Informacje przekazywane są między poszczególnymi pracownikami, z działów do poszczególnych pracowników, od poszczególnych pracowników do działów, z działu do działu. Zbiór M obejmuje wszystkich pracowników zakładu. Struktura składa się z jednej relacji S. Jest ona zbiorem wszystkich par

[20] R. Goldschmidt. Ascaris. Leipzig 1922.

uporządkowanych $[M_i, M_k]$ podzbiorów zbioru M. W danym przypadku są to podzbiory jednoelementowe.

Można również budować systemy spójne, w których zachodzi oddziaływanie całości systemu na pojedynczy element. Weźmy na przykład system $[M, R]$, gdzie $M = \{a, b, c\}$ i $R = \{[M, \{a\}], [M, \{b\}], [\{a\}, \{c\}], [\{c\}, \{b\}]\}$, składający się z trzech elementów. W systemie tym zachodzi oddziaływanie całego systemu na jego elementy a i b, a ponadto oddziaływanie a na b oraz c na b.

Wydaje się, że wprowadzone tu uogólnienie pojęcia systemu stanowi wzbogacenie jego treści. Trzeba jednak powiedzieć, że zdefiniowaliśmy tylko relacje między podzbiorami. Możliwe jest natomiast dalsze uogólnienie niezbędne dla naszych rozważań, uwzględniające właśnie relacje między podsystemami. W tym celu punktem wyjścia powinien być zbiór $\Pi P[M, S]$ wszystkich cząstkowych podsystemów danego systemu $[M, S]$, który wprowadziliśmy w paragrafie 3.3. Teraz możemy sformułować następującą definicję:

Definicja 27: System silnie spójny jest parą uporządkowaną $[M, S]$ składającą się ze zbioru elementów M oraz ze struktury S, która jest ciągiem relacji określonych na zbiorze $\Pi P[M, S]$.

Przy pomocy pojęcia systemu silnie spójnego możemy wyprowadzić twierdzenie, że oddziaływanie systemu $[M, S]$ na inny system może być jakościowo zupełnie różne od oddziaływania zbioru M na zbiór elementów drugiego systemu. Również struktura systemu oddziałuje na swój sposób. W dodatku tworzenie się pojęcia systemu silnie spójnego jest bardzo skomplikowane. Należy więc starać się, aby ograniczać się do szczególnego przypadku systemów spójnych.

4.2. SYSTEMY ZMIENNE

W pracy *Całość i rozwój w świetle cybernetyki* [21] O. Lange omawiał systemy o prostej strukturze, których rozwój sprowadzał się do zmian działania elementów w czasie. Podczas całego procesu rozwoju struktura systemu pozostawała niezmienna. Również ilość elementów od początku do końca była taka sama. Jest godne podkreślenia, że przy pomocy tak prostego modelu udało się prześledzić zjawiska całości i rozwoju w sposób bardzo zwięzły. Sądzimy jednak, że przebieg rzeczywistych procesów rozwoju w przyrodzie i społeczeństwie związany jest przede wszystkim z przekształceniami strukturalnymi. W obu tych obszarach napotykamy ponadto na systemy, które oddają i przyjmują elementy, a jednak pozostają te same.

[21] O. Lange, jw.

W paragrafie 4.2.1 zajmiemy się więc systemami o zmiennej strukturze, a w paragrafie 4.2.2. systemami o zmiennym zbiorze elementów. W paragrafie 4.2.3. omówimy natomiast systemy o stałej strukturze i zmiennym zbiorze elementów. Szczególną trudność sprawia tu fakt, że nie potrafimy zdefiniować stałej struktury przy zmiennym zbiorze elementów. Omawiane systemy zmieniają się w czasie. Można je zatem nazwać systemami dynamicznymi. Systemy zmienne są uogólnieniem systemów zdefiniowanych w paragrafie 2.3. Nie będziemy się zajmować zmiennymi systemami spójnymi i silnie spójnymi, aby zbytnio nie komplikować zapisu formalnego.

Cechą charakterystyczną naszego podejścia do systemów zmiennych jest traktowanie czasu jako zmiennej dyskretnej. Tak więc przyjmujemy, że ani zbiór elementów, ani struktura zmiennego systemu nie zmieniają się w sposób ciągły. Dany element albo należy do systemu, albo nie należy. Zajmujemy się czasem zużywanym na wejście elementu do systemu (zbioru elementów) tak samo, jak teoria kwantów traktuje czas przebiegu cząstek. Podobnie podchodzimy do zmian struktury. Albo elementy pozostają w określonej relacji względem siebie, albo nie. Czas trwania procesu przejścia z jednego stanu w drugi pomijamy. Wiele systemów naturalnych i sztucznych skonstruowanych jest w taki sposób, że procesy przejścia trwają znacznie krócej aniżeli stany, w których zbiory elementów i struktury pozostają niezmienione. Jest także możliwe, że ze względów taktycznych system jest badany w momentach czasu, aby zmiany zachodzące między tymi momentami były odpowiednio długie po to, by można je było dostrzec. W takich przypadkach możemy również abstrahować od przebiegu procesów przejścia (zmian).

Nie będziemy tu bliżej zajmować się problemami, w jakich warunkach korzystniej jest traktować system działający periodycznie jako system działający w sposób ciągły, w jakich zaś na podstawie realizowanych w sposób ciągły procesów przyrodniczych i fizycznych tworzyć systemy działające periodycznie. Problemy te należy jednak zasygnalizować. Zajmując się systemami cybernetycznymi niejednokrotnie będziemy musieli do tych spraw powracać.

Zmiennym systemem cybernetycznym zajmować się będziemy tylko w dyskretnych, następujących po sobie punktach czasu $t_1, t_2, \ldots, t_n$. W przedziałach czasu $t_n \leqslant t \leqslant t_{n+1}$ zbiór elementów i struktura są albo nieokreślone, albo stałe. Niezależnie od tego, czy punkty czasowe położone są w jednakowych czy niejednakowych odstępach, czy też odstępy te są zdeterminowane czy stochastyczne, możemy zidentyfikować zbiór T punktów czasu jako zbiór liczb naturalnych, bądź też zbiór liczb całkowitych, albo też jako skończony podzbiór zbioru liczb całkowitych.

Pod pojęciem systemu o zmiennej strukturze rozumiemy system, którego struktura jest funkcją czasu.

Zanim zdefiniujemy w kategoriach teorii mnogości system ze zmienną strukturą, rozważymy następujący przykład. Niech będzie dany system o zbiorze elementów $M = \{a, b, c\}$. Niech struktura tego systemu składa się z jednej relacji $R(t)$ zależnej od czasu. Tablicę wartości tej relacji przedstawia poniższa tablica:

t	$R(t)$
0	$\{[a, b]\}$
1	$\{[a, b], [b, a]\}$
2	$\{[a, b], [b, a], [b, c]\}$
3	$\{[b, c]\}$
4	ϕ
5	ϕ
.	.
.	.
.	.

Mamy tu zatem do czynienia z systemem, składającym się z trzech elementów a, b, c. W systemie tym najpierw zachodzi relacja R między elementami a i b. Następnie jego struktura jest sukcesywnie rozbudowywana, po czym z powrotem zmniejszana aż do zupełnego zaniku. Tak więc system praktycznie przestaje istnieć, ponieważ w końcu między jego elementami nie ma żadnych powiązań. Wprowadzanie systemu niewłaściwego $[M, \phi]$ wydaje się tu potrzebne.

System, którego struktura — jak w naszym przykładzie — składa się z jednej relacji dwuargumentowej, może być sprowadzony do pary uporządkowanej $[M, f]$, gdzie f jest jednoznacznym (lustrzanym) odbiciem T w zbiorze relacji dwuargumentowych, to znaczy podzbiorem zbioru $T \times P$ $(M \times M)$.

Aby zdefiniować pojęcie systemu ze zmienną strukturą w kategoriach teorii mnogości, potrzebujemy pojęcia zbioru wszystkich możliwych systemów, dla których M jest zbiorem elementów. Zbiór ten daje się określić za pomocą uniwersalnej struktury Q jako $\Pi\ [M, Q|M]$. Wówczas

Definicja 28a: System ze zmienną strukturą i stałym zbiorem elementów M jest lustrzanym odbiciem f zbioru T punktów czasu w zbiorze $\Pi\ [M, Q|M]$. Czyli $f \subseteq T \times \Pi\ [M, Q|M]$.

System ze stałym zbiorem elementów i zmienną strukturą można przejrzyście zapisać następująco:

$[M, S(t)]$, gdzie $S(t)$ jest strukturą cząstkową $Q|M$ dla każdego punktu czasu. Dla uściślenia tego zapisu potrzebny jest zbiór wszystkich cząstkowych struktur S określonych na M. Zgodnie z definicją 19 przez strukturę cząstkową struktury $S = [S_1, S_2, \ldots]$ rozumiemy strukturę $[R = R_1, R_2, \ldots]$ gdzie $R_i \subseteq S_i$, $i = 1, 2, \ldots$ Zbiór wszystkich struktur cząstkowych struktury S oznaczmy przez $\Pi\ [S]$. Możemy wówczas sformułować następującą definicję:

Definicja 28b: System ze zmienną strukturą i stałym zbiorem elementów M jest parą uporządkowaną $[M, S]$, w której S jest lustrzanym odbiciem T w zbiorze $\Pi\ [Q|M]$.

Jeżeli przyjrzymy się jakiemukolwiek zakładowi produkcyjnemu, to stwierdzimy, że zbiór zatrudnionych stale się w nim zmienia. Jeżeli zbadać obecność pracowników na terenie zakładu, to zauważy się duże różnice między dniem i nocą, między dniem roboczym i świątecznym. Nawet jeżeli analizować będziemy zatrudnienie w zakładzie w sensie prawnym, to zauważymy niepożądane zjawiska fluktuacji, jak również rozrost zakładu i inne zjawiska związane ze zmianami zbioru zatrudnionych pracowników. Zbiór pracowników zatrudnionych w VEB Carl Zeiss Jena w roku 1950 ma niewiele wspólnych elementów ze zbiorem zatrudnionych pracowników w roku 1968. Mimo to chodzi o „ten sam" zakład produkcyjny. Mamy do czynienia z tym samym zakładem produkcyjnym, mimo że zmieniły się jego struktura i zbiór elementów.

Aby można było takie i inne zjawiska opisać, potrzebne jest pojęcie systemu ze zmiennym zbiorem elementów. Systemem ze zmiennym zbiorem elementów nazywamy taki system $[M, S]$, w którym zbiór M i ewentualnie struktura S są funkcjami czasu. Jako przykład służyć może stopniowo rozwijający się łańcuch kooperacyjny, który rośnie do trzech uczestników. W łańcuchu tym interesują nas związki między dostawcą i odbiorcą.

Oznaczmy zmienny zbiór zakładów produkcyjnych przez $M(t)$, a jedyne sprzężenie w S przez $R(t)$. Możemy zbudować teraz następującą tabelę wartości:

t	$M(t)$	$R(t)$
0	ϕ	ϕ
1	$\{a\}$	ϕ
2	$\{a, b\}$	$\{[a, b]\}$
3	$\{a, b, c\}$	$\{[a, b], [b, c]\}$
4	$\{a, b, c\}$	$\{[a, b], [b, c]\}$
.	.	.
.	.	.
.	.	.

Dla systemu ze zmiennym zbiorem elementów (i zmienną strukturą) podamy jedną wspólną definicję.

Definicja 29: System ze zmiennym zbiorem elementów jest zwierciadlanym odbiciem zbioru T punktów czasu w zbiorze $\Pi P [I, Q]$ wszystkich cząstkowych podsystemów systemu uniwersalnego (pełnego).

Przejrzyście można zapisać taki system jako $[M(t), S(t)]$. Ściśle biorąc zapis ten odpowiada systemowi tylko w punkcie czasu t. Dlatego można również przedstawiać zmienny system jako ciąg $[M(1), S(1)]$, $[M(2), S(2)]$, ... albo jako $[M(t), S(t)]$, $t = 1, 2, ...$

(Jeżeli interesuje nas również przeszłość systemu, wystarczy podstawić $t = ..., -2, -1, 0, 1, 2, ...$ Ścisłe określenie pojęcia w kategoriach teorii mnogości podano jednak w definicji 29).

4.2.3. SYSTEMY ZE STAŁĄ STRUKTURĄ I ZMIENNYM ZBIOREM ELEMENTÓW

W poprzednim paragrafie zajmowaliśmy się systemami ze stałym zbiorem elementów i zmienną strukturą oraz systemami ze zmiennym zbiorem elementów i zmienną strukturą. Powstaje rzecz jasna pytanie, czy można zdefiniować systemy o stałej strukturze i zmiennym zbiorze elementów. W praktyce istnieją takie systemy. Weźmy na przykład zakład produkcyjny o ustalonych etatach. Każdemu etatowi przypisana jest określona funkcja służbowa, która interesuje nas tylko o tyle, o ile określa, które etaty są nadrzędne. Na przykład kierownik zakładu jest przełożonym każdego z pracowników zatrudnionych w tym zakładzie, itd. Możliwe jest, że w zakładzie nastąpi zmiana stanowisk, dyrektor ekonomiczny zostanie kierownikiem całego zakładu, brygadzista zostanie majstrem itd. Zwolnione etaty obsadzone zostaną pracownikami z otoczenia zakładu, pracownicy mogą zwolnić się z zakładu. Pokazuje to, że bez zmiany struktury zakładu chwilowo dwa etaty będą nieobsadzone.

Najważniejszą trudnością przy definiowaniu tego rodzaju systemów jest to, że poprzednio określaliśmy strukturę zawsze przy pomocy elementów. W takim razie zmiana elementów z konieczności musiała oznaczać zmianę struktury. Jeżeli przyjrzymy się systemowi z „nieobsadzonymi etatami", to widać wyraźnie, że przy zmianie elementów struktura pozostaje niezmieniona, gdy system zamienia się w system izomorficzny. Ale widać również, że nie jest rzeczą łatwą wykazanie izomorfizmu obu systemów. Stąd wynika, że warto by wprowadzić pojęcie systemu, w którym struktura byłaby pierwszym elementem pary uporządkowanej, a zbiór elementów — drugim. Wówczas strukturę można by traktować jako niezależną od zbioru elementów i zachować jej niezmienność.

W tym celu wprowadzimy pojęcie „systemu zajętego" (belegter System). Jest to taki system, w którym tak zwane „puste miejsca" są traktowane jako szczególne elementy „niewłaściwe", definiowane przy pomocy pojęcia struktury systemu. Puste miejsca mogą być zajmowane przez elementy rzeczywiste. Zajmowanie to może się zmieniać bez żadnych zmian w strukturze systemu.

Definiujemy to następująco:

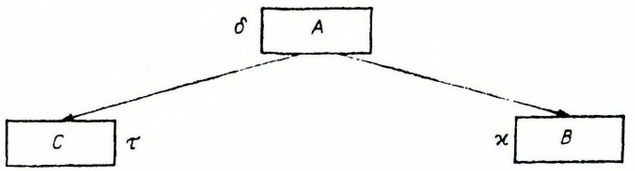
Definicja 30: System „zajęty" jest trójką uporządkowaną $[L, S, b]$. L jest zbiorem, którego elementy nazywamy pustymi miejscami, S jest ciągiem relacji określonym na zbiorze L i nazywa się strukturą zajętego systemu. b jest odwracalnym, jednoznacznym odbiciem obszaru indywiduów I w zbiorze L.

Weźmy jako przykład zarządzanie niewielkim zakładem produkcyjnym przez dyrektora naczelnego δ, dyrektora technicznego τ i handlowego $\varkappa$. Etat dyrektora handlowego jest nieobsadzony. A jest dyrektorem, a C jest dyrektorem technicznym. Omówimy tu relację zależności służbowej.

Za zbiór I przyjąć możemy zbiór wszystkich dorosłych w NRD. Dalej $L = \{\delta, \tau, \varkappa\}$, $S = \{[\delta, \tau], [\delta, \varkappa]\}$ $b = \{[A, \delta], [C, \tau]\}$. Cały system zajęty możemy zapisać przy pomocy następującej formuły:

$$[\{\delta, \tau, \varkappa\}, \{[\delta, \tau], [\delta, \varkappa]\}, \{[A, \delta], [C, \tau]\}]$$

Jego schemat blokowy przedstawia rys. 3. Blok $\varkappa$ jest pusty, podczas gdy bloki δ i τ są zajęte przez A i C.



Rys. 3. Schemat blokowy systemu zajętego

System ze stałą strukturą i zmiennym zbiorem elementów jest więc systemem zajętym $[L, S, b(t)]$, przy czym zajmowanie jest funkcją czasu. Ścisłą teoriomnogościową definicję wstępnie podajemy niżej.

Definicja 31: System ze stałą strukturą i zmiennym zbiorem elementów jest trójką uporządkowaną $[L, S, b(t)]$, gdzie L jest zbiorem pustych miejsc, S strukturą określoną na L, a b — jednoznacznym odbiciem zbioru T w zbiorze jednojednoznacznych odbić z I w L.

Tworząc tabelę wartości odbicia $b = \{[A, \delta], [C, \tau]\}$ dla podanego wyżej przykładu

t	$b(t)$
1	$\{[A, \delta], [C, \tau]\}$
2	$\{[A, \delta], [C, \tau], [B, \varkappa]\}$
3	$\{[C, \tau], [B, \varkappa]\}$
4	$\{[C, \delta], [B, \varkappa]\}$
5	$\{[C, \delta], [D, \tau], [B, \varkappa]\}$

otrzymamy system ze zmiennym zbiorem elementów i stałą strukturą. Widzimy, że w punkcie czasu $t = 2$ etat dyrektora handlowego zostanie zajęty, w punkcie czasu $t = 3$ zostanie zdjęty ze stanowiska dyrektor naczelny, w czasie $t = 4$ dawny dyrektor techniczny zostanie awansowany na dyrektora naczelnego, a już w następnym punkcie czasu $t = 5$ niedawno zwolnione miejsce dyrektora technicznego zostanie na nowo zajęte.

5. POJĘCIE SYSTEMU CYBERNETYCZNEGO

Po wprowadzeniu w poprzedniej części pracy ścisłego pojęcia systemu, jego uogólnienia i po jego wielostronnej analizie, przejdziemy teraz do zdefiniowania pojęcia systemu cybernetycznego. Trudno jest powiedzieć, czy wypracowana tu definicja zostanie powszechnie zaakceptowana. Mamy bowiem szereg rozbieżnych podejść do pojęcia systemu cybernetycznego. Ponieważ nasze pojęcie systemu cybernetycznego jest bardzo ogólne, okaże się dalej celowe uściślić bardziej to pojęcie przez dodatkowe charakterystyki. W każdym razie dobre uściślenie pojęcia systemu cybernetycznego stwarza podstawy i jednolity punkt wyjścia do dalszych dyskusji na ten temat. Tak więc proponujemy przyjęcie definicji systemu cybernetycznego, wynikającej jednoznacznie ze sformułowań problemu podanych przez O. Langego i H. Greniewskiego, która została precyzyjnie sformułowana w kategoriach teorii mnogości.

W *Słowniku Cybernetycznym* znajdujemy następujące wyjaśnienie:

„System cybernetyczny — szczególny rodzaj systemu dynamicznego, który wyróżnia się tym, że każdy ciąg stanów systemu mający swój punkt wyjścia w danym określonym obszarze, obszarze równowagi, dąży do stanu równowagi. ... Cybernetyczne systemy realizują te tendencje do osiągania stanu równowagi za pomocą sprzężeń zwrotnych. Ich istnienie jest niezbędnym, o ile nawet nie decydującym warunkiem uznania danego systemu za cybernetyczny" [22].

Pominąwszy nawet fakt, że na podstawie tak sformułowanego pojęcia systemu cybernetycznego niełatwo jest skonstruować ścisłą definicję, pojęcie to wydaje się zbyt wąskie. Na podstawie definicji ze *Słownika* systemami cybernetycznymi mogą być nazywane tylko systemy stabilne, a w systemach stabilnych tylko te, które stan równowagi utrzymują za pomocą działania sprzężeń zwrotnych, a zatem za pomocą regulacji. Natomiast nie moglibyśmy nazwać systemami cybernetycznymi takich systemów, które nie mają obszaru stabilności, ani takich, które utrzymują się w obszarze stabilności dzięki otwartemu sterowaniu. Przy tym wydaje się, że dowód,

[22] *Wörterbuch der Kybernetik* Berlin 1967 s. 335f.

iż niektóre modele gospodarki kapitalistycznej nie są stabilne [23] czy problemy perspektywicznego planowania w gospodarce socjalistycznej (w której z reguły mamy do czynienia ze sterowaniem otwartym, a nie z regulacją) należą do najważniejszych problemów cybernetyki ekonomicznej. Dlatego też rozwiniemy pojęcie systemu cybernetycznego w taki sposób, że pojęcie przedstawione w *Słowniku* będzie jego szczególnym przypadkiem.

5.1. TREŚĆ POJĘCIA SYSTEMU CYBERNETYCZNEGO

Systemy cybernetyczne występują w obszarze zjawisk biologicznych i społecznych. Systemy cybernetyczne w materii nieożywionej pojawiają się tylko tam, gdzie człowiek nadał materii nieożywionej cel i funkcje z natury związane z materią ożywioną.

Ogólną cechą materii ożywionej jest zdolność odpowiadania reakcjami na bodźce otoczenia. Dlatego też tę cechę przyjmiemy jako charakterystyczną dla systemów cybernetycznych.

Ponieważ system stanowi pewien zbiór elementów (wraz ze strukturą, składającą się ze związków między tymi elementami), to posiada on zdolność reagowania na bodźce wtedy, gdy zdolność tę mają jego elementy. Elementy takie nazywa Oskar Lange elementami działającymi [24], a H. Greniewski układami względnie odosobnionymi [25].

Powiązania między elementami działającymi występują w postaci sprzężeń, to znaczy możliwości przenoszenia oddziaływań między elementami. Tak więc dochodzimy do następującego określenia pojęcia systemu cybernetycznego.

System cybernetyczny jest to taki system, którego elementami działającymi i w którym powiązania są sprzężeniami między elementami działającymi.

Jest to właśnie to, co O. Lange nazywa „systemem elementów działających". Zbiór sprzężonych elementów działających nazywamy systemem elementów działających lub krótko systemem" [26].

W innym miejscu stwierdza on co następuje:

„Układy którymi zajmuje się cybernetyka, są to zbiory elementów powią-

[23] O. Lange. Wstęp do cybernetyki ekonomicznej. Warszawa 1965, wyd. niem. Berlin 1968 s. 137.

[24] O. Lange. Całość i rozwój w świetle cybernetyki. Warszawa 1960, wyd. niem. Berlin 1967 s. 4.

[25] H. Greniewski, M. Kempisty. Kybernetische Systemtheorie ohne Mathematik. Berlin 1966 s. 25.

[26] O. Lange, jw. s. 18 (wyd. niem.).

zanych ze sobą łańcuchem oddziaływań przyczynowo-skutkowych. Takie powiązanie elementów systemu nosi nazwę sprzężenia" [27].

Gdyby okazało się możliwe uściślić w kategoriach teorii mnogości pojęcie elementu działającego i pojęcie sprzężenia między elementami działającymi, to otrzymalibyśmy zarazem uściślenie naszego wyżej podanego określenia pojęcia w postaci teoriomnogościowej definicji.

Nasze pojęcie systemu cybernetycznego jest syntezą pojęcia systemu jako takiego i pojęcia elementu działającego. W syntezie tej uwypuklono istotne cechy systemu cybernetycznego, jego strukturalne ukształtowanie i zdolność reagowania na bodźce. Podane pojęcie systemu cybernetycznego zawiera obie te cechy. Szczególny przypadek stanowią systemy, których zbiór elementów składa się z jednego tylko elementu działającego, np. *a*. Można je utożsamić z pojedynczym elementem działającym *a*. W tym sensie elementy działające są same również systemami cybernetycznymi.

Dotąd zajmowaliśmy się własnościami strukturalnymi systemów w ogóle. Naturalnie odnosiły się one również do szczególnego przypadku systemu cybernetycznego. Obecnie przejdziemy do zagadnienia właściwości systemu cybernetycznego, jaką jest zdolność do reagowania. W tym celu musimy uściślić pojęcie elementu działającego, którego ścisłą definicję podajemy w następnym paragrafie.

5.2. ELEMENT DZIAŁAJĄCY

Przede wszystkim element działający powinien być systemem dynamicznym. Rozumiemy przez to zazwyczaj system, w którym zachodzą procesy zmian w czasie. Systemy zmienne omawiane w paragrafie 4.2. były również systemami dynamicznymi. Stan systemu dynamicznego w każdym punkcie czasu jest opisywany przez wartości zmiennych (których ilość może być skończona lub nieskończona) [28]. Przez element działający rozumiemy tu pewien system dynamiczny, na stan którego oddziaływa otoczenie, i który sam wywiera wpływ na otoczenie. Wpływ otoczenia na element działający, stan elementu i jego wpływ na otoczenie opisujemy przy pomocy trzech funkcji, których argumentem jest czas. Funkcje te nazywamy odpowiednio funkcjami wejścia, funkcjami stanu i funkcjami wyjścia. Wartości tych funkcji są elementami trzech zbiorów. Zbiory te mogą zawierać skończenie lub nieskończenie wiele elementów, na przykład tylko elementy 0 i 1 albo wszystkie liczby naturalne.

Zarówno stan elementu, jak i wejście i wyjście mogą być charakteryzowane przez więcej aniżeli jedną zmienną. W takim przypadku elementami odpowiednich zbiorów są wektory o skończonej lub nieskończonej liczbie składowych. Dzięki temu można opisać proces działania elementu opierając się wyłącznie na funkcjach wejścia, stanu i wyjścia. Można również przedstawić funkcje stanu i wyjścia jako jedną funkcję. Nazwiemy ją funkcją odpowiedzi. Funkcja odpowiedzi odzwierciedla całość zachowania się elementu dla danej funkcji wejścia. Przedstawia więc stan spowodowany przez działanie pojawiające się na wejściu, jak również spowodowane przezeń oddziaływanie na otoczenie. Formalnie takie połączenie funkcji w jedną jest zawsze możliwe. Polega ono przecież na tym, że przyjmujemy jako odpowiedź w czasie t pewien wektor, składający się z wektorów stanu jako elementów składowych oraz z wektorów wyjścia w momentach czasu t. Również z merytorycznego punktu widzenia uzasadnione jest często takie łączenie. Możemy bowiem każdy rozpoznawalny z zewnątrz stan traktować jako oddziaływanie na otoczenie. Uwzględnianie w rozważaniach tych wszystkich trzech funkcji ma decydujące znaczenie dla konkretnych analiz zależności między funkcjami wejścia i funkcjami wyjścia. Zależności te określane są przez funkcję stanu elementu działającego. Widać to wyraźnie na przykład w abstrakcyjnych automatach. Stanowią one ważny i zaawansowany w badaniach szczególny przypadek elementu działającego.

W elemencie działającym interesuje nas nie tyle proces indywidualny, wyizolowany, który można by opisać za pomocą jednej funkcji wejścia i jednej funkcji odpowiedzi, ile problem wszystkich możliwych procesów realizowanych w elemencie działającym. Element działający będziemy mieli określony w pełni wówczas, gdy będziemy znać wszystkie funkcje odpowiedzi, jakimi element może reagować na każdą z możliwych wartości funkcji wejścia. Stwierdzenie to jest potrzebne przy formułowaniu ścisłej definicji elementu działającego.

Definicja 32: Element działający jest trójką uporządkowaną $[E, A, F]$, gdzie E względnie A są zbiorami funkcji odzworowujących uporządkowany zbiór T (zbiór punktów czasu) w zbiorze X (zbiór wejścia) względnie Y (zbiór odpowiedzi). Zbiór E nazywamy wejściem. Jego elementami są funkcje wejścia lub sygnały wejściowe. Zbiór A nazywamy odpowiedzią. Jego elementy to funkcje odpowiedzi lub sygnały odpowiedzi. F jest odbiciem opisującym związki między funkcjami wejścia i funkcjami odpowiedzi. F nazywamy zachowaniem się elementu działającego.

Definicja ta wymaga pewnych uogólnień. W ogólnym przypadku elementy X są wektorami x o składowych $[x_1, x_2, \ldots]$. Możemy więc podstawić $X = [X_1, X_2 \ldots]$ i odpowiednio $E = [E_1 \times E_2 \times \ldots]$. Każdy zbiór E_i nazwiemy wsadem (Input) E_i, elementu działającego. Zbiór X_i nazwiemy zbiorem stanów wejścia dla wsadu E_i. Element $\xi \in E$ jest funkcją czasu, którą zapisujemy również jako $[x(t)]$, dla odróżnienia od $x(t)$; $[x_i(t)]$ nazywamy wartością i-tego wsadu w czasie t, $x(t)$ nazywamy wartością wej-

[27] O. Lange. Wstęp do cybernetyki ekonomicznej, jw. s. 5.

[28] Por. M. A. Aisermann i inni. *Logik, Automaten, Algorithmen*. Berlin 1967 s. 61.

ścia w czasie t. Rozróżniamy również między obrazem $F(\xi) = F[x(t)]$ uzyskanym za pomocą odbicia F i między jego wartością $F(x(t))$ w czasie t.

Odpowiedź A dzielimy na stan A_z i wyjście A_a, tak więc $A = A_z \times A_a$. Oba zbiory mogą być dalej dzielone na podzbiory, czyli $A_z = A_{z1} \times A_{z2} \times \ldots$ oraz $A_a = A_{a1} \times A_{a2} \times \ldots$ Mówimy więc o składowych stanu bądź wyjścia. Ogólnie rzecz biorąc, możemy odpowiedź A podzielić na $A = A_1 \times A_2 \times \ldots \times A_k$. A_k nazywać będziemy wynikiem (Output). Wynik A_k zbioru odpowiedzi traktujemy tak samo, jak wsad E_i zbioru wejścia X_i, i analogicznie zbiór stanów Y_z i zbiór wyjść Y_a jak i ich składowe. Podobnie rozróżniamy odpowiednie funkcje czasu od ich wartości w określonym punkcie czasu t.

W abstrakcyjnej definicji elementu działającego zidentyfikowaliśmy wejście wraz z całością wszystkich funkcji wejścia. To samo odnosi się również do odpowiedzi, stanu i wyjścia, jak i do nakładu (input) i wyniku (output). Odchodzimy tu od potocznego rozumienia wyrażeń. Potocznie przez wejście rozumiemy jakiś otwór lub urządzenie, przez które sygnały wejściowe wprowadzane są do elementu (w szczególności do urządzenia przetwarzającego dane). Można by uniknąć tej chropowatości wyrażeń, powstającej na skutek używania wyłącznie wyrażeń takich jak zbiór funkcji wejścia itd. Wydaje się jednak, że teoriomnogościowe definicje pojęć wejścia, nakładu itd. są poprawne i niezbędne.

Definicja 32 jest bardzo ogólna. Po pierwsze nie została ustalona natura odbicia F, a przez to i wszystkich dalszych uszczegółowień. Po drugie konieczne jest dalsze sprecyzowanie problemu wprowadzonych klas funkcji, aby dojść wreszcie do pojęcia elementu działającego jako rzeczywiście wartościowego i nasyconego treścią pojęcia. Można również zdefiniować w sposób ścisły pojęcie sprzężenia elementu działającego i w ten sposób dojść do ścisłego pojęcia systemu cybernetycznego. Dlatego też w następnym paragrafie, zanim przystąpimy do omawiania mniej ogólnych przypadków elementów działających, dokonamy ponownego lepszego uściślenia w zarysie rzeczywistego systemu cybernetycznego.

Na zakończenie tego paragrafu pragniemy jeszcze zauważyć, że w konkretnych przypadkach elementów działających nie można wyróżnić wejść do układu bez zajmowania się wyjściami. Każde urządzenie techniczne można np. w różny sposób ujmować jako element działający. Jednak przy korzystaniu z niego należy jasno odróżniać wejście, stan i wyjście.

5.3. SPRZĘŻENIE ELEMENTÓW DZIAŁAJĄCYCH I ŚCISŁA DEFINICJA SYSTEMU CYBERNETYCZNEGO

Elementy działające oddziałują wzajemnie na siebie. W procesie tym funkcje wyników jednego elementu występują jako funkcje nakładu w drugim elemencie. Zjawisko to określa się jako sprzężenie.

Definicja 33: Mówimy, że element działający [illegible] ny z elementem działającym b, jeżeli wartość wyniku $y_k(t)$ elementu a odpowiada wartości $x_l(t)$ wsadu do elementu b. Sprzężenie może występować albo w jednym tylko punkcie czasu $t = t_0$ (sprzężenie w chwili t_0), albo w całym przedziale czasu t, $t_1 \leqslant t \leqslant t_2$ (sprzężenie w odcinku czasu), albo też może występować sprzężenie trwałe, to znaczy dla wszystkich $t \in T$ (sprzężenie trwałe w tym przypadku można zapisać jako $[y_k(t)] = [x_l(t)]$.

W ogólnym przypadku między dwoma elementami działającymi może w tym samym czasie występować wiele sprzężeń szeregowych. O. Lange analizował ten przypadek przy pomocy macierzy sprzężeń [29]. Przyjmujemy więc istnienie różnych relacji między a i b.

Sprzężenie równoległe pary elementów działających, to znaczy identyczność każdego z wejść albo każdego z wyjść w obu elementach działających, daje się sprowadzić do szeregowego sprzężenia przez wprowadzenie dodatkowych prostych elementów działających, co wykazał Henryk Greniewski [30]. Można również ująć sprzężenia, których wartość odpowiada więcej niż dwom nakładom lub wynikom. W tym celu należy się jednak posługiwać relacjami więcej niż dwuargumentowymi.

Wprowadzimy teraz następujące uogólnione pojęcie relacji sprzężenia.

Definicja 34: Relacja sprzężenia jest relacją zachodzącą między więcej niż dwoma elementami działającymi, która oznacza identyczność danych nakładom i wyników elementu za pomocą swego numeru porządkowego.

Na przykład $[a, b, c] \in R$ $(1', 2, 4)$ oznacza identyczność wyniku elementu działającego a z nakładem 2 elementu działającego b i nakładem 4 elementu c.

Podobnie jak w prostym sprzężeniu szeregowym, rozróżniamy tu również między sprzężeniem w punkcie czasu, w odcinku czasu oraz sprzężeniem trwałym.

Z elektrotechniki wiadomo, że sprzężenie szeregowe dwóch urządzeń nie pozostaje bez wpływu na zdolność funkcjonowania pierwszego urządzenia. Właściwość ta wprowadza duże teoretyczne i praktyczne komplikacje w łączeniu urządzeń. Dlatego pożądane jest budowanie sprzężeń szeregowych nie powodujących działania odwrotnego, co w dużym przybliżeniu daje się uzyskać w praktyce [31]. Spróbujmy to zdefiniować:

Element działający $[E_1, A_1, F_1]$ sprzężony szeregowo z elementem $[E_2, A_2, F_2]$ nie oddziałuje zwrotnie wtedy, gdy odbicie F_1 za pomocą sprzę-

[29] O. Lange. Całość i rozwój w świetle cybernetyki, jw. s. 13.

[30] H. Greniewski. Elementy cybernetyki sposobem niematematycznym wyłożone. Warszawa 1958, wyd. angielskie Warszawa—Londyn 1960 oraz *Wörterbuch der Kybernetik* jw.

[31] M. Peschel. Kybernetik und Automatisierung. Berlin 1965, s. 53.

żenia, pozostaje niezmienione przy braku jakiegokolwiek sprzężenia z innym elementem.

O. Lange w swojej książce *Całość i rozwój w świetle cybernetyki* milcząco przyjmuje, że sprzężenia między elementami działającymi nie wywołują zwrotnego oddziaływania.

Zwrotne oddziaływanie sprzężeń ekonomicznych elementów działających nie jest bez znaczenia. Praca elektrowni zależy od jej obciążenia. Jakość wyrobów zakładu produkcyjnego zależy od odbiorcy tych wyrobów. Informacje o pracy zakładu wyglądają inaczej, gdy są przekazywane do innego zakładu, inaczej zaś gdy ich adresatem jest zarząd przedsiębiorstwa (zjednoczenia). Zjawiska te dają się uwzględnić głównie za pomocą odpowiednich sprzężeń zwrotnych, to znaczy przez sprzęganie elementów pierwszego z drugim sprzężeniami bez zwrotnego oddziaływania szeregowo, i równocześnie wiązanie elementu drugiego z pierwszym sprzężeniem szeregowym.

Nakład i wynik występujące w jednym sprężeniu nazywamy wzajemnie sprzężonymi. Nakład lub wynik, które nie występują w żadnym sprzężeniu, nazywamy swobodnymi.

Teraz już mamy za sobą wszelkie rozważania, potrzebne do podania ścisłej definicji ogólnego pojęcia systemu cybernetycznego i możemy analizować związki między elementami działającymi i systemami cybernetycznymi.

Definicja 35: System cybernetyczny jest to taki system $[M, S]$, którego zbiór elementów składa się z elementów działających oraz którego struktura $S = [R_1, R_2, \ldots]$ jest ciągiem relacji sprzężenia określonych na zbiorze M.

Jest to definicja możliwie najbardziej ogólna. Odnoszą się do niej również spostrzeżenia poczynione przy formułowaniu ogólnej definicji elementu działającego. Dla dokładnego opisu systemu cybernetycznego zgodnie z definicją 35 należy wziąć pod uwagę bardzo wiele relacji. Nawet złożony z kilku elementów działających system może być bardzo złożony. W pewnej mierze poglądowe są tu systemy zbudowane z elementów działających o jednym nakładzie i jednym wyniku, gdzie jako jedyne sprzężenie występuje sprzężenie szeregowe bez zwrotnego oddziaływania. Wychodzi się tu od systemów o prostej strukturze. Dla modelowania złożonych systemów potrzebna jest bardzo duża ilość elementów działających.

Jak zaznaczyliśmy w paragrafie 5.1. pojedynczy element działający można traktować jako system cybernetyczny. Stąd system możemy opisać jako $[\{a\}, \phi]$ lub $[\{a\}, S]$, gdzie S oznacza ciąg samosprzężeń (identyczność danego nakładu i wyniku). I odwrotnie, można pewne systemy cybernetyczne traktować jako elementy działające. Odnosi się to do każdego systemu cybernetycznego, który posiada przynajmniej jeden element działający z jednym swobodnym wynikiem. W takim przypadku ogół wolnych nakładów tworzy wejście, a ogół wolnych wyników tworzy wyjście (odpowiedź) elementu działającego, który odpowiada analizowanemu systemowi cybernetycznemu. W przypadku tym mówimy o nakładach i wynikach systemu cybernetycznego.

W miejscu tym chcielibyśmy nawiązać do pytania, czy omówione w paragrafie 4.2. systemy zmienne mogą być ujmowane jak elementy działające. Można by w przybliżeniu potraktować jako funkcję wejścia ciąg wchodzących do systemu ze zmienną strukturą elementów lub zbiorów, a jako funkcję odpowiedzi — ciąg wychodzących zbiorów elementów.

Pozostał jeszcze do omówienia proces zachodzący w systemie. W elemencie działającym brak jeszcze odbicia, które ustala związki między wszystkimi możliwymi funkcjami wejścia i odpowiadającymi im funkcjami wyjścia. Jeżeli takie odbicie istnieje, to system zmienny jest elementem działającym, a więc i systemem cybernetycznym.

Szczególną klasę systemów cybernetycznych tworzą systemy zmienne, których elementy są elementami działającymi. Chodzi tu o systemy ze zmienną strukturą, będącą ciągiem sprzężeń. Sprzężenia te nie muszą być trwałe, wystarczy że będą występowały w danym punkcie czasu lub przedziale czasu.

Kontynuując te myśli H. Greniewski wprowadził pojęcia K-organizacji, K-Techniki i K-procesu [32]. Ujawniła się tu następnie możliwość teoretycznego skonstruowania systemów cybernetycznych wyższego szczebla, których elementy same są systemami cybernetycznymi. Możemy na przykład ująć jako element działający system cybernetyczny ze zmienną strukturą, w którym funkcjami wejścia są możliwe zmieniające się w czasie struktury, a funkcjami wyjścia są pojawiające się w wyniku zmieniające się odbicia, czyli stany systemu cybernetycznego. Za pomocą takich systemów cybernetycznych można odwzorowywać rzeczywiste systemy o bardzo skomplikowanej strukturze. Aby jednak takie poszukiwania wypadły pomyślnie, rozpocząć trzeba od możliwie najprostszych, szczególnego typu elementów działających i systemów. W następnym paragrafie zajmiemy się wspomnianym już w paragrafie 5.2. wyszczególnieniem elementów działających i systemów cybernetycznych.

5.4. PODSTAWOWE TYPY ELEMENTÓW DZIAŁAJĄCYCH I SYSTEMÓW CYBERNETYCZNYCH

Nie zamierzamy w dalszych rozważaniach podać pełnej klasyfikacji elementów działających. Chodzi nam tylko o wyliczenie podstawowych typów

[32] H. Greniewski. Kybernetisch-ökonomische Modelle. Mathematik und Kybernetik in der Ökonomie, Konferenzprotokoll, Część II, Berlin 1965.

Mogą one bowiem służyć jako modele dla rzeczywistych systemów cybernetycznych o określonych cechach.

Rozpoczniemy od zagadnienia trwania elementu działającego w czasie Następnie przejdziemy do problemu determinizmu i przypadkowości. Z kolei omówimy wprowadzone przez H. Greniewskiego elementy działające prospektywne i retrospektywne, które uwzględniają związek przeszłości i przyszłości.

5.4.1. CZAS W SYSTEMIE CYBERNETYCZNYM

Czas w zachowaniu się elementu działającego zależy przede wszystkim od natury zbioru T momentów czasu (punktów czasu). Zbiór ten ma moment początkowy t_a i moment końcowy t_e. W sytuacji wyidealizowanej możemy przyjąć, że $t_a = -\infty$ oraz $t_e = +\infty$. Każdy taki element działający ma bardzo długą historię. Jego zachowanie się może być poznane jedynie eksperymentalnie. Gdy istnieje wiele egzemplarzy elementu, to dla każdego egzemplarza można obserwować tylko jedną funkcję wejścia i jedną funkcję wyjścia. Jeżeli przedział czasu między t_a i t_e jest niewielki, to dla zbadania jego zachowania się można obserwować kolejno różne funkcje wejścia do tego samego elementu działającego. Jeżeli jednak zachowanie się dotyczy znanej konstrukcji konkretnego elementu działającego, to idealizacja polegająca na przyjęciu $t_a = -\infty$, $t_e = +\infty$ okazuje się nie mieć sensu. Równocześnie wiadomo, że iluzoryczna jest możliwość badania zachowania się konkretnego ekonomicznego systemu cybernetycznego, którego przeszłość ma istotne znaczenie, za pomocą analizy wyłącznie szeregów czasowych wartości funkcji wejścia i odpowiedzi, bez pogłębionego uwzględnienia wielu powiązanych ze sobą oddziaływań, zwłaszcza gdy istnieje tylko jeden egzemplarz takiego systemu.

Rozróżniamy elementy działające z czasem ciągłym i dyskretnym. W pierwszym przypadku zbiór T składa się ze wszystkich t leżących w przedziale $t_a \leqslant t \leqslant t_e$. W drugim do zbioru tego należą tylko dyskretne momenty czasu $t_1, t_2, \ldots$ znajdujące się w tym samym przedziale. Takie elementy działające odpowiadają w sferze produkcyjnej zakładom produkującym wyroby ciągłe i wyroby liczone w sztukach. Wśród maszyn liczących wyróżniamy pracujące w czasie ciągłym maszyny analogowe oraz maszyny cyfrowe pracujące w czasie dyskretnym. Spotyka się również formy mieszane, na przykład urządzenia przetwarzające ciągłe funkcje czasu na sygnały dyskretne (impulsy). Nie chcemy tu zwracać uwagi na szczegóły, lecz tylko postawić problem, dlaczego w naturalnych i sztucznych systemach cybernetycznych dominującą rolę odgrywają elementy o czasie dyskretnym. Pewne myśli przedstawiliśmy już w paragrafie 4.2., gdzie staraliśmy się uzasadnić, dlaczego dla zmiennych systemów wprowadzamy dyskretny zbiór czasu T.

Możemy przyjąć, że we wszystkich rzeczywistych elementach działających upływa pewien czas, tzw. czas reakcji, w którym może zajść zmiana wartości wejścia i spowodować zmianę wartości wyjścia. W odsyłaczu do pracy O. Langego *Całość i rozwój w świetle cybernetyki* [33] zwróciliśmy uwagę na fakt, że sprzężenia elementów działających o różnych czasach reakcji powodują bardzo poważne komplikacje w ich współdziałaniu. Niezbędne jest więc założenie, że pojedyncze elementy działające „czekają" z przetworzeniem przyjętej funkcji wejścia, aż zbiegną się wszystkie różne czasy reakcji. Tworzą się więc przebiegi znacznie bardziej skomplikowane, aniżeli te, które opisuje O. Lange. Uwagi te w jeszcze większym stopniu odnoszą się do elementów działających o czasie ciągłym [34]. Należy przyjąć, że matematycznie zbyt skomplikowana sytuacja oznacza niemożność zorganizowania systemu cybernetycznego, zbudowanego z elementów działających o różnych czasach reakcji lub z elementów działających w czasie ciągłym, co przeszkadza w poprawnym funkcjonowaniu systemu.

Wypowiedziane wyżej myśli nie są żadną hipotezą, której dalsze rozwijanie może doprowadzić do cybernetycznego wyjaśnienia, jak uzyskiwać rytmiczność zachowania się systemów biologicznych.

Natomiast w systemach ekonomicznych rytmiczna, miarowa praca jest podstawową zasadą organizacyjną, bez zachowania której nie mógłby przebiegać żaden złożony proces ekonomiczny. Nawet ciągłym procesom produkcyjnym towarzyszą periodyczne procesy planowania, zarządzania i sporządzania sprawozdań. Robotnicy otrzymują płace nie w sposób ciągły. Inwestycje są również oddawane do użytku w pewnych momentach czasu.

Uwagi powyższe powinny uzmysłowić, jak ważne są elementy działające w czasie dyskretnym. Tylko z nich można budować dobrze funkcjonujące systemy cybernetyczne, gdy działają one w sposób zsynchronizowany, to znaczy gdy wszystkie elementy mają ten sam zbiór T momentów czasu.

5.4.2. DETERMINISTYCZNE I STOCHASTYCZNE ZACHOWANIE SIĘ SYSTEMU CYBERNETYCZNEGO

Poprzednio badaliśmy elementy działające $[E, A, F]$ na podstawie własności funkcji określonych ze zbiorów E i A, przy czym przede wszystkim interesowaliśmy się zbiorem T, w którym funkcje te były określone. Zarówno zbiory wejścia X jak i zbiory wyjścia Y, z których wybierane są wartości funkcji mogą służyć do odróżniania elementów działających.

---

[33] O. Lange, jw. s. 39.

[34] O. Lange, tamże, s. 40.

W tym zakresie wystarczają nam uwagi, zamieszczone w paragrafie 5.2. Obecnie jednak chodzi o rozróżnienie elementów działających na podstawie ich zachowania się, a więc na podstawie odbicia F.

Na każdą funkcję wejścia w zbiorze E reaguje element działający pewną funkcją odpowiedzi ze zbioru A. Ta funkcja odpowiedzi albo jednoznacznie odpowiada funkcji wejścia i wówczas element działający nazywamy deterministycznym, albo też element działający wybiera jedną z wielu możliwych funkcji odpowiedzi i wówczas taki element działający nazywamy niedeterministycznym. Jeżeli wybór odpowiedzi dokonywany jest zgodnie z danym rozkładem prawdopodobieństwa, to taki element działający nazywamy stochastycznym. Wprowadzoną tutaj terminologię zaczerpnęliśmy z opracowanej przez Starke'go teorii abstrakcyjnych automatów stochastycznych i niedeterministycznych [35]. Należy jednak zauważyć, że niedeterministyczny element działający nie jest całkowicie niezdeterminowany. Wybór funkcji odpowiedzi, którym taki element działający reaguje na daną funkcję wejścia, w ogólnym przypadku wynika nie z całego zbioru A, lecz oparty jest na pewnych podzbiorach określonych przez funkcję wejścia. Dlatego też możemy mówić o częściowo zdeterminowanych elementach działających. Uwaga ta odnosi się również do stochastycznych elementów działających, które także nie zachowują się w sposób w pełni określony, lecz zgodnie z rozkładem prawdopodobieństwa określonym przez funkcję wejścia. Ścisła definicja wprowadzonych wyżej trzech klas elementów działających brzmi:

Definicja 36: Niech $[E, A, F]$ będzie elementem działającym, przy czym E jest zbiorem wszystkich możliwych funkcji wejścia, A zbiorem wszystkich pojawiających się funkcji wyjścia. Jeżeli F jest jednoznacznym odbiciem E na A, to element działający nazwiemy deterministycznym. Jeżeli F jest jednoznacznym odbiciem E w zbiorze $P(A)$ wszystkich podzbiorów A, to taki element działający nazywamy niedeterministycznym. Jeżeli zaś F jest jednoznacznym odbiciem E w zbiorze $W(A)$ rozkładów prawdopodobieństwa określonych na zbiorze A, to taki element działający nazywamy stochastycznym.

Aby wprowadzone wyżej pojęcia można było wykorzystywać jako pojęcie matematyczne, niezbędne jest dokładniejsze scharakteryzowanie wprowadzonych zamkniętych klas funkcji wejścia i odbicia.

Dla elementów działających z czasem dyskretnym i dla skończonego zbioru momentów czasu T, nie przedstawia to żadnych trudności. Dla elementów działających z czasem ciągłym trzeba wprowadzić co najmniej

[35] P. Starke. Theorie der stochastischen Automaten. *Elektronische Informationsverarbeitung und Kybernetik* 1/1965 s. 5—32, 71—98; P. Starke. Einige Bemerkungen über nichtdeterministische Automaten. *Elektronische Informationsverarbeitung und Kybernetik* 2/1966 s. 61—62.

założenie stabilności. Nie będziemy tego bliżej rozstrząsać, ani też nie będziemy wchodzić w to, jakie warunki musi spełniać zbiór A, aby można było zdefiniować zbiór $W(A)$.

Niewątpliwie uznać trzeba wszystkie trzy postacie elementów działających jako modele rzeczywistych systemów cybernetycznych, w szczególności systemów ekonomicznych. W wielu przypadkach potrzebny jest deterministyczny element działający, aby zobrazować z wystarczającą dokładnością dany system ekonomiczny. Wówczas stosuje się model deterministyczny, ze względu na jego prostotę.

Zasadniczo jednak w ekonomii mamy do czynienia z procesami niedeterministycznymi i stochastycznymi. Przypadek ten pojawia się w dwóch co najmniej różnych formach. Z jednej strony odzwierciedla on naszą nieścisłą wiedzę o całości czynników wpływających na analizowany system i naszą niedostateczną znajomość stałych cech systemu. Wówczas nawet, jeżeli system w rzeczywistości jest deterministycznym elementem działającym, to na podstawie naszej wiedzy o nim będziemy mogli co najwyżej skonstruować niedeterministyczny model systemu. Jest przecież oczywiste, że w modelu nie możemy ująć nic poza tym, co wiemy. Gdy wykorzystujemy model stochastyczny, przyjmujemy założenie, że dla funkcji odpowiedzi istnieje rozkład prawdopodobieństwa. Założenia tego nie trzeba sprawdzać. Nawet wówczas gdy rozkład taki istnieje, praktycznie jego wyznaczenie może okazać się niemożliwe.

Z drugiej strony, wspomniana wyżej druga forma omawianego przypadku, której poświęcano dotąd stanowczo zbyt mało uwagi, dotyczy jego pozytywnej roli w procesach adaptacji, uczenia się i rozwoju. U podstawy tych procesów leży jako podstawowa reguła cybernetyki metoda prób i błędów. Polega ona na tym, że bada się wiele przypadkowych wariantów zachowania się systemu w określonych sytuacjach i odnotowuje się warianty, które dały najbardziej pożądany skutek. Zachowanie się typu „prób i błędów" i celowo zaplanowane działanie tworzą dialektyczną jedność. Omawia to przekonująco H. Liebscher [36]. Współzależności tych nie będziemy dalej rozważać. W cybernetyce ekonomicznej powstaje jednak problem, w jaki sposób muszą być skonstruowane niedeterministyczne i stochastyczne elementy działające, przy pomocy których odzwierciedlić można procesy adaptacji i rozwoju.

Omówione wyżej trzy typy elementów działających można łączyć przy pomocy sprzężeń w systemach cybernetycznych. Jeżeli wszystkie elementy działające są deterministyczne, to system cybernetyczny nazywamy deterministycznym. Stochastyczny system cybernetyczny zawiera jedynie elementy działające deterministyczne i stochastyczne. Jeżeli system cyber-

[36] H. Liebscher. Kybernetik und Leistungstätigkeit. Berlin 1966 s. 23.

netyczny zawiera choć jeden element działający niedeterministyczny, to nazywamy go niedeterministycznym.

Opierając się na stwierdzeniach H. Greniewskiego [37] zajmiemy się jeszcze dwoma dalszymi typami elementów działających. Paradeterministyczny element działający to taki element, który na podstawie wiedzy o funkcji odpowiedzi pozwala jednoznacznie wnioskować o funkcji wejścia. Parastochastyczny element działający pozwala jedynie na wnioskowanie to z pewnym prawdopodobieństwem. Dla paradeterministycznego elementu działającego można na podstawie funkcji odpowiedzi określić pewien podzbiór w zbiorze funkcji wejścia, z których jedna musi oddziaływać na element działający. Takie elementy działające nadają się do analizy przeszłości lub przyczyn. Należą do nich na przykład przyrządy pomiarowe, eksperymenty przeprowadzane dla udowodnienia postawionych hipotez, badacze zajmujący się odkrywaniem związków przyczynowych lub instytuty paleontologiczne. Jako części składowe systemów ekonomicznych są one niezbędne wszędzie tam, gdzie ważne jest badanie zjawisk przeszłych lub przyczyn. Ścisłą definicję tych elementów działających można by sformułować następująco:

Definicja 37: Element działający $[E, A, F]$ nazywamy paradeterministycznym, jeżeli F^{-1} jest jednoznacznym odbiciem A w E, paraniedeterministycznym, jeżeli F^{-1} jest jednoznacznym odbiciem A w zbiorze $P(E)$ wszystkich podzbiorów E, oraz parastochastycznym, jeżeli F^{-1} jest jednoznacznym odbiciem F^* zbioru A w zbiorze $W(E)$ rozkładów prawdopodobieństwa na E.

Element działający może więc być równocześnie deterministyczny i paradeterministyczny. Za pomocą kombinacji różnych rodzajów elementów działających możemy więc otrzymać dziewięć różnych typów elementów działających.

5.4.3. PROSPEKTYWNE I RETROSPEKTYWNE ELEMENTY DZIAŁAJĄCE

Elementy działające, o których mówiliśmy do tej pory, były tak ogólnie określone, że ich zachowanie się mogłoby być zupełnie paradoksalne w różnych okolicznościach. Wartość funkcji odpowiedzi deterministycznego elementu działającego w określonym momencie czasu t_o jest jednoznacznie określona w ciągu całego czasu istnienia funkcji wejścia, czyli wyznaczona jest również przez wartości funkcji wejścia, które przyjęte zostaną później dla t_o.

Deterministyczny element działający jest na przykład urządzeniem składającym się z włącznika i lampy. Nakładem jest działanie włącznika w dowolnym punkcie czasu t_1, odpowiedzią — zapalenie się lampy w dowolnym punkcie czasu t_2. Zbiór E można przedstawić jako zbiór wszystkich funkcji $x_{t_1}(t) = 0$ dla $t < t_1$ oraz $x_{t_1}(t) = 1$ dla $t \geqslant t_1$; zbiór A jest zbiorem wszystkich funkcji $y_{t_2} = 0$ dla $t < t_2$ oraz $y_{t_2} = 1$ dla $t \geqslant t_2$. Zachowanie się F tego urządzenia dane jest dzięki odbiciu $t_2 = t_1 + a$. Tak więc lampa zapala się zawsze o a jednostek czasu później po uruchomieniu włącznika. Dla $a \geqslant 0$ nie ma żadnych trudności ani w działaniu urządzenia, ani w jego technicznej realizacji.

Co jednak oznacza ujemna wartość stałej a? Mielibyśmy wtedy na przykład urządzenie, które zapala lampę zawsze o jedną sekundę wcześniej, zanim zadziała włącznik. Takie paradoksalne zachowanie byłoby rzecz jasna nie do wyjaśnienia. Można by jednak przyjąć, że zachodzi tu zamiana wejścia i odpowiedzi. Na przykład włącznik reaguje na sygnał fotokomórki, na którą oddziałuje lampa. Element działający może być więc sprzężony z innymi elementami w taki sposób, że działanie włącznika i zapalanie lampy cofają się na skutek działania tej samej wspólnej przyczyny. W każdym jednak przypadku chodzi o ujemne a występujące w deterministycznym elemencie w sensie definicji 36.

Powstaje jednak potrzeba wyróżnienia węższych klas elementów działających, by nie pojawiało się takie paradoksalne zachowanie się elementów. Klasę taką tworzą wprowadzone przez H. Greniewskiego elementy prospektywne, które tutaj będziemy nazywać prospektywnymi elementami działającymi. Wartość funkcji wejścia prospektywnego elementu działającego w momencie czasu t jest jednoznacznie określona przez wartości funkcji wejścia w momencie czasu t i we wszystkich momentach czasu poprzedzających t. Wartości funkcji wejścia w momentach czasu następujących po chwili t nie mają żadnego wpływu na wartość w momencie czasu t. Zdefiniować to możemy następująco:

Definicja 38: Element działający $[E, A, F]$ nazywamy prospektywnym, wtedy gdy dla dwóch elementów $\xi_1 = [x_1(t)]$ i $\xi_2 = [x_2(t)]$ z E i dla wszystkich $t \in T$ $x_1(\tau) = x_2(\tau)$ dla wszystkich $\tau \leqslant t$, $\tau \in T$ spełniona jest równość $F(x_1(t)) = F(x_2(t))$.

Przypomnijmy, że $F(x_t(t))$ oznacza wartość obrazu F, $[x_t(t)]$ funkcji $[x_t(t)]$ w czasie t. Z samej równości $x_1(t) = x_2(t)$ bynajmniej nie wynika że $F(x_1(t)) = F(x_2(t))$. W ogólnym przypadku spełniona musi być dlatego równość $x_1(\tau) = x_2(\tau)$ dla wszystkich $t \in T$, natomiast dla elementów działających prospektywnych wystarczy, jeżeli z naszej definicji spełniony będzie tylko warunek $\tau \leqslant t$.

Pokazaliśmy, że opisany wyżej deterministyczny element działający z ujemną stałą czasową a nie jest elementem prospektywnym. Weźmy teraz dwie funkcje wejścia $[x_a(t)]$ i $[x_{2a}(t)]$. Spełnione są one dla wszystkich

[37] H. Greniewski. Elementy cybernetyki sposobem niematematycznym wyłożone. jw.

wartości $\tau \leqslant \frac{1}{2}\, a$. Ich funkcje odpowiedzi $[y_0(t)]$ i $[y_a(t)]$ są dla $t = \frac{1}{2}\, a$ różne, a mianowicie $y_0(\frac{1}{2}\, a) = 1$ oraz $y_a(\frac{1}{2}\, a) = 0$.

Systemy prospektywne stanowią bardzo wąską klasę elementów działających. Pokazać to można na następującym przykładzie. Niech $T = X = Y = \{0, 1\}$. Mamy więc cztery różne funkcje, które można oznaczyć 00, 01, 10, 11 (pierwsza cyfra oznacza wartość funkcji w momencie czasu 0, a druga w momencie czasu 1). Wobec tego $E = A = \{00, 01, 10, 11\}$. Ilość różnych możliwych jednoznacznych odbić F zbioru E w A wynosi $4^4 = 256$. Taka jest również liczba różnych deterministycznych elementów działających i zbiorów E i A. Gdyby deterministyczny element działający był prospektywny, nie mogłyby równocześnie w odbiciu F pojawiać się pary [00, 10] i [01, 00]. Łatwo można się przekonać, że istnieją tylko $2^6 = 64$ różne prospektywne deterministyczne elementy działające w tych samych zbiorach E i A.

Definicja 38 jest tak sformułowana, że można ją odnosić (zastosować) zarówno do deterministycznych, niedeterministycznych, jak i stochastycznych elementów działających. Dla każdego z trzech typów istnieją odpowiadające im elementy prospektywne.

Analogicznie z definicją 37 możemy sformułować następującą definicję:

Definicja 39: Element działający $[E, A, F]$ nazywa się retrospektwnym, jeżeli dla dwóch elementów $\eta_1 = [y_1(t)]$ i $\eta_2 = [y_2(t)]$ należących do zbioru A i dla wszystkich $t \in T$, $y_1(\tau) = y_2(\tau)$ dla wszystkich $\tau \geqslant t$, $\tau \in T$, oraz $F^{-1}(y_1(t)) = F^{-1}(y_2(t))$ lub $F^*(y_1(t)) = F^*(y_2(t))$.

W paradeterministycznych retrospektywnych elementach działających wartość funkcji wejścia w czasie t jest więc jednoznacznie wyznaczona przez wartość funkcji odpowiedzi w czasie t i we wszystkich następnych momentach czasu. Podobnie wyglądają zależności dla parastochastycznych i paraniedeterministycznych elementów działających.

W dalszej części tego paragrafu zajmiemy się jedynie prospektywnymi elementami działającymi, które scharakteryzujemy bardziej szczegółowo. Przedstawiony bardziej szczegółowy podział tych elementów można przenieść również na retrospektywne elementy działające.

Z mocy definicji 38 wartość funkcji odpowiedzi w czasie t zależy od całej historii elementu działającego, to znaczy zależy od wartości funkcji wejścia we wszystkich momentach czasu τ w przeszłości aż do momentu czasu t włącznie. Zależność tę można ograniczyć redukując nieskończony przedział zmienności $\tau \leqslant t$ do przedziału skończonego $t - a \leqslant \tau \leqslant t$, a nawet $\tau = t$. Mówimy stąd o prospektywnych elementach działających z pamięcią nieograniczoną, z pamięcią ograniczoną i o elementach działających bez pamięci (z pamięcią zerową). Gdy $\tau = t - c$, to c nazywamy czasem reakcji, wreszcie gdy $\tau \leqslant t - c$, wówczas c nazywamy czasem śmierci prospektywnego elementu działającego [38].

Można, rzecz jasna, badać prospektywne elementy działające z czasem dyskretnym. Prostsze jest jednak zdefiniowanie przypadku z czasem ciągłym. Weźmy jako przykład prospektywny deterministyczny element działający ze zbiorem czasu T = 1, 2, 3,...

Elementy zbiorów E i A można zapisać jako ciągi $x_1, x_2, \ldots$ oraz $y_1, y_2, \ldots$ Odbicie F można natomiast zdefiniować następująco:

$$y_1 = f_1(x_1),\ y_2 = f_2(x_1, x_2), \ldots,\ y_t = f_t(x_1, \ldots, x_t)$$

Można wykazać, że abstrakcyjny automat [39] jest tego rodzaju elementem prospektywnym. Dla takich automatów należy ustalić stan początkowy z_1. Sygnał wyjściowy y_t oblicza się przy pomocy funkcji wyjścia g i sygnału wejściowego x_t oraz stanu z_t.

$$y_t = g(x_t, z_t)$$

Nowy stan z_{t+1} oblicza się za pomocą funkcji przejścia h:

$$z_{t+1} = h(x_t, z_t)$$

Jeżeli z_1 jest dane, to otrzyma się szereg wartości:

$$y_1 = g(x_1, z_1) = f_1(x_1) \qquad z_2 = h(x_1, z_1)$$
$$y_2 = g(x_2, z_2) = (gx_2, h(x_1, z_1)) = f_2(x_1, x_2)$$
$$y_3 = (x_2, z_3) = g(x_3, h(x_2, z_2) = g(x_3 \cdot h(x_2), h(x_1, z_1))) = f_3(x_1, x_2, x_3).$$

Przy pomocy wprowadzonych w powyższy sposób funkcji f_1, f_2, f_3 można otrzymać odbicie zgodnie z podaną wyżej formułą.

Na tym kończymy rozważania dotyczące teorii systemów prospektywnych i abstrakcyjnych automatów, których rosnące znaczenie dla cybernetyki ekonomicznej i elektronicznego przetwarzania danych można już dziś dostrzec.

6. W SPRAWIE POJĘCIA EKONOMICZNEGO SYSTEMU CYBERNETYCZNEGO

Problem, który chcielibyśmy poruszyć na zakończenie tej pracy polega na tym, czy jest możliwe sformułowanie pojęcia ekonomicznego systemu cybernetycznego oraz czy można to pojęcie sformalizować.

To, że ludzi można traktować jako systemy cybernetyczne, nie ulega wątpliwości; jednak nie wszystkie własności jakie posiada człowiek, dają się wyjaśnić za pomocą podejścia cybernetycznego.

---

[38] W sprawie tych pojęć por. także M. Peschel, jw. s. 49.

[39] *Kleine Enzyklopädie Mathematik* Leipzig 1965 s. 773. W teorii automatów prospektywne elementy działające nazywa się sekwencyjnymi lub, w przeciwieństwie do H. Grenlewskiego, retrospektywnymi.

Podobnie jest z systemami ekonomicznymi takimi jak przedsiębiorstwo, gospodarka narodowa itd. Bardzo wiele cech tych systemów można wprawdzie wyjaśnić przy pomocy cybernetyki, ale nie wszystkie. Na tym właśnie polega istota cyebrnetyki, której stwierdzenia i pojęcia mają wartość niezależnie od przedmiotu badanego.

Tak więc systemami ekonomicznymi zajmować się można tylko w taki sposób, że podaje się własności, które są szczególnie ważne dla badanego systemu, albo też — korzystając z wprowadzonej przez nas terminologii — próbuje się stwierdzić, jakie istotne elementy, relacje i sposoby zachowania się są istotne dla systemów ekonomicznych. Chodzi o wyjaśnienie treści problemów zarówno ekonomicznych, jak i cybernetycznych. Stopniowa formalizacja niezbędnych pojęć jest niewątpliwie ważnym środkiem tworzenia teorii cybernetyki ekonomicznej. Niniejsza praca służyć może zarówno jako podstawa, jak i jako metodyczny przykład.

Георг Винтген

К ВОПРОСУ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В работе предлагаются точные понятия системы и кибернетической системы на количественно-теоретической основе. Система определяется как расположенная в орном ряду пара количества элементов и структуры, которая является результатом реляции через это количество. Кибернетическая система является системой, элементы которой являются активными элементами по О. Ланге и структура которой состоит из сопряженных реляций между активными элементами. Приводятся специализации и обобщения этих понятий и исследуются основополагающие соотношения и операции в связи с рассматриваемыми системами. Примеры в основном взяти из области экономики.

Georg Wintgen

THE CYBERNETIC SYSTEM IN THE LIGHT OF THE SET THEORY

This paper proposes exact terms for system and cybernetic system on a set-theoretical basis. A system is defined as an ordered pair of a set of elements and a structure which is a sequence of relations over this set. A cybernetic system is a system whose elements are active elements in the sense of Oscar Lange and whose structure consists of coupling relations between the active elements. Specializations and generalizations of these terms are given, and basic relations and operations with regard to the systems are examined. Most of the examples are taken from the field of economy.

ZAŁĄCZNIK 8
PRZEGLĄD ZAGADNIEŃ

ZAGADNIENIA
NAUKOZNAWSTWA
I 1105), 1991
PL ISSN 0044-1619

Cybernetyka jako nauka i cybernetyka nauki

ZAGADNIENIA
NAUKOZNAWSTWA
I 1105), 1991
PL ISSN 0044-1619

Cybernetyka jako nauka i cybernetyka nauki*

Wprowadzenie

Częste są obecnie dyskusje, których tematyka sprowadza się do ogólnego pytania: czy współczesna filozofia nauki właściwie określa ten rodzaj wiedzy, który uznajemy za właściwy do opisywania systemów społecznych? Przez wiele dziesięcioleci rosło niezadowolenie z klasycznej filozofii nauki, tj. z pozytywizmu logicznego, a rozwiązanie - konstruktywizm - pojawiło się dopiero niedawno. Właśnie konstruktywizm umożliwia określenie, czym jest cybernetyka - dyscyplina, której wielu naukowców nie potrafi zdefiniować i o której nie wie nic poza tym, że ma jakiś związek z komputerami. S. A. Umpleby uważa, że cybernetyka ma pewne dane, by wnieść poważny wkład w filozofię nauki oraz naukoznawstwo (tego ostatniego terminu nie używa, chociaż porusza zagadnienia naukoznawcze).

Osiągnięcia filozofii nauki

Istnieje wiele poglądów i szkół myślenia w ramach historii i filozofii nauki. Nie będziemy szczegółowo przedstawiać stanowiska rozmaitych autorów [Suppe, 1974]. Po prostu zreferujemy dwa stanowiska, które - jak się wydaje - obecnie dominują w filozofii nauki, aby skontrastować je z filozoficznym stanowiskiem współczesnej cybernetyki. W opisie zwrócimy szczególną uwagę na prace Karla Poppera i Thomasa S. Kuhna.

Filozofia nauki stanowi teorię opisującą istotę i postęp wiedzy. Nie powinniśmy zbyt łatwo odrzucać jej, tym bardziej, że krytyka w każdym przypadku wygląda bardziej obiecująco, jeśli towarzyszy jej stanowisko alternatywne. Trudno przekonać kogokolwiek do odrzucenia czegokolwiek, co dobrze służyło, chyba, że zaproponuje się w zamian coś lepszego. Jednym z osiągnięć filozofii nauki było przedstawienie problemu granicy, tj.

---

* Tekst niniejszy stanowi obszerne streszczenie artykułu S. A. Umpleby'ego pt. *The Science of Cybernetics and the Cybernetics of Science*, który ukazał się w „Cybernetics and Systems: An International Journal" 1990 nr

oddzielenia nauki od nie-nauki [Miller, 1985]. Popper zaproponował kryterium falsyfikacji. Sądy naukowe mogą zostać sfalsyfikowane, nienaukowe natomiast nie mogą. Idea ta, wraz z poprzednią ideą weryfikacji przez odwołanie się do eksperymentu, miały zbawienny wpływ na systemy społeczne. Dzięki idei eksperymentalizmu nauka stała się środkiem ustanawiania innego rodzaju wiedzy niż przy zastosowaniu przymusu lub przez odwołanie się do autorytetu, wiary czy czegoś ponadnaturalnego. Idea ta uwolniła społeczność naukową spod kontroli kościelnej czy państwowej i wzmocniła rozwój demokracji.

Nauka stworzyła możliwości dla tych, którzy chcieli myśleć krytycznie, aby wyjść poza utarte doktryny i poglądy. Metoda prób i błędów, przyjmowanie założeń i ich odrzucanie działały ożywczo na społeczeństwo i umożliwiły materialny postęp ostatnich stuleci. Nauka pokazała nam drogę do uświadomienia sobie, co wiemy, a czego nie wiemy.

W ostatnich dziesięcioleciach największą dyskusję na temat nauki wywołała książka Thomasa Kuhna *Struktura rewolucji naukowych* (1962). Podczas gdy pozytywiści definiowali epistemologię normatywnie - pokazując, jak naukowcy powinni działać - Kuhn definiował ją socjologicznie, tj. ukazując naukowców jako system społeczny. Kuhn zauważył niezgodność opisu postępu naukowego w podręcznikach z jego obrazem wyłaniającym się z oryginalnych tekstów. W podręcznikach przyrost nauki z reguły przedstawiany jest jako proces następujący krok za krokiem, przy czym każda nowa idea nadbudowuje się na poprzednich. Jednakże w oryginalnych pracach odnaleźć można wiele dyskusji i konfliktów. Kuhn zasugerował, że nauka rozwija się poprzez serię rewolucji oddzielonych okresami „nauki normalnej". Nauka normalna to według niego - działalność polegająca na rozwiązywaniu problemów, w której naukowcy stosują powszechnie uznany „paradygmat". Kuhn określił paradygmat jako coś więcej niż teorię, a mniej niż światopogląd.

Praca Kuhna była istotna, ponieważ zwracała uwagę na rolę społeczności naukowców wyznających podobne przekonania. Kuhn stwierdził, że postęp teorii nie jest jedynie sprawą akumulacji odkryć, następujące zaś po sobie teorie w zasadzie nie przystają do siebie. Na przykład masa, wymiary i czas są stałe w mechanice Newtona, ale nie w teorii względności Einsteina. Kuhn zasugerował, że przejście od jednej teorii do drugiej nosi znamiona konwersji religijnej. Podczas gdy pozytywiści stwierdzali, że teorie mogą być testowane przez eksperyment, Kuhn argumentował, że nawet dane eksperymentalne podlegają interpretacji. Teoria Kuhna nie przyciągała filozofów nauki, ale stała się popularna wśród humanistów. Kuhnowski opis nauki jako działalności społecznej przypomina opisy innych procesów

---

21.

społecznych z polityką i religią włącznie. W każdym z tych przypadków rozmaite poglądy są rozwijane i popierane przez różne grupy konkurujące ze sobą w celu zdobycia władzy lub wpływu.

Cybernetyczna krytyka nauki

W ostatnich dziesięcioleciach cybernetycy zaproponowali raczej biologiczny niż normatywny czy socjologiczny pogląd na epistemologię. Wzięli klasyczną filozofię nauki na serio i zastosowali ją do badania systemu nerwowego. Uczyniwszy to doszli do wniosku, że z konieczności muszą odrzucić jedną z kluczowych zasad filozofii nauki: przekonanie, że obserwacja jest czymś niezależnym od obserwatora [von Foerster, 1981].

Obecnie cybernetycy koncentrują swoją uwagę na obserwatorze, a nie tylko na tym, co jest obserwowane [Segal, 1986]. Rozwijają filozofię jako alternatywę dla realizmu [von Glasersfeld, 1987]. Zamiast przekonania, że prawa naukowe są odkrywane tak, jak odkrywa się wyspę lub ocean, cybernetycy sądzą, że są one wynajdywane po to, by tłumaczyły regularności naszego doświadczenia. Poglądowi, że nauka opisuje rzeczywistość, cybernetycy przeciwstawiają twierdzenie, że każda jednostka konstruuje własną „rzeczywistość", odpowiadającą jej doświadczeniu. Jednym z motywów przemawiających za rozwinięciem tej teorii jest przeświadczenie, że ludzie staną się dla siebie bardziej tolerancyjni, jeśli przyjmą ten pogląd. Cybernetycy odróżniają ostatnie prace cybernetyczne dotyczące epistemologii konstruktywistycznej od wcześniejszych prac mówiących o systemach sterowania i wyrażają to stosując pojęcie „cybernetyki drugiego rzędu". Termin ten wprowadzony został po raz pierwszy przez Heinza von Foerstera, który określił cybernetykę pierwszego rzędu jako cybernetykę systemów obserwowanych, zaś cybernetykę drugiego rzędu jako cybernetykę systemów obserwujących [von Foerster, 1979]. Focrster interpretuje pojęcie „systemu obserwującego" dwojako: albo jako systemu, który dokonuje obserwacji, albo jako czynności obserwowania systemów. Gordon Pask dokonał podobnego rozróżnienia, kiedy określił cybernetykę pierwszego rzędu jako zajmującą się zadaniami projektu, natomiast cybernetykę drugiego rzędu jako zajmującą się zadaniami projektującego. Francisco Varela zauważył, że cybernetyka pierwszego rzędu dotyczy systemów kontrolowanych, zaś rzędu drugiego - systemów autonomicznych.

Umpleby zaproponował dwie dodatkowe koncepcje cybernetyki drugiego rzędu [Umpleby, 1979]. Jeżeli cybernetykę pierwszego rzędu można określić jako zajmującą się wzajemnymi oddziaływaniami zmiennych w systemie, to cybernetyka drugiego rzędu

zajmowałaby się wówczas wzajemnymi oddziaływaniami obserwującego i tego, co obserwowane. Ostateczna definicja wykraczałaby poza psychologiczny problem jednego mózgu czy zagadnienia sztucznej inteligencji i koncentrowałaby się zamiast tego na problemie liczby n mózgów, jaki spotkać można w wielopodmiotowych wspólnotach czy społeczeństwach. Ilustracją cybernetyki pierwszego rzędu mogą być teorie systemów społecznych, a w takim przypadku cybernetyka drugiego rzędu zajmowałaby się wzajemnymi oddziaływaniami teorii i społeczeństwa. Tabela 1 zawiera zestawienie różnych definicji cybernetyk pierwszego i drugiego rzędu.

Niektórzy uważają, że współczesna cybernetyka i filozofia nauki kłócą się ze sobą. Zwłaszcza naukowcy często miewają kłopoty ze zrozumieniem, o co chodzi cybernetykom. Jeden ze sposobów zrozumienia, dlaczego tak się dzieje, wynika z porównania założeń

Tabela 1

Różne definicje cybernetyki pierwszego i drugiego rzędu

Autor	Cybernetyka pierwszego rzędu	Cybernetyka drugiego rzędu
von Foerster	Cybernetyka systemów obserwowanych	Cybernetyka systemów obserwujących
Pask	Zadanie projektu	Zadanie projektującego
Varela	Systemy kontrolowane	Systemy autonomiczne
Umpleby	Oddziaływanie między zmiennymi systemu	Oddziaływania między tym, co obserwowane a obserwatorem
Umpleby	Teorie systemów społecznych	Teorie oddziaływań między teoriami a społeczeństwem

leżących u podstaw cybernetyki z filozoficzną koncepcją dotyczącą błędów nieformalnych. Nie zostały one sformułowane i solidnie uzasadnione w obrębie filozofii, ale są tylko zestawem wskazówek, które mają pomóc ludziom w formułowaniu rozsądnych argumentów.

Morris Engel [1980 zidentyfikował 25 błędów nieformalnych, ale jednocześnie stwierdził, że nie jest prawdopodobne, aby dwa teksty zawierały tę samą liczbę błędów. Podzielił on błędy na trzy grupy:

1. błędy dwuznaczności, które powstają w obrębie używanego języka;
2. błędy założenia, wiązane z błędami myślenia;
3. błędy powiązania wprowadzające czynniki emocjonalne.

Przynajmniej trzy błędy - po jednym z każdej kategorii - przekreślają, jak się wydaje, kluczową zasadę cybernetyki.

Jednym z błędów spowodowanych przez język jest błąd akcentu, który bierze się z pomieszania kontekstu. Wśród przykładów Engela znalazły się: pochlebstwo - „Nigdy nie wyglądałeś lepiej", powinszowanie - „Życzę ci wszystkiego dobra, na jakie zasługujesz", egzemplifikacja prawa federalnego: „Uwaga" Prawo nr 18 Kodeksu Stanów Zjednoczonych określa jako wykroczenie przeciwko prawu federalnemu obrażenie urzędnika pocztowego w czasie wykonywania obowiązków służbowych" oraz carska odpowiedź na skierowaną przez więźnia prośbę o ułaskawienie: „Ułaskawienie nie może być wykonane". Błąd akcentu określa pewne rodzaje konstrukcji językowych jako niedozwolone, a przynajmniej wieloznaczne i dlatego złe formalnie. Jednym ze sposobów pomieszania kontekstu jest podniesienie poziomu analizy. Każde zdanie zawierające autodeskrypcję - odniesienie do samego siebie - ustanawia przynajmniej dwa poziomy analizy. Dlatego też jakakolwiek teoria naukowa, która zawierałaby zdania referencyjne, zostałaby wykluczona na podstawie błędu akcentu.

Jeden z błędów gmatwających myśli wywodzi się z przyjmowania za rozstrzygnięte tego, co jest wątpliwe, co jest przykładem obchodzenia faktów. Jedną z postaci tego jest argumentacja, że jest tak, jak głosi A dlatego, że B, przy czym *B* jest zależne od *A*. Przykłady podane przez Engela to cytat z podręcznika: „Wszystkie zdania zawarte w tej książce są prawdziwe", a gwarantem tego jest zdanie faktycznie zawarte w owej książce: „Wszystkie zdania zawarte w tej książce są prawdziwe"; komentarz: „Zbrodnia, jakiej dopuścił się ten człowiek, to skutek oddziaływania otoczenia, w którym przebywał jako dziecko, gdyż wszystkie tego rodzaju zbrodnie mają swoje korzenie w przeżyciach z dzieciństwa, tak jak potwierdza to przypadek tego człowieka"; cytat z eseju filozoficznego: „Rzeczywistość sama w sobie musi być taka, jaka jawi się za pośrednictwem naszych zmysłów; gdyby tak nie było, nie ma żadnego innego sposobu, abyśmy mogli się o tym dowiedzieć"; oraz rekapitulacja współczesnego poglądu filozoficznego: „Moralne przekonania nie mogą być uzasadnione, gdyż nie są weryfikowalne w zmysłowym doświadczeniu". Definicja tego błędu podana przez Engela przekreślałaby wzajemne warunkowanie się. Podawane przez niego przykłady często zawierają jednocześnie koło w rozumowaniu *(circulus in demonstrando) i* pomieszanie kontekstu. Ale wzajemne warunkowanie się - sprzężenie zwrotne jest istotne dla cybernetyki.

Pośród błędów powiązania, wprowadzających zagadnienia emocjonalne, znajduje się ukryty błąd argumentacji *ad hominem.* Engel przedstawia błędy *ad hominem* jako przykład błędów wprowadzających argumentację poprzez atak personalny. Podaje on następujące przykłady: „Jako wytwórca powinieneś popierać rozporządzenie żądające wyższych ceł zaporowych", „Oczywiście, że byłbyś za redukcją realnych podatków państwowych, gdyż na

takiej obniżce sam byś skorzystał", „Nie można wierzyć argumentom podawanym przez uchylających się z powodów moralnych od służby wojskowej, gdyż i oni sami chcą uniknąć poboru". Argument *ad hominem* sugeruje, że błędem jest przenoszenie uwagi z wygłaszanego stwierdzenia na osobę wygłaszającą. Cybernetyka drugiego rzędu stwierdza jednakże, że to nie jest sofizmat, bo kierowanie uwagi na obserwującego bywa rzeczą właściwą.

Cybernetycy napotykają trudności, gdyż wywody ich odbiorców mieszczą się we wszystkich wymienionych trzech głównych grupach błędów nieformalnych. Zagadnienia, którymi się zajmują, wiążą się z nieprawidłowym użyciem języka, niedbałym prowadzeniem myśli i czynnikiem emocjonalnym. Może adepci cybernetyki nie powinni być zdziwieni, że tak wielu naukowców ma kłopoty ze zrozumieniem współczesnej problematyki cybernetycznej. Cybernetycy nie tylko muszą wyjaśniać swoje idee, ale także przełamywać wyniesione ze szkoły nawyki ich krytyków. Najwidoczniej jednak nadszedł czas, aby zbadać epistemologię nieformalną, leżącą u podstaw błędów nieformalnych, i zaproponować nowy zestaw reguł wspomagających konstruowanie użytecznych sądów.

Jednakże konflikt między cybernetyką a filozofią nauki czy naukoznawstwem nie ogranicza się wyłącznie do błędów nieformalnych. Należy wskazać dwa pojawiające się dodatkowo problemy, szczególnie jeśli ktoś interesuje się nie tylko poznaniem, ale także systemami społecznymi.

Wedle klasycznego stwierdzenia filozofii nauki, teorie nie miały żadnego wpływu na opisywane przez nie systemy. Stwierdzenie, iż atomy nie zaczęły się zachowywać odmiennie od czasu, kiedy fizycy przyjęli teorię kwantową, wydawało się uzasadnione. Między teoriami i systemami społecznymi istnieje jednak ścisła interakcja [Soros, 1987. Systemy ekonomiczne zmieniały się, kiedy ludzie zaczęli stosować teorie rozwijane przez Adama Smitha, Karola Marksa, Johna Maynarda Keynesa czy Miltona Friedmana. W rzeczywistości zaś pożądana zmiana systemu społecznego jest zwykle głównym powodem rozwijania teorii społecznych. Cybernetycy nie czują się nieswojo w obliczu sprzężeniowo zwrotnego dialogu między ideami a społeczeństwem, a takie zjawisko niewątpliwie może być rozpatrywane jako przykład wzajemnych współzależności ról twórców idei i adresatów. Dobitnym przykładem współzależności między teorią a fenomenem sprzężenia może być ewolucja teorii opisujących ewolucję idei wywołaną przez ich recepcję.

Drugim punktem niezgody filozofów i cybernetyków jest to, co Popper nazwał jednością metody. Popper stwierdzał, że metoda rozwinięta dla nauk fizycznych może i powinna być stosowana także przez nauki społeczne. Jednakże systemy społeczne, w przeciwieństwie do systemów fizycznych, składają się z myślących uczestników-elementów. Wysiłki jednego

obserwatora zmierzające do tego, aby przewidzieć zachowanie się jakiegoś wyodrębnionego systemu społecznego, powiedzmy rynku papierów wartościowych, są dodatkowo komplikowane przez to, że wszyscy inni obserwatorzy starają się dokonać tego samego, bo chodzi o przychód lub straty pieniężne. Dlatego jedność metody nie jest prawidłowym podejściem do różnicy między naukami społecznymi a fizycznymi. Tabela 2 zawiera podsumowanie trzech stanowisk filozoficznych, które do tej pory zostały przedstawione: klasycznej filozofii nauki - główny przedstawiciel to Karl Popper, socjologicznego podejścia do nauki - Thomas Kuhn oraz współczesnej cybernetyki reprezentującej biologiczne podejście do wiedzy i obejmującej epistemologię konstruktywistyczną.

Tabela 2

Podsumowanie trzech stanowisk filozoficznych

Popper	**Kuhn**	**Cybernetyka konstruktywistyczna**
Normatywne podejście do epistemologii: jak naukowcy powinni działać Nie-nauka *contra* nauka.	Socjologiczne podejście epistemologii: do jak naukowcy pracują faktycznie Stabilny postęp *contra* rewolucja.	Biologiczne podejście do epistemologii: jak funkcjonuje mózg Realizm *contra* konstruktywizm.
Rozwiązanie problemu indukcji: przyjmowanie założeń i odrzucanie	Wyjaśnienie zamieszania w oryginalnych źródłach w odniesieniu do „gładkiego" postępu opisywanego w podręcznikach	Włączenie obserwatora do dziedziny nauki
Jak nauka jest sprawdzana i rozrasta się jako obraz rzeczywistości	Jak rozwijają się paradygmaty i jak są zastępować	Jak jednostka konstruuje swoją „rzeczywistość"
Wiedza naukowa istnieje niezależnie od jednostek ludzkich	Nawet dane i eksperymenty podlegają interpretacji	Teorie dotyczące wiedzy powinny być osadzone w neurofizjologii
Możemy wiedzieć to, co wiemy i to, czego nie wiemy	Nauka to działalność społeczna	Jeśli ludzie zaakceptują ten pogląd, staną się bardziej tolerancyjni

Pogodzenie cybernetyki i nauki

Krytyka możliwości zastosowania podejścia naukowego do systemów społecznych jest szeroko rozpowszechniona [Morgan, 1983. Wielu autorów doszło do wniosku, że ci, którzy zajmują się systemami społecznymi, powinni odrzucić naukę. Nauka jednakże nie jest niezmienną strukturą; stworzona została przez istoty ludzkie i zmienia się w miarę, jak naukowcy docierają do coraz to nowszych obszarów badań, chociażby np. do systemów społecznych.

W klasycznym poglądzie na naukę odnaleźć można opis tego, jak teorie zmieniają się, aby wchłonąć nowe poglądy. Proces ten nazywany jest zasadą korespondencji. Po raz pierwszy

wykorzystał ją Niels Bohr w trakcie rozwijania teorii kwantowej. Zgodnie z zasadą korespondencji, każda nowa teoria powinna redukować się do starej teorii dla tych przypadków, dla których stara teoria sprawdzała się. W ten sposób stara teoria staje się uszczegółowieniem nowej ogólniejszej teorii przy ewentualnym pomijaniu albo pomniejszaniu nowo zdefiniowanych parametrów, w krańcowym przypadku - do zera.
Aby zilustrować ten punkt, odwołajmy się do przykładu z chemii. Równania stanu gazu opierały się na założeniu, że cząsteczki gazu nie mają wymiarów, że w zasadzie są one punktami materialnymi o rozmiarach punktów geometrycznych. Jednak w miarę rozwoju techniki gazy mogły być zagęszczane do tego stopnia, że wymiary ich cząsteczek stawały się znaczące. A więc równania stanu gazu musiały być stworzone na nowo, już z uwzględnieniem wymiarów cząsteczek gazu.

Kiedy powstają nowe teorie skonstruowane w zgodzie z zasadą korespondencji, wydaje się, że nauka rozwija się w sposób uporządkowany. Przewaga teorii sformułowanych w ten sposób polega na tym, że wszystko, co przemawiało na korzyść starej teorii, przemawia również na korzyść nowej. Jednakże zasadę korespondencji odnalazłoby się w schematach myślenia jedynie pewnej części tych, którzy zajmują się historią nauki.

Historyków nauki dałoby się podzielić na socjologów, pod wodzą Kuhna, którzy twierdzą, że nowe i stare teorie są niewspółmierne względem siebie, oraz filozofów nauki czy naukoznawców utrzymujących, że - przy zastosowaniu zasady korespondencji - można ustalić uporządkowany postęp wiedzy naukowej. Te dwa przekonania można połączyć. Istnieją dwa przejścia: od nauki rewolucyjnej do normalnej i od normalnej do rewolucyjnej. Kuhn podkreślał, że przejście od nauki normalnej do rewolucyjnej dokonuje się wówczas, gdy pojawią się nowe idee. Popper, Krajewski i inni opisują przejście od starych teorii do nowych dzięki zastosowaniu zasady korespondencji. Umpleby zaś przejścia dokonane z zastosowaniem zasady korespondencji określa jako przykłady drugiego rodzaju przejścia, od okresu rewolucyjnego do nowego okresu nauki moralnej. Następstwo konstruktów myślowych - nauka normalna, rewolucja naukowa, nauka normalna - bardzo przypomina heglowską koncepcję dialektyki, tj. jego tezę, antytezę i syntezę.

S. A. Umpleby rozważa dwa przykłady: teorię względności i konstruktywistyczną cybernetykę. W przypadku teorii względności przejście od nauki normalnej do rewolucyjnej zaznaczone zostało przez dramatyczną zmianę przekonań dotyczących masy, wymiarów i czasu. W mechanice Newtona masa, wymiar i czas były stałe; wedle teorii względności mogą się zmieniać. Niektórzy uczeni podkreślają niewspółmierność obu teorii, inni zwracają uwagę, że przy zastosowaniu transformacji Lorentza - można pokazać, iż zawarte w teorii

względności równania opisujące masę, wymiary i czas redukują się do równań Newtona, kiedy prędkość jest względnie mała. Toteż, jeśli bierzemy pod uwagę dodatkowe warunki dotyczące prędkości względnej, stara teoria może być rozpatrywana jako specjalny przypadek nowej. Chociaż newtonowski światopogląd odwoływał się do prędkości względnej, prędkość ta nie zmieniała jednak masy, wymiarów ani czasu. Stosując zasadę korespondencji można stwierdzić, że stara teoria sprawdza się jako przypadek nowej w sytuacji, gdy pewne nowo zdefiniowane lub na nowo zinterpretowane wielkości są bardzo małe.

Jeśli chodzi o cybernetykę, to przez wiele lat cybernetycy podkreślali różnice dzielące cybernetykę pierwszego rzędu od cybernetyki drugiego rzędu. Rozróżnianie nowej cybernetycznej perspektywy konstruktywizmu i standardowego realizmu naukowego stało się nawet rutynowym zabiegiem przeprowadzanym na spotkaniach cybernetyków. Wysiłki zmierzające do ustalenia niewspółmierności tych dwóch perspektyw znaczą przejście od nauki normalnej do „rewolucyjnej". Ten nowy, „rewolucyjny" pogląd jest obecnie dobrze określony, a dalsze postępy „porewolucyjne" wymagają rozpoczęcia okresu „normalnej nauki". Do dokonania tego niezbędne jest określenie nowego wymiaru lub reinterpretacja starego. Wymiarem takim mógłby być „zakres, w jakim własności obserwującego zmieniają opis tego, co obserwowane" albo „liczba wzajemnych interakcji między obserwatorem a tym, co obserwowane".

Perspektywa ta ma dwie konsekwencje. Po pierwsze, cybernetyka konstruktywistyczna - i podobne poglądy rozwijane w ramach innych dyscyplin pod innymi nazwami - może być interpretowana jako tworząca rewolucję naukową tak samo, jak dokonała tego teoria względności. Nowa rewolucja jest dla nas bardzo istotna, gdyż nowy wymiar oddziaływań między tym, co obserwowane a obserwującym dotyczy nie jakiejś pojedynczej dziedziny, ale całej nauki. Po drugie, można tutaj powiązać nauki społeczne i przyrodnicze. Zamiast w dalszym ciągu rozwijać nauki społeczne i przyrodnicze niezależnie od siebie, można by teraz ściślej opisać podobieństwa i różnice tych dwóch gałęzi nauki. Dodatkowo umożliwiłoby to zachowanie ważnej tradycji filozofii nauki. Wziąwszy pod uwagę czas i wysiłki już poświęcone na rozwijanie filozofii nauki, można przypuszczać, że jej modyfikacja może okazać się bardziej szczęśliwa niż tworzenie całkowicie nowej. Dalszym pożytkiem z modyfikacji, a nie odrzucenia dorobku filozofii nauki okaże się myślowa struktura wiążąca różne dziedziny wiedzy zamiast rysującej się przepaści między naszą wiedzą o świecie fizycznym a wiedzą o świecie społecznym.

Jeśli rozwiążemy jawne sprzeczności między nauką a cybernetyką drugiego rzędu, to uda nam się - jak sądzi S. A. Umpleby - pokazać dwie rzeczy. Po pierwsze, cybernetyka jest

zgodna z fundamentalną tradycją nauki i dlatego może być rozpatrywana jako jej część. Po drugie, pokażemy „cybernetykę nauki". Pierwotnie Wiener [1948] zdefiniował cybernetykę jako naukę o sterowaniu i komunikacji. Uczeni modyfikując i poszerzając zawartość nauki przekazują jej podstawowe wartości grupie naukowców, która krytykowała adekwatność klasycznej koncepcji nauki w jej części dotyczącej systemów społecznych.

(Opracował *Wojciech Bober)*

Bibliografia

1. Engel S. M.: Analyzing Informel Fallacies. Prentice-Hall. Englewood Cliffs N. J. 1980.
2. K o e r t g e N.: A Study of Relations Between Scientific Theories: A Test of the General Correspondence Principle (praca doktorska). University Ann Arbor, Mich. 1969.
3. K r a j e w s k i W.: Correspondence Principle and Growth of Science. Boston 1975 Reidel.
4. K u h n T. S.: The Structure of Scientific Revolutions, wyd. 2, Chicago 1970 Chicago University Press.
5. M i I l e r D. [ed.] : Popper Selections. Princeton I 985 Princeton Univ. Press.
6. M o r g a n G. [cd.]: Beyond Method: Strategies for Social Reseerch. Beverly Hi11s 1983 Sege.
7. S e g a l L.: The Dream of Reality: Hcinz Von Foerster's Constructivism. New York 1986 Norton.
8. S o r o s G.: The Alchemy of Finance. New York 1987 Simon and Schuster.
9. S u p p e F. [ed.]: The Structure of Scientific Theories. Urbana 1974 University of Illinois Press.
10. U m p l e b y S.A.: Second -Order Cybernetics and the Design of Large-Scale Social Experiments (referat wygłoszony na dorocznym zebraniu Society for General Systems Research). Boston 1976.
11. U m p l e b y S. A.: Heinz von Foerster: A Second-Order Cybernetician. „Cybernetics Forum" Vol, 9 1979 nr 3, s. 2-12.
12. v o n F o e r s t e r H.: Cybernetics of Cybernetics, w: K. Krippendorf [ed:] Communication and Control in Society. New York 1979 Gordon and Breach.
13. v o n F o e r s t e r H.: Observing Systems. Salinas 19A1 Intersystems.
14. v o n G l a s e r s f e l d E.: The Construction of Knowledge, Salinas 1987 Intersystems.
15. W I e n e r N.: C ybernetics: C ontrol a nd C ommunication i n A nimal a nd M achine. Cambridge Mass. 1948 MIT Press.

ZAŁĄCZNIK 9

STUDIA FILOZOFICZNE

NR 12 (289), 1989

Michał Tempczyk

ILYA PRIGOGINE I NOWY OBRAZ MATERII

STUDIA FILOZOFICZNE
NR 12 (289), 1989

Michał Tempczyk

ILYA PRIGOGINE I NOWY OBRAZ MATERII

Ilya Prigogine, stawny fizyk belgijski, jest jednym z najbardziej znanych twórców nowego paradygmatu nauk przyrodniczych. Paradygmat ten, zwany dynamiczno-syntetycznym, jest przeciwstawiany staremu analityczno-mechanicznemu opisowi świata. Stary paradygmat dominował w nauce trzysta lat i jeszcze odgrywa w niej fundamentalną rolę, nie potrafi on jednak ująć i wyjaśnić wszystkich cech materii. W jego polu widzenia nie mieszczą się całościowe własności obiektów złożonych. Od dawna biolodzy i psychologowie zwracali uwagę na to, że do wielu zagadnień trzeba podchodzić w sposób swoisty, lecz dopiero teraz podejście całościowe stałe się efektywne i spójne.

Nauka współczesna rozwija się bardzo szybko, zmiany te mają często charakter jakościowy. Odkrywa się nowe dziedziny zjawisk, tworzy nowe teorie, proponuje nie znane dotychczas sposoby widzenia zjawisk znanych od dawna. Proces ten, zachodząc na różnych poziomach opisu i badania materii powoduje, że w wielu dziedzinach nauk przyrodniczych zachodzą zmiany pojęciowe, mające czasami charakter głębokich zmian jakościowych. Przykładem działu fizyki, który chociaż liczy sobie trzysta lat i od początku był wzorem ścisłości i poprawności formalnej, a mimo to ostatnio burzliwie się rozwija, jest mechanika klasyczna. Już sto lat temu można było uważać, że na temat ruchu punktów materialnych wiadomo wszystko, a tymczasem abstrakcyjna matematyczna teoria układów dynamicznych dopiero w ostatnich latach pokazała uczonym, jak mało wiedzieli dawniej na temat ruchu i jak wiele jest jeszcze do zrobienia [1]. Teoria ta radykalnie zmieniła poglądy dotyczące ruchu klasycznych obiektów makroskopowych, jego stabilności, przewidywalności, możliwości dokładnego pomiaru. Podobnie jest w innych dziedzinach badań, zarówno tych, które obejmują swoim zakresem zjawiska nowe, jak i takich, których przedmiot znany jest od setek lat. Objęcie w jednym artykule całego bogactwa tych zmian nie jest możliwe, dlatego

skoncentrujemy uwagę na poziomie najogólniejszym pojęć naukowych - na naukowym obrazie świata. W tej dziedzinie zachodzą ostatnio bardzo ważne zmiany. Coraz wyraźniej mówi się o kształtowaniu się nowego paradygmatu nauk przyrodniczych. Jaki to jest paradygmat i czemu się on przeciwstawia?

Zaczniemy od krótkiej charakterystyki starego paradygmatu, który ponad dwieście lat dominował w nauce klasycznej i wpływał na jej rozwój. Nazywa się go obecnie paradygmatem kartezjańsko-newtonowskim Jest to nazwa uzasadniona tym, że Kartezjusz radził rozkładać każde zagadnienie na najprostsze elementy, dokładnie poznać te elementy, by następnie złożyć z nich dobrze poznaną, zrozumiałą całość. Ta analityczna metoda opisu zjawisk była jednym z podstawowych źródeł imponujących sukcesów nauki nowożytnej, która przede wszystkim zajęła się badaniem zjawisk i układów prostych, takich jak atom, kule bilardowe, układ planetarny itp. Oprócz metodologii postępowania badawczego, sformułowanej przez Kartezjusza, potrzebna była uniwersalna teoria opisu i własności zjawisk najprostszych, a tej z kolei dostarczył Newton formułując klasyczną mechanikę. Sukcesy tej teorii potwierdzały wiarę w jej, uniwersalność, dlatego najpoważniejszym programem nauki był wówczas mechanicyzm i redukcjonizm. Starano się opisem mechanicznym objąć wszystkie obserwowane zjawiska. Nigdy się to nie udało, lecz trzeba przyznać, że to co zrobiono, było imponujące. Również obecnie redukcjonizm ma sukcesy których znakomitym przykładem jest biologia molekularna.

Analityczno-mechanistyczny program jedności nauki miał oczywiście swoich przeciwników; ponieważ zbyt wiele zjawisk pozostawiał do wyjaśnienia w przyszłości. Należeli do nich biolodzy, lecz także wielu fizyków i chemików nie zgadzało się z tym modelem materii i nie wierzyło w jego uniwersalność Proponowali oni programy konkurencyjne, lecz podstawowa słabość tych propozycji polegała na tym że nie dawały one konkretnych wyników, nawet w części porównywalnych z osiągnięciami mechanicystów. Dlatego omawiany paradygmat był dominującym sposobem opisu i wyjaśniania zjawisk materialnych aż do czasów najnowszych [2]. Programy konkurencyjne miały głównie charakter krytyczny, były niekonstruktywne, dlatego przegrywały.

Krytycy podkreślali głównie kilka podstawowych założeń dominującego paradygmatu, które ich zdaniem były najbardziej dyskusyjne i wątpliwe. Zwracano przede wszystkim uwagę na to, że nie każdy skomplikowany obiekt lub złożony proces materialny mogą być rozbite na proste składniki bez utraty nieodtwarzalnej informacji o całości. Zarzut ten szczególnie często wysuwali biolodzy, którzy nie wierzyli w możliwość pełnej redukcji biologii do fizyki i chemii. Podkreślali oni całościowy charakter organizmów. Układy

zintegrowane, przejawiające wyraźne całościowe cechy i sposoby działania, nazywano systemami. Tuż przed drugą wojną światową biolog Ludwik von Bertalanffy zaczął propagować program systemowego podejścia do organizmów żywych, z którego później zrodziła się ogólna teoria systemów [3]. Jest ona obecnie ważnym metodologicznym i filozoficznym programem badania układów i zjawisk materialnych z punktu widzenia ich całościowego, zintegrowanego charakteru. Ogólna teoria systemów świadomie i konsekwentnie przeciwstawia się programowi analityczno-mechanistycznemu, podkreślając znaczenie podejścia syntetycznego. Jednym z jej działów jest cybernetyka, formalna nauka o procesach przesyłania informacji i sterowania w układach złożonych najróżniejszego rodzaju. Dzięki tym badaniom uczeni coraz więcej wiedzą o sposobach funkcjonowania organizmów żywych i innych systemów, związanych z ich całościową strukturą. Cybernetyczne schematy działania układów stały się standardowym sposobem opisu zjawisk w wielu dziedzinach, od biologii poczynając, poprzez technikę, aż do ekonomii i socjologii.

Systemowe i cybernetyczne analizy zjawisk podkreślają ich integralność i dynamikę: Pod tym drugim względem, opisu ruchu i zmian, klasyczny model materii był bardzo niezadowalający, z czego zdawano sobie sprawę od dawna. Wchodziły tu w grę dwa podstawowe czynniki, mianowicie jednorodność i odwracalność procesów mechanicznych. Redukując wszystkie zjawiska do prostych oddziaływań mechanicznych otrzymujemy monotonny i płaski obraz materii. W obrazie tym wszystkie zjawiska są w zasadzie tego samego typu, są to bowiem zespoły oddziaływań mechanicznych. Dodanie do tego opisu pola elektromagnetycznego nie zmienia w istocie tej jednorodności, wzbogaca się jedynie zbiór podstawowych rodzajów zjawisk, do których redukuje się wszystkie inne. W ten sposób w świecie nie pojawia się nic istotnie nowego, powstają jedynie nowe konfiguracje atomów, które są jakościowo sprowadzalne do samych atomów i prostych połączeń. Program redukcji całego bogactwa świata do prostoty mechaniki, elektrodynamiki i teorii atomów był z jednej strony pociągający, ponieważ pokazywał głęboką jedność całej materii, lecz z drugiej strony wydawał się nierealny, a nawet szkodliwy, odrzucał bowiem różnorodność materii jako pozorną i negował jej jakościowy rozwój. I znów ogólna teoria systemów podkreślała nieredukowalną różnorodność systemów zintegrowanych, tworzących całą hierarchię strukturalnych szczebli materii.

Zajmijmy się teraz zagadnieniem odwracalności procesów mechanicznych. Gdy sformułowano drugą zasadę termodynamiki, czyniącą z nieodwracalności procesów prowadzących do stanu równowagi ogólne prawo przyrody, to od razu zauważono, że jest ona sprzeczna z formalną odwracalnością mechanicznych równań ruchu. Początkowo można było

rozwiązywać tę sprzeczność twierdząc, że termodynamika jest niedokładną i fenomenologiczną teorią zjawisk, na których głębsze zrozumienie musimy poczekać. Dzięki pracom Boltzmanna okazało się jednak, że można powiązać entropię z mikroskopowym opisem danego układu i z mechanicznymi zderzeniami zachodzącymi pomiędzy jego składnikami. Wówczas sprzeczność pomiędzy prawem wzrostu entropii a odwracalnością zjawisk mechanicznych stała się wyraźna. Jak może nieodwracalność pojawić się w układzie, w którym wszystkie podstawowe zjawiska zderzeń są odwracalne Na pytanie to fizycy odpowiadają ponad sto lat i wciąż są dalecy od zadowalającego rozwiązania tej trudności. Przy okazji powstała matematyczna teoria układów dynamicznych.

Znamy już podstawowe trudności klasycznego paradygmatu nauk przyrodniczych: całościowy charakter pewnych układów i zjawisk, pojawianie się w świecie materialnych obiektów jakościowo nowych i powszechne występowanie zjawisk nieodwracalnych. Trudności te można oczywiście mnożyć, tworząc różne szczegółowe kombinacje, zajmując się pewnymi wąskimi klasami zjawisk, lecz poprzestaniemy na tej ogólnej charakterystyce, ponieważ jest ona wystarczająca dla naszych celów. Na przykładzie tych trudności dobrze widać mechanizm funkcjonowania paradygmatów w nauce. Zwolennicy tego paradygmatu uważali przede wszystkim, że nie są to wcale poważne trudności. Dla nich redukcja wszystkich zjawisk do zjawisk mechanicznych lub fizycznych była jedynie kwestią czasu, cierpliwości i wysiłku badawczego. Byli pod tym względem w sytuacji lepszej od swoich przeciwników. Przede wszystkim dysponowali przykładami redukcji zjawisk, które dawniej uważano za nieredukowalne i niezależne od mechaniki. Takim najbardziej znanym przykładem była redukcja termodynamiki procesów odwracalnych do mechaniki statystycznej. Również rozwój biologii, zwłaszcza fizjologii, pozbawił wiele zjawisk zachodzących w organizmach ich tajemniczości. Fałszywym okazało się na przykład twierdzenie witalistów, że związki organiczne nie mogą powstawać poza organizmami żywymi. Udana synteza mocznika w 1828 roku, a później innych prostych substancji pochodzenia organicznego, wykazała fałszywość tego przekonania. Rozumując przez analogię można było oczekiwać, że w końcu każdą substancję organiczną będzie można dokładnie poznać i wytwarzać laboratoryjnie. Obecnie jest to prawie wykonalne, w każdym razie nie widać żadnych zasadniczych przeszkód na drodze do realizacji tego zadania.

Zaproponowane przez Bertalanffy'ego systemowe podejście do układów żywych nie różniło się wiele od podobnych. programów przeszłości, okazało się jednak efektywne, dlatego dało początek szerokiemu programowi przebudowy współczesnej nauki. Można powiedzieć, że Bertalanffy miał więcej szczęścia, ponieważ sytuacja w nauce dojrzała do

takich zmian. Atakowano stary paradygmat ze wszystkich stron. Coraz trudniej było przekonać krytyków, że uda się wszystkie zjawiska sprowadzić do jednego typu procesów i że w świecie nie ma zjawisk prowadzących do pojawiania się nowych jakości. Rewolucyjne zmiany w fizyce, które dokonały się na początku obecnego stulecia, sprowadziły mechanikę klasyczną do roli jednej z wielu teorii, i to w dodatku teorii przybliżonej. Okazało się, że bogactwo zjawisk fizycznych, zachodzący w stosunkowo prostych układach, nie daje się sprowadzić do jednej teorii. Trudno było w tej sytuacji głosić redukowalność biologii lub psychologii do fizyki i chemii. Z początkowo krytycznych i ogólnych poglądów na temat ogólnej metody naukowej zaczął wyłamać się nowy obraz materii, który zaczęto nazywać paradygmatem syntetyczno-dynamicznym. Podstawowym założeniem tego paradygmatu jest teza, że układy materialne mają charakter całościowy i że są one dynamiczne. W podkreślaniu dynamizmu kryje się trzecia trudność klasycznej nauki, mianowicie powszechność w świecie zjawisk nieodwracalnych, które trudno uznać za mało ważne odstępstwa od odwracalności zjawisk podstawowych. Nieodwracalność należy uznać za fundamentalną cechę wielu klas zjawisk.

Trudno wymienić wszystkich twórców nowego paradygmatu. Obok bogatej literatury z teorii systemów, cybernetyki, synergetyki i filozofii nauki pojawiają się prace rysujące przed nauką całkowicie nowe perspektywy. Po wielkim sukcesie książki F. Capry *Tao of Physics* pojawiła się masa książek o podobnej tematyce, a sam Capra napisał drugą książkę, w której w systematyczny sposób opisuje nowy paradygmat i podaje jego zastosowania w różnych naukach [4]. Jest jednak uczony, który dokonał w tej dziedzinie szczególnie wiele i który jest uważany za najwybitniejszego twórcę nowego obrazu materii. Jest nim belgijski fizyk Ilya Prigogine. Jego drodze naukowej i dorobkowi poświęcona jest ta praca. Na Międzynarodowym Kongres Logiki, Metodologii i Filozofii Nauki w Moskwie w sierpniu 1987 Prigogine był osobą najważniejszą i stale podkreślano jego rolę lidera nowego podejścia do zjawisk materialnych. Chciałbym, omawiając naukową karierę Prigogine'a pokazać, że zasłużył on na tę ważną pozycję w nauce i filozofii nauki.

Na początku nic nie zapowiadało tego, że w przyszłości Prigogine stanie się jednym z czołowych filozofów nauki i twórców nowego paradygmatu nauk przyrodniczych, rozpoczął bowiem pracę naukową w termodynamice procesów nieodwracalnych. Jest to dziedzina leżąca na pograniczu fizyki, chemii i techniki, mająca duże znaczenie praktyczne i bardzo trudna matematycznie, pole bowiem głównie na rozwiązywaniu nieliniowych równań różniczkowych. Z tego powodu nazywa się ją również termodynamiką nieliniową lub teorią procesów dalekich od stanu równowagi. Teoria ta, stanowiąc kontynuację klasycznej

termodynamiki procesów odwracalnych i sformułowanej tuż przed wojną liniowej termodynamiki procesów nieodwracalnych, stara się opis i znaleźć ogólne prawa rządzące procesami przebiegającymi bardzo prędko, w których pojawiają się zaburzenia, makroskopowe fluktuacje, zawirowania, oscylacje całości i inne zjawiska, związane z tym, że układ jest bard niezrównoważony. Nie były .to oczywiście zjawiska nowe dla fizyków. Ruchem turbulentnym zajmowano się już w ubiegłym stuleciu, osiągnięto wiele ważnych rezultatów. Zadaniem nowej gałęzi termodynamiki było zbadanie ogólnych praw powstawania globalnego uporządkowania, pojawiającego się w takich sytuacjach i powiązanie go z drugą zasadą termodynamiki, głoszą konieczność rozpadu i rozproszenia wszelkiego uporządkowania. Było to zadanie ciekawe i trudne, lecz na początku trudno było się spodziewać, że jego rozwiązanie może doprowadzić do ważnych zmian w fizycznym obrazie świata. Wydawało się raczej, że powstaje w ten sposób wąska gałąź fizyki technicznej.

Prigogine poświęcił termodynamice procesów nieodwracalnych całą swoją działalność naukową. Kierowany przez niego instytut w Brukseli stał się światowym centrum badań z termodynamiki i fizyki statystycznej. Przez około 20 lat prawie wszystkie podręczniki i monografie z termodynamiki były pisane przez Prigogine'a i jego współpracowników. Prace nad zrozumieniem nowych zjawisk posuwały się systematycznie do przodu. Uczeni zaczęli uświadamiać sobie, jak ciekawy i nowy w porównaniu z dotychczasową wiedzą jest świat tych procesów. Pojawiają się w nich nowe rodzaje własności i uporządkowania, związane z szybkim przepływem przez układ energii, materii i entropii. Zaczęto również rozumieć jak nieodpowiednie były stare poglądy na temat istoty tych zjawisk. Na przykład w regularnie płynącej cieczy, po przekroczeniu pewnej granicznej prędkości, zależnej od geometrii całego układu, pojawiają się zaburzenia, które w miarę dalszego wzrostu prędkości robią się coraz większe i bardziej stabilne. Zaburzenia te, dobrze znane każdemu, należą do nich bowiem wiry wodne, były traktowane jako odchylenia od początkowego porządku. Przez porządek rozumiano regularność i jednorodność laminarnego ruchu, wszelkie odstępstwa od niego traktując jako zniszczenie porządku. Tymczasem gdy przez porządek rozumie się ilość informacji zawartej w ogólnym obrazie zjawiska, jego strukturalne bogactwo i różnorodność, to ruch turbulentny zawiera więcej uporządkowania niż banalny ruch nie zaburzony.

W miarę postępów tych badań rosło ich znaczenie naukowe, ponieważ dzięki nim można było dokładnie opisać i zrozumieć wiele rodzajów zjawisk, które do tego czasu wymykały się metodom fizycznym. Były to przede wszystkim skomplikowane procesy chemiczne i procesy zachodzące w organizmach żywych. Powstawała w ten sposób „fizyka życia". Prigogine

zaczął pisać książki innego rodzaju. Nie były to już jedynie sprawozdania z uzyskanych rezultatów, lecz zarysy nowego programu badawczego. Pierwsza monografia tego rodzaju dotyczyła teorii struktury, stabilności i fluktuacji [5]. Nowy program zdobywał uznanie i rozszerzał się na coraz to nowe obszary, ponieważ opisywał i dostrzegał w przyrodzie to, co lekceważył, zaniedbywał lub starał się zredukować panujący dotąd paradygmat nauk przyrodniczych. Wynikało to z istoty procesów badanych przez termodynamikę nieliniową. Są to procesy zachodzące w układach dalekich od równowagi, integrujących się drogą powstawania coraz bogatszych struktur całościowych. Procesy te są w dodatku nieodwracalne i przebiegają one w ściśle określonym kierunku. Można więc stwierdzić, że są one idealnymi obiektami badawczymi paradygmatu syntetyczno-dynamicznego, o którym była mowa na początku. Tworząc teorię takich procesów dajemy nowemu paradygmatowi materiał do uogólnień, a jednocześnie przekonujemy się, że nowy program badawczy ma szanse realizacji. Można powiedzieć, że procesy dynamiczne dalekie od stanu równowagi są dla nowego paradygmatu tym, czym dla starego był układ planetarny, wahadło, zderzenia kul bilardowych, ruch w polu grawitacyjnym i wiele innych prostych zjawisk fizycznych, o których uczono nas w szkole.

Na przykładzie tych badań widać wyraźnie rolę paradygmatu w nauce. Przede wszystkim reprezentuje on nowy punkt widzenia na rzeczy dobrze znane. Odwraca i zmienia w ten sposób hierarchię ważności cech i zjawisk. Dawniej procesy dynamiczne, nieodwracalne i prowadzące do powstawania nowych jakości były traktowane jako peryferyjne zaburzenie uporządkowanego świata mechaniki, w którym królował porządek, jednorodność i odwracalność. Zgodnie z klasycznym punktem widzenia miały one być stopniowo upraszczane, redukowane i eliminowane ze sfery zjawisk godnych uwagi. Nowa teoria postawiła je w centrum swych zainteresowań i wykazała to, co od dawna przewidywali przeciwnicy starego paradygmatu - nieredukowalność i ogólny charakter tych zjawisk. Są one przejawem dynamizmu materii, jej zdolności do samoorganizacji.

Pojawia się pytanie, dlaczego wyniki i prawa termodynamiki nieliniowej są tak ważne, skoro pasują one do programów i stanowisk znanych dawniej, takich jak ogólna teoria systemów. Ważność ta wynika z dwóch po stawowych przyczyn. Po pierwsze teoria ta daje konkretne prawa i modele zjawisk. Była poprzednio mowa o tym, że stary paradygmat jest obecnie powszechnie atakowany. Jego krytycy proponują nowe obrazy materii, często bardzo rewolucyjne. Propozycje te rzadko prowadzą do konkretnych wyników, a często wyniki takie nie są ich celem. Przykładem może być wspomina książka F. Capry *Tao of Physics*. Pokazuje ona podobieństwo pojęciowej struktury najnowszych teorii fizycznych do pojęć religii

Dalekiego Wschodu. Pokazanie tego podobieństwa jest głównym zadaniem książki, a jej autor nie oczekuje wcale nowych wyników ani propozycji metodologicznych. Z tego powodu książka była bestsellerem i przyniosła autorowi pieniądze oraz popularność, lecz nie miała wpływu na rozwój nauki. Wiele poglądów należących do ogólnej teorii systemów również nie daje praktycznych wskazówek, jak należy systemowo opisywać określone zjawiska. Termodynamika nieliniowa jest teorią fizyczną, jej głównym celem są więc wyniki istotne naukowo. Prigogine uogólnia to, co już zostało zrobione i udowodnione. Nie odrywa się on od aktualnego stanu nauki, lecz stara się odpowiednio ukierunkować jej rozwój. Jest on świadom filozoficznych implikacji tych badań i pisze książki formułujące podstawy nowego paradygmatu [6]. Szuka w nich historycznych źródeł tego punktu widzenia i kreśli perspektywy dalszego rozwoju

Jak zwykle w filozofii okazuje się, że całościowy i twórczy charakter zjawisk przyrodniczych lub nawet całej przyrody, był głoszony od dawna, nawet w czasach, gdy nauka znajdowała się pod najsilniejszym wpływem starego paradygmatu. Na przykład romantyczna filozofia przyrody głosiła to, do czego teraz powoli dochodzi nauka i co z naukowego punktu widzenia jest nowe i rewolucyjne. Nie ma więc kłopotu ze znalezieniem ideologicznych przodków, lecz w nauce nie o tradycję filozoficzną chodzi, a o prawidłowo sformułowany i dający się zrealizować program badań. Ważne są ponadto dalsze perspektywy tego programu. Pod tym względem Prigogine jest dosyć radykalny. Chce zmienić nasze poglądy dotyczące natury czasu. W klasycznej nauce czas był jedynie parametrem porządkującym zjawiska i zdarzenia, lecz nie wpływającym na ich przebieg. W świecie procesów burzliwych i nieodwracalnych rola czasu zmienia się. Procesy te posiadają pamięć swej przeszłości, nie są one monotonnym powtarzaniem tych samych składników, prowadzą do pojawiania się nowych klas zjawisk i obiektów. Podobnie jak u Bergsona, czas staje się dynamicznym czynnikiem rozwoju świata. Trzeba go inaczej opisywać i traktować niż w mechanice klasycznej.

Pod tym względem jest wiele do zrobienia. Prigogine ma konkretne propozycje dotyczące potraktowania czasu i entropii jako operatorów. Chce w ten sposób sformułować dynamikę, w której formalizmie ukryta będzie nieodwracalność procesów fizycznych. W ostatnich dwudziestu latach uzyskano w tej dziedzinie wiele ciekawych wyników, lecz aktualny stan badań daleki jest od klarowności teorii zakończonej i dobrze uporządkowanej. Nie wiadomo, czy uda się tą drogą rzeczywiście zrozumieć naturę czasu i nieodwracalności. Osobiście sądzę, że nie jest to możliwe bez istotnego odwołani; do wiodących teorii fizycznych, takich jak kwantowa teoria pola i fizyka cząstek elementarnych. W kwantowej teorii pola czas

również jest operatorem, o czym Prigogine nie wspomina.

Jest jeszcze druga podstawowa przyczyna ważności tych badań. Otóż nowy paradygmat wymaga nowego języka, za pomocą którego może być najlepiej wyrażony i zrealizowany. Do języka nauki klasycznej przyzwyczailiśmy się od dawna i często zapominamy o tym, że powstawał on setki lat. Pojęcia prędkości, masy, trajektorii należą do języka potocznego i wydają się nam intuicyjnie zrozumiałe i naturalne. Podobnie przyswoiliśmy sobie koncepcje czasu, przestrzeni i przyczynowości. Kant sądził nawet, że są one gatunkowym wyposażeniem ludzi i że nie możemy myśleć w innych kategoriach. W nowym paradygmacie musimy używali innych pojęć pierwotnych. Na początku nie bardzo wiadomo, jakie to pojęcia. Dopiero rozwój naukowej teorii zjawisk nieodwracalnych pokazał, które pojęcia są najważniejsze. Początkowo nie było na przykład wiadomo, czy na procesy te daje się uogólnić pojęcie entropii. W tej chwili fundamentalny schemat pojęciowy wyłania się coraz wyraźniej z mnóstwa cząsteczkowych rezultatów i faktów. Entropia, stabilność, bifurkacja - to pojęcia używane powszechnie w wielu dziedzinach. Ponad dwadzieścia lat temu powstała nowa nauka, synergetyka, która od początku stara się zintegrować wszystkie nauki szczegółowe, tworząc niezależną teorię powstawania i rozwoju struktur w układach dalekich od stanu równowagi. Teoria te, silnie związana z termodynamiką nieliniową, opisuje struktury całościowe w sposób niezależny od lokalnych oddziaływań ich części [7]. Rozwijają się również odpowiednie działy matematyki. Teoria nieliniowych równań różniczkowych przeżywa drugą młodość. Matematycy nauczyli się badać i opisywać klasy rozwiązań takich równań. Znaleziono wiele ścisłych rozwiązań tych równań, chociaż dawniej sądzono, że analitycznych rozwiązań wielu równań nieliniowych nie ma. Rozwiązania takie nazywane są solitonami. Opisują one wiele ciekawych nieliniowych zjawisk fizycznych.

Bez odpowiedniej spójnej i efektywnej poznawczo bazy pojęciowej nowy paradygmat nie mógłby zastąpić lub uzupełnić starego. Byłby on jedynie ogólną propozycją filozoficzno-metodologiczną, podobnie jak wiele programów, formułowanych w przeszłości. Za wcześnie jeszcze na ocenę jego perspektyw i roli w nauce przyszłości. Warto się jednak zastanowić nad pytaniem, czy może on stać się jedynym paradygmatem nauk przyrodniczych. Otóż sądzę, że nie, i to z dwóch przyczyn. Ogromne sukcesy analityczno-mechanistycznego podejścia do zjawisk i jego stały rozwój świadczą o tym, że prawdopodobnie pomiędzy dwoma konkurencyjnymi paradygmatami ustali się pewna równowaga. Będą się one uzupełniać. Opisują one w gruncie rzeczy jedną sferę zjawisk, tylko patrzą na te zjawiska w sposób komplementarny. Dobrym przykładem współistnienia obu podejść jest biologia, która intensywnie rozwija się w dwóch kierunkach: analitycznego i mikroskopowego opisu

procesów (biologia molekularna) i całościowej analizy układów złożonych (syntetyczna teoria ewolucji, ekologia). Minęły czasy wiary w możliwość stworzenia uniwersalnej teorii wszystkich zjawisk, dlatego współistnienie dwóch komplementarnych paradygmatów jest stanem możliwym i coraz częściej spotykanym w nauce. Przyroda jest tak różnorodna, że trzeba dostosowywać swój punkt widzenia, metody i sposób opisu do badanych zjawisk. Jedność przyrody nie musi być oparta na jej jednorodności.

Drugą przyczynę ograniczenia nowego paradygmatu widzę w tym, że jest on związany ze sferą zjawisk makroskopowych. Trudno oczekiwać, że procesy kwantowe dadzą się bez reszty zrozumieć bez istotnych zmian pojęciowej bazy fizyki. Uczeni pracujący nad teorią cząstek elementarnych i oddziaływań fundamentalnych zapowiadają rewolucyjne zmiany swej dziedziny. Zmiany te prawdopodobnie wyprowadzą poza oba konkurencyjne paradygmaty, dodając do naukowego obrazu świata niezależne elementy. Proponowane przez Prigogine'a zmiany koncepcji czasu są dosyć umiarkowane w porównaniu z tym, czego można oczekiwać ze strony kwantowej teorii pola lub kwantowej teorii grawitacji. Jeżeli po tych zmianach powstanie jednolity uniwersalny model materii, to będzie on wykraczał poza znane nam obecnie paradygmaty i propozycje.

Ograniczenia te nie umniejszają w niczym zasług Prigogine'a w tworzeniu nowego obrazu materii. Jest on przykładem fizyka, który rozwijając nową dziedzinę potrafi konsekwentnie myśleć nad jej ogólnonaukowymi i filozoficznymi implikacjami. Powstaje w ten sposób filozofia nauki, która pokazując rozległe perspektywy najnowszych teorii naukowych nie dokonuje karkołomnych skoków i nie odrywa się od konkretu. Szybowanie po niebie fantazji i uogólnień jest być może przyjemne, lecz rzadko prowadzi do ciekawych rezultatów. Prigogine unika obu niebezpieczeństw: zamknięcia. się w specjalistycznej dziedzinie szczegółowej i nieopanowanego fantazjowania.

Redakcja otrzymała tekst w maju 1989 r.

LITERATURA

[1] W. Szlenk, *Wstęp do teorii gładkich układów dynamicznych,* Warszawa 1982.

[2] M. Tempczyk, *Strukturalna,jedność świata,* Warszawa, 1981.

[3] L. von Bertalanffy, *Ogólna teoria systemów,* Warszawa, 1984.

[4] F. Capra, *Punkt zwrotny,* Warszawa 1987.

[5] P. Glansdorff, I. Prigogine, *Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuactions,* London, New York 1970.

[6] I. Prigogine, *From Being to Becoming,* San Francisco 1980.

[7] I. Prigogine, I. Stengers, *Order out of Chaos,* London 1985.

[8] H. Haken, *Synergetic., An Introduction,* Berlin-New York 1977.

Michał Tempczyk

ILYA PRIGOGINE AND THE NEW IMAGE OF MATTER

Ilya Prigogine, a famosus Belgian physicist, is one of the most known founders of a new paradigm of natural sciences. The paradigm, called a dynamical-synthetic one, emphasizes global, dynamical features of composite material systems. An old, Newtonian- Cartesian paradigm has dominated in science for three hundred years and is still very influent. However it is not able to grasp and describe those properties of matter, which are of global origin. Both models of matter play in science complementary and important role.

ZAŁĄCZNIK 10
ZAGADNIENIA NAUKOZNAWSTWA
1 (85) 1986
PL ISSN 0044-1619
Ryszard Łączkowski
Zasada wygładzania i myślenie nieliniowe

ZAGADNIENIA
NAUKOZNAWSTWA
1 (85), 1986
PL ISSN 0044-1619

Ryszard Łączkowski

Zasada wygładzania i myślenie nieliniowe

Krytyka paradygmatu Kartezjusza i zasady superpozycji. Modele zjawisk mierzalnych i niemierzalnych. Sformułowanie zasady wygładzania w oparciu o podstawowe twierdzenie teorii katastrof. Model organizacji politycznej społeczeństwa jako przykład zastosowania zasady wygładzania. Myślenie liniowe i jego skutki społeczne. Najważniejsze cechy myślenia nieliniowego.

*

W środowisku uczonych zajmujących się filozofią nauki umacnia się przekonanie o kryzysie wielu współczesnych metod naukowych. Wątpliwości poznawcze pojawiły się również w świadomości społeczeństw, które są zaniepokojone nieskutecznością przede wszystkim tych dyscyplin naukowych, z którymi wiązano wielkie nadzieje na lepsze i mądrzejsze urządzenie otaczającego nas świata. Społeczne odczucie zawodu dotyczy przede wszystkim tzw. „nauk miękkich", do których zalicza się między innymi ekonomię, socjologię, politologię, ekologię, a nawet medycynę. Utrata wiary w skuteczność tych nauk doprowadziła do renesansu myślenia metafizycznego i do rozpowszechnienia irracjonalnych praktyk w życiu wielu społeczeństw.

Paradygmat Kartezjusza

Opisane zjawiska społeczne są reakcją na coraz częściej postrzegane przejawy nieskuteczności poznawczej materializmu mechanistycznego, który od czasów Kartezjusza do dzisiaj jest dominującym paradygmatem objaśniania otaczającej nas rzeczywistości. Pierwszym sprawdzonym faktem niesprawności mechanistycznego myślenia były trudności konceptualne, które napotkali w latach dwudziestych bieżącego stulecia twórcy mechaniki kwantowej. Od tego czasu we wszystkich dziedzinach nauki i wiedzy lawinowo zwiększała się liczba faktów podważających dotychczasowe przekonania o uniwersalnej skuteczności kartezjańskiego paradygmatu.

Z kryzysu mechanistycznego pojmowania świata zdają sobie dzisiaj sprawę nieliczni uczeni. Są to przeważnie przedstawiciele intelektualnej awangardy, którzy w swojej działalności natrafili na problemy niemożliwe do rozwiązania za pomocą kartezjańskiej metody poznania. Większość naukowców dotychczas nie uświadamia sobie konieczności dokonania zmian w swoim myśleniu naukowym, chociaż niektórzy z nich czynią to intuicyjnie.

Mechanistyczny sposób widzenia świata jest tak powszechny, że większość ludzi uważa go za immanentną cechę myślenia. Wpłynęły na to trzy

wieki niezwykle użytecznego posługiwania się kartezjańską metodą poznania przy rozwiązywaniu wielu ważnych problemów naukowych i technicznych. Poza tym zasady myślenia mechanistycznego stały się jednym z kanonów współczesnego nauczania szkolnego na wszystkich jego poziomach. Wskutek tego świadomość współczesnego człowieka jest zdominowana regułami myślenia wywodzącymi się ze światopoglądu kartezjańskiego. Wprawdzie reguły te są dalej użyteczne, to jednak coraz częściej zawodzą przy rozwiązywaniu wielu ważnych problemów naukowych i praktycznych. Dzieje się tak przede wszystkim w biologii, medycynie, ekonomii, socjologii i polityce, a bardzo często przy rozwiązywaniu wielu praktycznych sytuacji życiowych każdego człowieka.

W związku z postawionym zarzutem ograniczonej skuteczności kartezjańskiego paradygmatu przedstawiono dalej jego najważniejsze słabości, które zostały skumulowane w podstawowej zasadzie mechanistycznej metody poznania, jaką jest zasada nakładania, zwana również zasadą superpozycji.

Zasada nakładania (superpozycji)

Zasadę nakładania można najogólniej wyrazić następująco: Jeżeli między przyczynami a skutkami istnieje zależność liniowa, to skutek wywołany działaniem kilku niezależnych od siebie przyczyn jest równy sumie skutków wywołanych oddzielnie działającymi przyczynami.

Tak sformułowana zasada superpozycji zawiera wszystkie najważniejsze elementy mechanistycznej metody poznania, którymi są: determinizm, niezależność przyczyn, liniowość zjawisk, a także analiza i synteza myślowa. Dalej rozważono krytycznie wymienione pojęcia.

Determinizm mechanistyczny. Zakłada on nie tylko jednoznaczne, ale i konieczne powiązanie przyczyn i skutków, a więc wyłącza przypadek. Stan współczesnej wiedzy o świecie pozwala stwierdzić, że zamiast rozróżniania przyczyn i skutków należy raczej mówić o współwystępowaniu niejednoznacznie uwarunkowanych zjawisk, których powiązania mogą być wyznaczone tylko statystycznie (indeterminizm statystyczny). Stwierdzono także istnienie przypadkowości, która zanika na rzecz prawidłowości przy masowym powtarzaniu się zdarzeń przypadkowych.

Przedstawione fakty nie negują w ogóle determinizmu, lecz zamieniają jego postać mechanistyczną na postać dialektyczną.

Niezależność przyczyn. Postulowana w zasadzie superpozycji niezależność przyczyn jest tylko szczególnym przypadkiem niezależności zjawisk, przyjmowanej w światopoglądzie mechanistycznym, który traktuje przyrodę jako zbiór oddzielnych przedmiotów o istocie niezależnej od otoczenia. Współczesna nauka odrzuca taki pogląd i rozpatruje przyrodę jako spoistą całość, w której przedmioty i zjawiska są ze sobą organicznie powiązane, zależą od siebie i wzajemnie się warunkują.

Liniowość zjawisk. Wprawdzie założenie liniowego związku między przyczynami a skutkami nie jest podstawową zasadą mechanistycznej metody poznania, to jednak jest jej powszechną cechą wykorzystywaną tak w naukowych dociekaniach jak i w myśleniu potocznym.

Większość zjawisk ma przebieg mniej lub bardziej nieliniowy, a mimo to najczęściej uważa się je za ściśle liniowe. Niekiedy jest to działanie świadome i wtedy mówi się o tzw. linearyzacji zagadnienia. Jednak częściej założenie o liniowości rozważanego zagadnienia wynika po pro-

stu z tzw. myślenia liniowego, które jest jak gdyby nieodłączną cechą świadomości współczesnego człowieka. Można to wytłumaczyć tym, że założenie liniowości zjawisk upraszcza w sposób zasadniczy metody badań i rozwiązywanie zagadnień praktycznych. Uwzględnienie nieliniowości zjawiska wydatnie komplikuje jego modele fizyczne i matematyczne, a niekiedy nawet uniemożliwia uzyskanie jakiegokolwiek, nawet mało dokładnego, rozwiązania.

Rozpowszechnienie myślenia liniowego było spowodowane jego dużą skutecznością przy rozwiązywaniu przede wszystkim podstawowych problemów mechaniki oraz innych dyscyplin naukowych ściśle związanych z rozwojem techniki. W tych dziedzinach wiedzy duża liczba zjawisk ma charakter praktycznie liniowy lub nieznacznie od niego odbiegający. W takich przypadkach trafność uzyskiwanych rozwiązań jest zawsze dość duża. Stwierdzenie to na pewno nie dotyczy dużej liczby zjawisk świata organicznego i jeszcze większej liczby zjawisk społecznych. Wynika to ze znacznej nieliniowości tych zjawisk.

Analiza i synteza myślowa. Analiza myślowa polega na wyodrębnieniu elementów (części, cech, relacji) badanego obiektu czy problemu. Po zbadaniu i opisaniu określonych właściwości tych elementów dokonuje się syntezy myślowej, która polega na mechanistycznym łączeniu właściwości cząstkowych w jedną całość. W ten sposób wnioskuje się o właściwościach skomplikowanego zjawiska na podstawie właściwości jego elementów składowych wyodrębnionych za pomocą określonej metody analizy myślowej. Przyjmuje się więc bezwiednie, że właściwości elementów są pierwotne, a całości — wtórne; czyli części określają całość. Jest to klasyczny błąd determinizmu mechanistycznego. W rzeczywistości część i całość uzupełniają się wzajemnie. Właściwości części zależą od właściwości systemu i przeciwnie.

Sposoby prowadzenia analizy i syntezy tego samego zagadnienia mogą być różne. Zależy to od kompletności naszej wiedzy o strukturze rozpatrywanego zagadnienia, od rodzaju poszukiwanego rozwiązania i jego dokładności, a także od subiektywnych sądów i przyzwyczajeń osoby dokonującej analizy i syntezy. Wskutek tego wyniki końcowe procesu myślowego mogą się niekiedy bardzo różnić od rezultatów procesów rzeczywistych.

Modele rzeczywistości

W procesie analizy i syntezy człowiek zazwyczaj pomija pewne elementy rozważanego zagadnienia, które uważa za nieistotne lub mało wpływające na poszukiwany wynik. Zdarza się również, że w procesie poznawczym nie uwzględnia się istotnych i ważnych czynników badanego problemu, ponieważ badający po prostu nie wie o ich istnieniu. Jeszcze częściej zaniedbuje się świadomie wpływy pewnych wielkości, upraszczając dzięki temu całe zagadnienie i w ten sposób otrzymując kusząco proste rozwiązania. Wszystkie świadome i nieświadome zaniedbania i pominięcia pewnych elementów badanego zjawiska powodują, że człowiek nigdy nie rozważa obiektywnej rzeczywistości w całej jej złożoności i współzależności, lecz rozpatruje tylko pewien model myślowy, mniej lub bardziej zbliżony do naturalnego pierwowzoru.

Myślenie człowieka o otaczającym go świecie jest przeważnie myśleniem modelowym. W szkole bardzo często zapoznaje się młodzież nie

z rzeczywistością, lecz z jej naukowo opracowanymi modelami. Przy tym rzadko zwraca się jej uwagę na to, że przedstawiają one tylko uproszczone, a niekiedy nawet zniekształcone wyobrażenia o rzeczywistych zjawiskach. Stąd wywodzi się tak często postrzegana praktyczna nieskuteczność ludzkiego działania. Rodzi ona niewiarę w myślenie naukowe, w osiągnięcia współczesnej nauki i jej postęp. Są to ważne przyczyny rozpowszechniania się myślenia magicznego i prób restauracji światopoglądu metafizycznego.

Badanie modeli myślowych może być dokonywane teoretycznie lub doświadczalnie. W badaniach teoretycznych modele myślowe opisuje się za pomocą zależności matematycznych, które nazywamy modelami matematycznymi. Badaniom doświadczalnym poddaje się tzw. modele fizyczne. Oba rodzaje modeli są dalszymi uproszczeniami modelu myślowego zjawiska. Konieczność wprowadzenia takich uproszczeń w modelach teoretycznych wynika z ograniczonych możliwości współczesnej matematyki, a w modelach fizycznych — z trudności technicznych i ograniczeń finansowych związanych z budową stanowisk badawczych oraz z samym procesem badawczym.

Dotychczas uważano, że modele matematyczne i fizyczne można tworzyć tylko dla zjawisk mierzalnych. Możliwość budowy takich modeli uważano za warunek konieczny istnienia każdej nauki. Dlatego odmawiano atrybutów naukowości wszystkim rodzajom wiedzy, które zajmują się zjawiskami niemierzalnymi. Pogląd ten uważa się za przestarzały. Wynikło to z faktu powstania nowych działów matematyki (np. teorii katastrof) i fizyki (np. teorii stabilności strukturalnej układów), które nie badają strony ilościowej zjawisk, ale za to umożliwiają prowadzenie skutecznych badań jakościowych. Dzięki temu można tworzyć użyteczne modele jakościowe, które objaśniają wiele dotychczas niezrozumiałych zjawisk. Dotyczy to nie tylko zawsze trudnych do opisania problemów społecznych [1], lecz także mierzalnych zjawisk fizycznych [2].

Zasada wygładzania

Modele jakościowe tworzone na podstawie teorii katastrof [3, 4] nie są modelami mechanistycznymi, do jakich jesteśmy przyzwyczajeni. Poszczególne katastrofy elementarne są matematycznymi modelami stabilności strukturalnej układów silnie nieliniowych, przy rozpatrywaniu których nie można posługiwać się zasadą superpozycji. Modele katastrof elementarnych nie wynikają z analiz i syntez myślowych, lecz są wytworem topologicznych metod wygładzania funkcji wielu zmiennych. Dzięki tym metodom dużą liczbę zmiennych redukuje się do kilku najważniejszych zmiennych stanu i kilku dominujących parametrów sterowania powiązanych ze sobą tzw. wygładzeniem uniwersalnym.

Jeżeli przy rozpatrywaniu stabilności strukturalnej układów silnie nieliniowych nie można stosować zasady superpozycji, to nasuwa się pytanie: Czy dla takich zagadnień można ustalić inną praktyczną zasadę postępowania? Wydaje się, że może nią być „zasada wygładzania" sformułowana na podstawie twierdzenia Thoma [5] przez autora niniejszego artykułu w następującej postaci:

Jest prawie zawsze możliwe spowodowanie takiej odwracalnej gładkiej zmiany współrzędnych czasoprzestrzeni, iż w otoczeniu jej określo

nego punktu rozpatrywany układ silnie nieliniowy ma cechy stabilności opisane za pomocą jednej z siedmiu katastrof elementarnych Thoma.

Zasada ta dotyczy prawie wszystkich gradientowych układów dynamicznych zależnych od czterech parametrów sterowania u, v, w i t oraz od jednej lub dwóch zmiennych stanu x i y. Dla takich oznaczeń przedstawiono w tablicy 1 siedem katastrof elementarnych wyprowadzonych przez Thoma [3].

Tablica 1

Katastrofy elementarne Thoma

Nazwa	Centrum organizacyjne	Wygładzenie uniwersalne
Zagięcie (E: Fold, R: Складка)	$V=\frac{1}{3}x^3$	$V=\frac{1}{3}x^3+ux$
Wierzchołek (E: Cusp, R: Сборка)	$V=\frac{1}{4}x^4$	$V=\pm\left(\frac{1}{4}x^4+\frac{1}{2}ux^2+vx\right)$
Jaskółczy ogon (E: Swallowtail lub Dovetail, R: Ласточкин хвост)	$V=\frac{1}{5}x^5$	$V=\frac{1}{5}x^5+\frac{1}{3}ux^3+\frac{1}{2}vx^2+wx$
Motyl (E: Butterfly, R: Бабочка)	$V=\frac{1}{6}x^6$	$V=\pm\left(\frac{1}{6}x^6+\frac{1}{4}ux^4+\frac{1}{3}vx^3+\frac{1}{2}wx^2+tx\right)$
Pępek hiperboliczny (E: Hyperbolic Umbilic, R: Гиперболическая омбилическая точка)	$V=x^3+y^3$	$V=x^3+y^3+wxy+ux+vy$
Pępek eliptyczny (E: Eliptic Umbilic, R: Эллиптическая омбилическая точка)	$V=x^3-3xy^2$	$V=x^3-3xy^2+w(x^2+y^2)+ux+vy$
Pępek paraboliczny (E: Parabolic Umbilic, R: Параболическая омбилическая точка)	$V=xy^2+x^4$	$V=\pm(xy^2+x^4+wx^2+ty^2+ux+vy)$

Polskie nazwy poszczególnych katastrof nie zostały jeszcze jednoznacznie ustalone i dlatego obok nich w nawiasach podano równoznaczniki w językach: angielskim (E) i rosyjskim (R). Przyjęcie przez Thoma tak osobliwych nazw ma tylko znaczenie mnemotechniczne, ponieważ nazwy te mają przypominać charakterystyczne kształty pewnych struktur geometrycznych, które przedstawiają określone właściwości poszczególnych katastrof elementarnych.

Znaki $\pm$ występujące w trzech wygładzeniach uniwersalnych wskazują na istnienie podwójnych katastrof. Geometria obu takich katastrof jest taka sama, lecz ich realne znaczenie jest odmienne, ponieważ ze zmianą znaku następuje wzajemna zamiana obszarów stabilności i niestabilności rozpatrywanych układów. Zatem siedem katastrof elementarnych w istocie opisuje dziesięć typów modeli matematycznych, do których

można sprowadzić problemy stabilności strukturalnej prawie wszystkich zjawisk silnie nieliniowych.

Określone właściwości katastrof elementarnych mogą być przedstawione geometrycznie. W zależności od liczby zmiennych stanu i liczby parametrów sterowania, występujących w wygładzeniu uniwersalnym, mogą to być wykresy następujących powierzchni: potencjału generującego V (katastrofa zagięcia), stanów równowagi (katastrofa wierzchołka), zbioru bifurkacji (katastrofa jaskółczego ogona). Wielowymiarowe geometrie pozostałych katastrof elementarnych są znacznie bardziej złożone i można je określić tylko za pomocą zbioru charakterystycznych przekrojów [5]. Wymienione rysunki pozwalają lepiej zrozumieć charakter stabilności strukturalnej silnie nieliniowych zjawisk, których modelami matematycznymi są katastrofy elementarne.

Wybór katastrofy elementarnej odpowiedniej dla rozpatrywanego zjawiska może przebiegać dwojako.

W pierwszym przypadku wychodzi się ze znanych zależności empirycznych lub teoretycznych i za pomocą odpowiednich przekształceń oraz uproszczeń matematycznych dowodzi się, że rozpatrywane zagadnienie można przedstawić za pomocą jednego z wygładzeń uniwersalnych podanych w tablicy 1.

W drugim przypadku, po gruntownym rozpatrzeniu istoty zjawiska, ustala się liczbę zmiennych stanu (nie więcej niż dwie) oraz liczbę parametrów sterowania (nie więcej niż cztery). Wymaga to bardzo dobrej znajomości rozpatrywanego zjawiska i elastycznego spojrzenia na rozwiązywany problem. Należy przy tym uwzględnić fakt, że parametry sterowania nie zawsze muszą mieć w rzeczywistości prostą interpretację i niekiedy mogą reprezentować złożoną kombinację wpływów różnych istotnych czynników. Ma to szczególnie ważne znaczenie przy ustalaniu parametrów niemierzalnych, które występują np. w modelach socjologicznych [1].

Po ustaleniu liczby zmiennych stanu i liczby parametrów sterowania można z tablicy 1 wybrać odpowiednie wygładzenie uniwersalne, które uważa się za wystarczająco dokładny model matematyczny rozpatrywanego zagadnienia. Trafność wyboru można stwierdzić porównując własności strukturalne przyjętego modelu ze znanymi z obserwacji lub z doświadczenia cechami charakterystycznymi rozpatrywanego zjawiska.

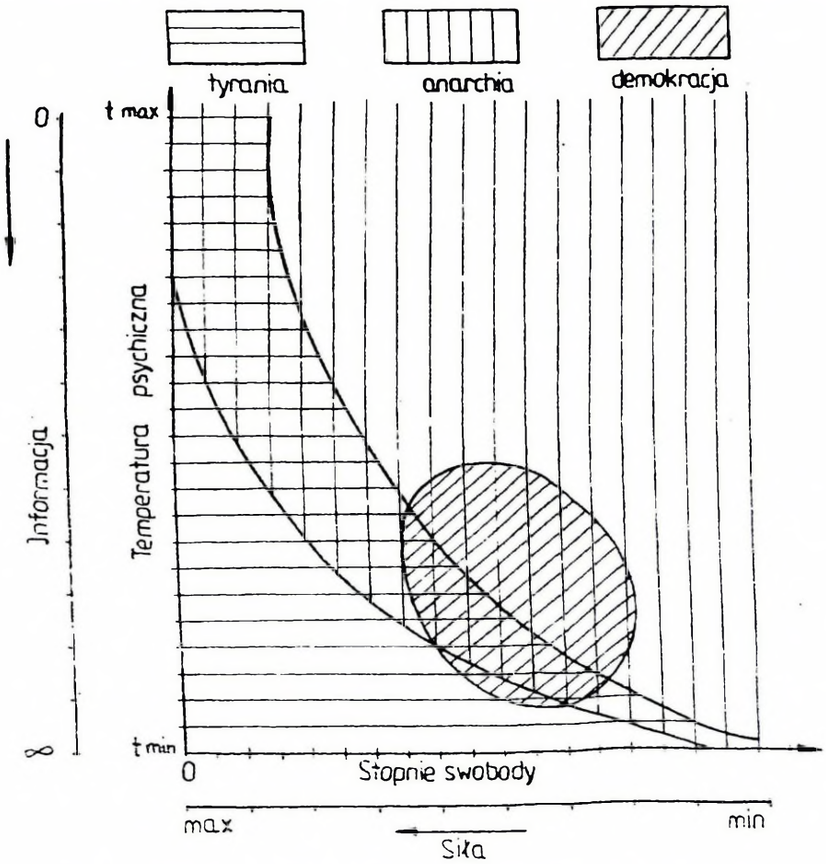
W niektórych przypadkach mogą powstać wątpliwości przy ustalaniu liczby zmiennych stanu i liczby parametrów sterowania. Należy wtedy pamiętać, że bardziej złożone wygładzenie uniwersalne może być lepszym modelem matematycznym rozpatrywanego zagadnienia, lecz za to trudniejszym do geometrycznego przedstawienia. Prawdopodobnie z tej przyczyny w praktycznych zastosowaniach występuje najczęściej katastrofa wierzchołka, której najważniejsze właściwości można przedstawić geometrycznie na płaszczyźnie i w przestrzeni trójwymiarowej.

Zalety stosowania zasady wygładzania pokazano dalej na przykładzie podanym przez Stanisława Lema w napisanych przez niego „Dialogach" [6].

Model organizacji politycznej społeczeństwa

Lem napisał *Dialogi* w latach 1954-56, a więc w czasie, gdy teoria katastrof nie była jeszcze znana. W ostatnim dialogu między filozofami Hylasem i Filonousem rozpatruje Lem trzy stany społeczeństwa: tyranię,

demokrację i anarchię. Rozważania swoje ilustruje płaskim wykresem (rys. 1), który jest prymitywną próbą (określenie samego autora *Dialogów*) przedstawienia właściwości socjodynamicznych społeczeństwa. Z rysunku tego można odczytać pewne reguły przeobrażeń społecznych, które są jakimś uogólnieniem znanych faktów z historii dawnej i najnowszej. Niemniej jest to wykres bardzo uproszczony i nie uwzględniający wielu istotnych właściwości dynamiki rozwoju politycznego społeczeństwa.



Rys. 1. Właściwości socjodynamiczne społeczeństwa wg Lema [6].

Dla pokazania efektywności zasady wygładzania zastosowano ją do zbadania problemu opisanego przez Lema. W tym celu przyjęto tylko jedną zmienną stanu x, za pomocą której oznaczono poziom dyscypliny społecznej. Poza tym, zgodnie z sugestią Lema, przyjęto dwa parametry sterowania:

u — emocje społeczne (u Lema „temperatura psychiczna"),
v — przymus (u Lema „siła").

Taki dobór zmiennej stanu i parametrów sterowania implikuje jednoznaczny wybór z tablicy 1 katastrofy wierzchołka, której wygładzenie uniwersalne ma postać

$$V = \frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{2}ux^2 + vx \tag{1}$$

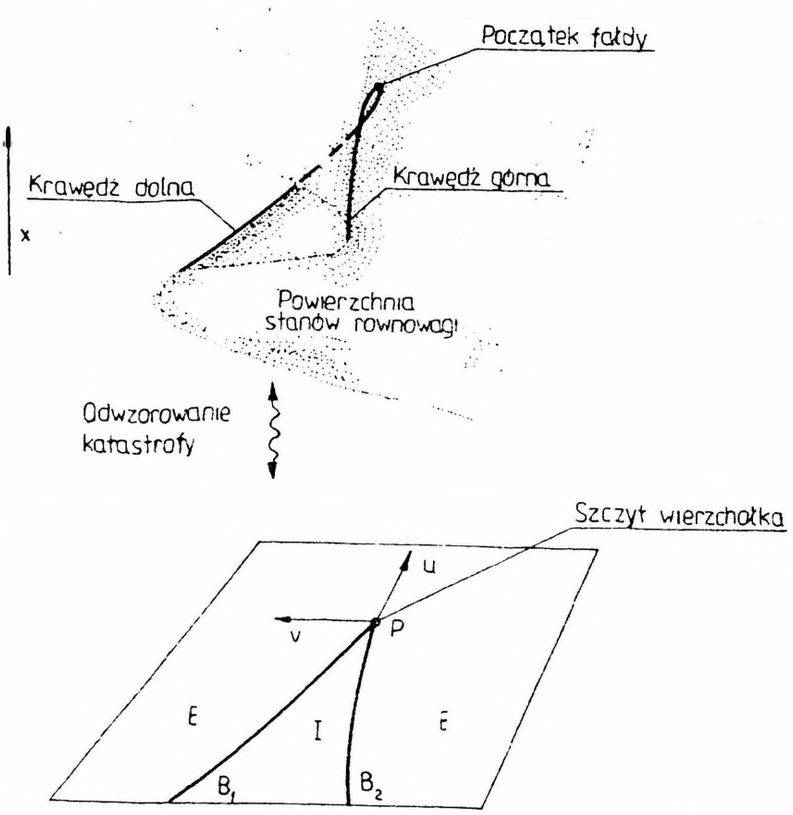
przy czym przez V oznaczono energię społeczną zużywaną na utrzymanie aparatu przymusu (energia przymusu).

Analiza stanów równowagi rozpatrywanego układu socjodynamicznego opisanego funkcją potencjalną V polega na poszukiwaniu punktów krytycznych, w których $\delta V/\delta x = 0$. Należą do nich minima, maksima i punkty przegięcia. Minima określają stany stabilne (równowagę stałą), natomiast maksima i punkty przegięcia wyznaczają stany niestabilne (równowagę chwiejną).

Z warunku $\delta V/\delta x = 0$ otrzymano równanie powierzchni stanów równowagi

$$M(x, u, v) = x^3 + u\,x + v = 0 \tag{2}$$

Powierzchnię tę przedstawiono na rys. 2 [3]. Jest to powierzchnia z fałdą o krawędziach tworzących gładką linię fałdową, której równanie wynika z zależności $\delta^2 V/\delta x^2 = 0$ i ma postać



Rys. 2 Powierzchnia stanów równowagi katastrofy wierzchołka.

$$3\,x^2 + u = 0 \tag{3}$$

Po wyrugowaniu zmiennej stanu x z równań (2) i (3) otrzymano równanie rzutu linii fałdowej na płaszczyznę parametrów sterowania:

$$27\,v^2 + 4\,u^3 = 0$$

Wykresem tego równania jest krzywa płaska składająca się z dwóch gałęzi B_1 i B_2, które przecinają się w wierzchołku P (rys. 2). Krzywa dzieli płaszczyznę sterowania na cztery zbiory punktów [1]:

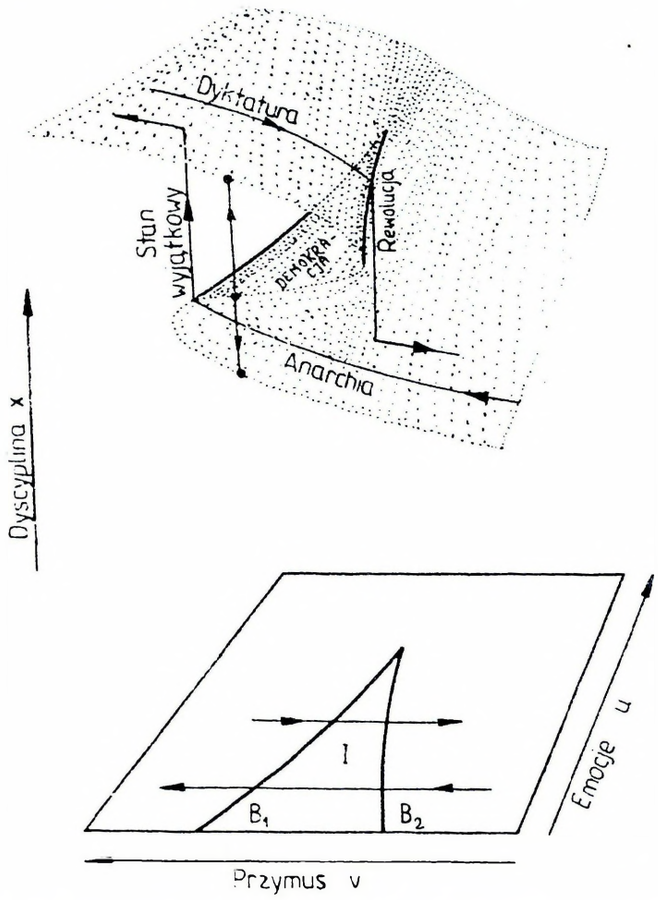
— w obszarze E występują wyłącznie stany stabilne (płaty dolny i górny powierzchni stanów równowagi);

— obszar I obejmuje stany małej niestabilności, które charakteryzują małe i łagodne przeskoki ze stanu równowagi chwiejnej (powierzchnia środkowa fałdy) do jednego ze stanów równowagi stałej (górny lub dolny płat fałdy);

— zbiorowi punktów krzywych B_1 i B_2 (bez punktu P) odpowiadają stany dużej niestabilności, które odznaczają się dużymi i gwałtownymi skokami z granicznego stanu równowagi chwiejnej (linia fałdowa) do stanu równowagi stałej (górny lub dolny płat fałdy);

— w punkcie osobliwym P występuje stan stabilny.

Na rysunku 3 przedstawiono model zależności socjodynamicznych występujących przy zmianach politycznych zachodzących w społeczeństwie.



Rys. 3. Powierzchnia stanów równowagi politycznej społeczeństwa

Płat dolny powierzchni stanów równowagi reprezentuje stan anarchii. Jego charakterystyczną cechą jest mały przymus v i niski poziom dyscypliny społecznej x. Takim wartościom odpowiada wg (1) mała energia przymusu V, która jest tym większa, im większe są emocje społeczne u. Wynika z tego, że anarchia jest stanem stabilnym społeczeństwa o niskim poziomie energii przymusu.

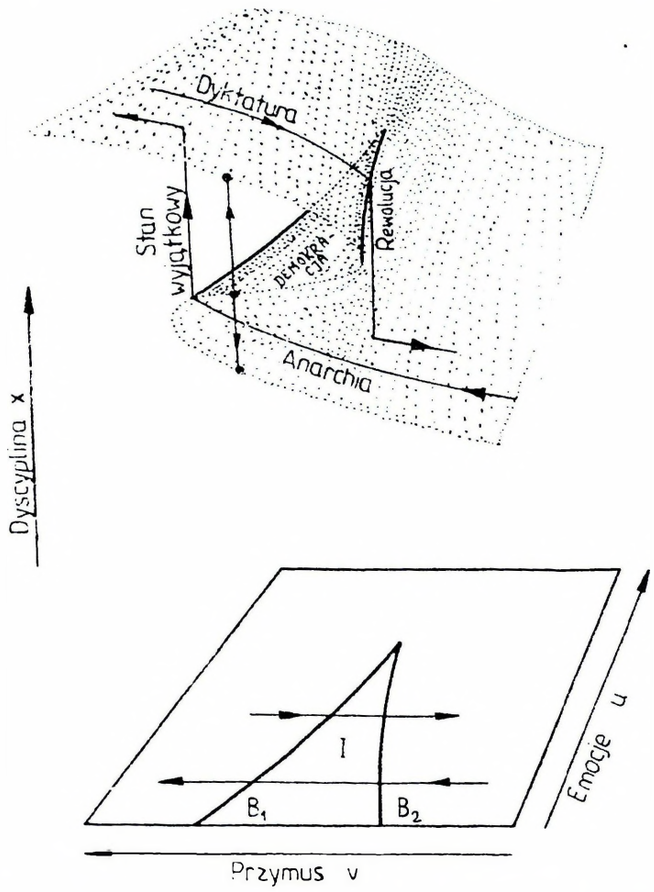
Płat górny powierzchni stanów równowagi przedstawia dyktaturę (u Lema „tyrania"), rozumianą jako nieograniczoną i opartą na przymusie władzę jednostki, grupy lub klasy społecznej. Stan ten jest określony

— obszar I obejmuje stany małej niestabilności, które charakteryzują małe i łagodne przeskoki ze stanu równowagi chwiejnej (powierzchnia środkowa fałdy) do jednego ze stanów równowagi stałej (górny lub dolny płat fałdy);

— zbiorowi punktów krzywych B_1 i B_2 (bez punktu P) odpowiadają stany dużej niestabilności, które odznaczają się dużymi i gwałtownymi skokami z granicznego stanu równowagi chwiejnej (linia fałdowa) do stanu równowagi stałej (górny lub dolny płat fałdy);

— w punkcie osobliwym P występuje stan stabilny.

Na rysunku 3 przedstawiono model zależności socjodynamicznych występujących przy zmianach politycznych zachodzących w społeczeństwie.



Rys. 3. Powierzchnia stanów równowagi politycznej społeczeństwa

Płat dolny powierzchni stanów równowagi reprezentuje stan anarchii. Jego charakterystyczną cechą jest mały przymus v i niski poziom dyscypliny społecznej x. Takim wartościom odpowiada wg (1) mała energia przymusu V, która jest tym większa, im większe są emocje społeczne u. Wynika z tego, że anarchia jest stanem stabilnym społeczeństwa o niskim poziomie energii przymusu.

Płat górny powierzchni stanów równowagi przedstawia dyktaturę (u Lema „tyrania"), rozumianą jako nieograniczoną i opartą na przymusie władzę jednostki, grupy lub klasy społecznej. Stan ten jest określony

wprowadzenia anarchii niż odwrotnie. Przejście ze stanu anarchii do systemu demokratycznego wymaga od społeczeństwa zwiększenia energii przymusu kosztem zmniejszenia innych rodzajów energii społecznej, które decydują o jego poziomie życiowym i kulturalnym. Za to przejście od demokracji do anarchii wyzwala część energii przymusu, z której społeczeństwo może skorzystać do krótkotrwałego poprawienia warunków życia. Podobnie wprowadzenie dyktatury na miejsce demokracji pochłania zawsze część użytecznej energii społecznej. Za to po obaleniu dyktatury i ustanowieniu demokracji można z części energii przymusu skorzystać do poprawienia kondycji społeczeństwa.

Porównanie bardzo ograniczonych wniosków wynikających z płaskiego wykresu Lema z bogatymi informacjami zawartymi w geometrii katastrofy wierzchołka jest potwierdzeniem dużej przydatności sformułowanej w niniejszym artykule zasady wygładzania.

Myślenie nieliniowe

Rozpatrując zasadę superpozycji wspomniano o tzw. myśleniu liniowym i zwrócono uwagę na jego ważne znaczenie dla wytłumaczenia nieskuteczności stosowania paradygmatu kartezjańskiego przy rozwiązywaniu wielu problemów naukowych i praktycznych.

Najważniejsze ujemne cechy myślenia liniowego wynikają z następujących założeń upraszczających:

1. Wzajemne oddziaływanie rzeczy i zjawisk wywołuje zawsze proporcjonalne zmiany rozpatrywanych wielkości.
2. Zasada superpozycji ma charakter uniwersalny.
3. Wszystkie zmiany w otaczającym nas świecie zachodzą w sposób ciągły.
4. Niemożliwe jest przechodzenie zmian ilościowych w zmiany jakościowe.
5. Wszystkie układy są stabilne w całym zakresie zmiany parametrów i zmiennych.
6. Wszystkie zjawiska zachodzą bez histerezy, czyli ich przebieg nie zależy od zwrotu przemiany.

Odrzucenie przedstawionych uproszczeń w myśleniu naukowym i potocznym rozszerza jego możliwości poznawcze i zwiększa skuteczność rozumowania. Taki rodzaj myślenia nazwano nieliniowym.

Dokładne i wyczerpujące opisanie myślenia nieliniowego nie wydaje się obecnie możliwe, ponieważ jest ono w stanie powstawania. Można jednak już dzisiaj wymienić następujące jego zasady:

1. Nie ma w rzeczywistości układów ściśle liniowych, lecz istnieją tylko układy słabo nieliniowe (kwasiliniowe) i silnie nieliniowe. Za silnie nieliniowe autor uważa te układy, dla których wygładzenie uniwersalne jest wielomianem co najmniej trzeciego stopnia (tabl. 1).
2. Zasada superpozycji może być stosowana skutecznie tylko przy rozpatrywaniu problemów kwasiliniowych, natomiast dla układów silnie nieliniowych trzeba stosować inne metody postępowania, np. opisaną w niniejszym artykule zasadę wygładzania.
3. W otaczającej nas rzeczywistości istnieje wiele zjawisk nieciągłych, których właściwości mogą być opisane tylko modelami nieliniowymi, np. katastrofami elementarnymi (tabl. 1).

wprowadzenia anarchii niż odwrotnie. Przejście ze stanu anarchii do systemu demokratycznego wymaga od społeczeństwa zwiększenia energii przymusu kosztem zmniejszenia innych rodzajów energii społecznej, które decydują o jego poziomie życiowym i kulturalnym. Za to przejście od demokracji do anarchii wyzwala część energii przymusu, z której społeczeństwo może skorzystać do krótkotrwałego poprawienia warunków życia. Podobnie wprowadzenie dyktatury na miejsce demokracji pochłania zawsze część użytecznej energii społecznej. Za to po obaleniu dyktatury i ustanowieniu demokracji można z części energii przymusu skorzystać do poprawienia kondycji społeczeństwa.

Porównanie bardzo ograniczonych wniosków wynikających z płaskiego wykresu Lema z bogatymi informacjami zawartymi w geometrii katastrofy wierzchołka jest potwierdzeniem dużej przydatności sformułowanej w niniejszym artykule zasady wygładzania.

Myślenie nieliniowe

Rozpatrując zasadę superpozycji wspomniano o tzw. myśleniu liniowym i zwrócono uwagę na jego ważne znaczenie dla wytłumaczenia nieskuteczności stosowania paradygmatu kartezjańskiego przy rozwiązywaniu wielu problemów naukowych i praktycznych.

Najważniejsze ujemne cechy myślenia liniowego wynikają z następujących założeń upraszczających:

1. Wzajemne oddziaływanie rzeczy i zjawisk wywołuje zawsze proporcjonalne zmiany rozpatrywanych wielkości.
2. Zasada superpozycji ma charakter uniwersalny.
3. Wszystkie zmiany w otaczającym nas świecie zachodzą w sposób ciągły.
4. Niemożliwe jest przechodzenie zmian ilościowych w zmiany jakościowe.
5. Wszystkie układy są stabilne w całym zakresie zmiany parametrów i zmiennych.
6. Wszystkie zjawiska zachodzą bez histerezy, czyli ich przebieg nie zależy od zwrotu przemiany.

Odrzucenie przedstawionych uproszczeń w myśleniu naukowym i potocznym rozszerza jego możliwości poznawcze i zwiększa skuteczność rozumowania. Taki rodzaj myślenia nazwano nieliniowym.

Dokładne i wyczerpujące opisanie myślenia nieliniowego nie wydaje się obecnie możliwe, ponieważ jest ono w stanie powstawania. Można jednak już dzisiaj wymienić następujące jego zasady:

1. Nie ma w rzeczywistości układów ściśle liniowych, lecz istnieją tylko układy słabo nieliniowe (kwasiliniowe) i silnie nieliniowe. Za silnie nieliniowe autor uważa te układy, dla których wygładzenie uniwersalne jest wielomianem co najmniej trzeciego stopnia (tabl. 1).
2. Zasada superpozycji może być stosowana skutecznie tylko przy rozpatrywaniu problemów kwasiliniowych, natomiast dla układów silnie nieliniowych trzeba stosować inne metody postępowania, np. opisaną w niniejszym artykule zasadę wygładzania.
3. W otaczającej nas rzeczywistości istnieje wiele zjawisk nieciągłych, których właściwości mogą być opisane tylko modelami nieliniowymi, np. katastrofami elementarnymi (tabl. 1).

Wydaje się, że dość częste porażki różnych prognoz futurologicznych mają również swoje źródło w myśleniu liniowym ich autorów, którzy w swoich rozważaniach nie uwzględnili wszystkich aspektów silnej nieliniowości struktur społecznych i ekologicznych.

Przedstawiciele władzy są przyzwyczajeni do myślenia liniowego przede wszystkim ze względu na jego prostotę oraz dobrze opracowane metody rozwiązywania problemów liniowych. Dlatego starają się na siłę zlinearyzować społeczeństwo, używając w tym celu przymusu ekonomicznego, prawnego i administracyjnego. Jeżeli w określonych warunkach jakieś społeczeństwo charakteryzuje szczególnie duża nieliniowość, to próby takie mogą spotkać się z jego gwałtowną reakcją. Powstaje więc pytanie: Jak należy postępować w takich przypadkach? Wydaje się, że są trzy sposoby:

1. Liniowe metody planowania i zarządzania można stosować skutecznie tylko w stanach równowagi stałej, znacznie odległych od stanów niestabilnych.

2. W stanach niestabilnych i do nich zbliżonych trzeba posługiwać się myśleniem nieliniowym, dzięki któremu można przewidzieć prawdopodobne reakcje społeczne i uwzględnić je w planowym działaniu władz.

3. Najbardziej skutecznym, chociaż najtrudniejszym sposobem postępowania jest zmniejszenie nieliniowości społeczeństwa. Można tego dokonać za pomocą długotrwałej edukacji historycznej, politycznej i ekonomicznej społeczeństwa, realizowanej przede wszystkim w szkołach wszystkich stopni i typów oraz upowszechnianej przez środki masowego przekazu.

Bibliografia

1. Łączkowski R.: Zastosowanie teorii katastrof do analizy polskich kryzysów. „Studia Socjologiczne" 1984 nr 1.
2. Sewell M. J.: Pewne przykłady zastosowania teorii katastrof w mechanice. „Mechanika Teoretyczna i Stosowana" 1977 nr 3.
3. Poston T., Stewart I.: Catastrophe Theory and Its Applications. London 1978 Pitman.
4. Arnold W. I.: Tieorija katastrof. Moskwa 1983 Izdatielstwo Moskowskowo Universiteta.
5. Bröcker T., Lander L.: Differentiable Germs and Catastrophes. Cambridge University Press 1975.
6. Lem S.: Dialogi. Kraków—Wrocław 1984 Wydawnictwo Literackie.

Принцип выглаживания и нелинейное мышление

Р. Лончковски

Критика парадигмы Картезиана и принципы суперпозиции. Модели измерительных и неизмерительных явлений. Формулировка принципа выглаживания на основе главного утверждения теории катастроф. Модель политической организации общества как пример применения принципа выглаживания. Линейное мышление и его общественные последствия. Главнейшие черты нелинейного мышления.

The Principle of Smoothing and Non-linear Thinking

by *R. Łączkowski*

The Cartesian paradigm and the principle of superposition are criticized. Models of measurable and non-measurable phenomena are presentd. The principle of smoothing based on the fundamental theorems of the catastrophe theory is formulated. The application of the principle of smoothing is presented as example by the model of a political structure of the society. The main features of non-linear thinking are presented.

ZAŁĄCZNIK 11

ZAGADNIENIA
NAUKOZNAWSTWA
4(104), 1990
PL ISSN 0044-1619

Ryszard Łączkowski

Teoria chaosu a zasada przyczynowości

ZAGADNIENIA
NAUKOZNAWSTWA
4(104), 1990
PL ISSN 0044-1619

Ryszard Łączkowski

Teoria chaosu a zasada przyczynowości

W artykule przedstawiono wpływ kształtującej się obecnie teorii chaosu na paradygmat współczesnego myślenia naukowego. Opisano, jak z rozwijającego się kryzysu monopolu determinizmu wyłonił się współczesny indeterminizm, który w makroświecie jest dziś najpełniej wyrażony przez teorię chaosu zdeterminowanego. Elementarne podstawy tej teorii przedstawiono na przykładzie analizy matematycznej tzw. rotatora, który w teorii chaosu spełnia taką samą rolę, jaką odgrywa oscylator w teorii drgań. Określono charakterystyczną cechę zjawisk chaotycznych nazwaną efektem motyla, a jednocześnie uzasadniono stwierdzenie, że indeterministyczne zjawiska kwantowe nie reprezentują chaosu zdeterminowanego. Podano warunki konieczne do powstania chaosu zdeterminowanego oraz sposoby jego identyfikacji. Opisano trzy scenariusze powstawania chaosu i wyjaśniono pojęcie attraktora niezwykłego. Zjawiska samosynchronizacji i samoorganizacji układów chaotycznych wyjaśniono na wielu przykładach fizycznych, technicznych i biologicznych. Artykuł zakończono przedstawieniem możliwości wykorzystania teorii chaosu do objaśniania zjawisk społecznych.

Jeszcze nie było morza, ziemi, a u góry
Niebios, lecz jedno było oblicze natury.
Zowią je chaos: ogrom bezkształtny, nieskładny,
Nic tylko ciężar gnuśny, martwy i bezwładny,
Zbiór sprzecznych elementów, wszech rzeczy zarodków

Owidiusz: Przemiany I, 5.
(tłum. z łaciny *B. Kiciński*)

Chaos jest słowem greckim; w mitologii starożytnych Greków o znaczało ono nieskończoną przestrzeń, istniejącą przed powstaniem świata. Rzymianie wyobrażali sobie chaos jako pierwotną bezkształtną masę, w której Stwórca wprowadził porządek i harmonię. W *Starym Testamencie* napisano w *Księdze Rodzaju*, że na początku „ziemia była bezładem". Współcześnie chaos rozumie się jako stan bezładu i nieregularności, przy czym bezład określa nieuporządkowanie w przestrzeni, a nieregularność — nieuporządkowanie w czasie.

Kształtująca się obecnie teoria chaosu wpływa w sposób istotny na rewolucyjne przekształcenia kartezjańskiego paradygmatu nauki. W upowszechnieniu wyników tych przekształceń znaczącą rolę powinno odegrać naukoznawstwo, które jako nauka interdyscyplinarna jest w stanie wskazać przedstawicielom różnych dyscyplin naukowych zupełnie nowe obszary badań oraz zalecić odpowiednie dla tych obszarów metody badawcze. Niniejszy artykuł spełnia te zadania w odniesieniu do szybko rozwijającej się teorii chaosu, która na pewno w niezbyt odległym czasie znajdzie zastosowanie w bardzo wielu dziedzinach nauki.

1. Kryzys determinizmu

Determinizm jest poglądem o koniecznym, określonym i wyznaczalnym powiązaniu wszystkich wydarzeń i zjawisk. Podstawą determinizmu jest zasada przyczynowości, którą można sformułować następująco: określonej przyczynie, działającej w konkretnych warunkach, odpowiada jednoznacznie określony skutek. Zasada ta stała się fundamentem nauk nowożytnych i osiągnęła największe sukcesy w mechanice klasycznej Galileusza-Newtona, stanowiąc wzór dla innych nauk ścisłych.

Pierwszym wyłomem w deterministycznej wizji świata było powstanie — w drugiej połowie XIX w. — kinetycznej teorii gazów, która za pomocą metod statystycznych wyjaśniła wiele znanych wcześniej praw i zjawisk, uwzględniając przy tym chaotyczność ruchów wielkiej liczby cząsteczek gazu. Zagorzali obrońcy determinizmu „obeszli" ten problem twierdząc, że jest to chaotyczność pozorna, wynikająca z niepojętej liczby cząsteczek gazu i równie dużej liczby stopni swobody, niepełnych danych początkowych oraz złożonych i zagmatwanych ruchów tych cząsteczek. W ten sposób powstał tzw. *determinizm statystyczny*.

Dopiero w latach dwudziestych bieżącego stulecia twórcy mechaniki kwantowej podważyli przekonanie o uniwersalności determinizmu udowadniając, że w świecie atomu jego zasady nie obowiązują. Okazało się, że prawa mechaniki kwantowej mają charakter statystyczny i ustalają tylko prawdopodobieństwo, a nie konieczność tego, że np. elektron poruszający się w pewien sposób trafi w określone pole ekranu. Nawet wtedy, gdy prawdopodobieństwo to jest bardzo wysokie, tzn. znaczna większość elektronów trafi w dane pole, to jednak pojedyncze elektrony mogą upaść daleko od niego. Opisanej przypadkowości nie można wyeliminować przez dokładniejsze ustalenie warunków początkowych. Uogólniając można stwierdzić, że odkrycie losowego charakteru zjawisk atomowych było zaprzeczeniem jednolitej deterministycznej wizji świata i wzmacniało poglądy zwolenników indeterminizmu, który głosi, że nie wszystkie zdarzenia muszą być ściśle zdeterminowane.

Istnienie indeterminizmu w mikroświecie jest dzisiaj faktem niezaprzeczalnym, natomiast jeszcze do niedawna wykluczano możliwość jego występowania w makroświecie. Dzisiaj jesteśmy świadkami radykalnej zmiany dotychczasowego poglądu o powszechnym występowaniu przyczynowości w układach makroskopowych. Zaczęło się to od zaskakujących odkryć w mechanice nieliniowej, które wykazały niezbicie, że otaczający nas świat nie jest ściśle zdeterminowany. Dalsze badania wielu prostych i złożonych układów fizycznych pozwoliły ten sąd uogólnić. Okazało się, że istnieją w przyrodzie takie układy o strukturze ściśle zdeterminowanej, które zachowują się chaotycznie w pewnym zakresie zmienności parametrów sterowania. Chaos ten jest naturalną cechą własną układu zdeterminowanego i dlatego nazwano go *chaosem zdeterminowanym* [12]. Pod tym pojęciem rozumiemy bezładny i nieregularny ruch układów nieliniowych, których ewolucję określają prawa mechaniki klasycznej. Pogłębiona obserwacja rzeczywistości poucza nas, że chaos zdeterminowany nie jest rzadkością, lecz często występującym zjawiskiem.

Już w 1892 r. słynny matematyk francuski H. Poincaré odkrył, że w analizowanych przez niego nieliniowych układach mechanicznych może wystąpić ruch chaotyczny [10]. Współcześni mu fizycy przyjęli to odkrycie jako kuriozum matematyczne nie mające sensu fizycznego i dlatego zapomniano o

nim na wiele lat. Dopiero w 1963 r. meteorolog E. N. Lorenz udowodnił matematycznie, że cyrkulacja powietrza w atmosferze ziemskiej, przedstawiona za pomocą modelu fizycznego o trzech stopniach swobody, jest również ruchem chaotycznym [2]. Praca ta przez wiele lat po jej wydaniu była także mało znana. Przypomniano sobie o niej dopiero w latach siedemdziesiątych, kiedy to opublikowano wiele innych opracowań poświęconych chaosowi zdeterminowanemu. Od tego czasu wiedza o chaotycznym zachowaniu się układów zdeterminowanych stale pogłębia się i znajduje coraz więcej zastosowań w wielu dziedzinach nauki. Fakty te uzasadniają potrzebę zajęcia się przez naukoznawców teorią chaosu w celu upowszechnienia jej podstaw i ogólnych metod analizy.

Pojęcie chaosu zdeterminowanego najłatwiej objaśnić na przykładzie zachowania się tzw. rotatora, który w teorii chaosu spełnia taką samą rolę, jaką odgrywa oscylator w teorii drgań.

2. Teoria rotatora

Rotatorem nazywamy niewyważony wirnik obracający się w łożyskach wzbudzanych z zewnątrz siłami harmonicznymi. Dla takiego wirnika wyprowadzono w pracy [5] nieliniowe równanie różniczkowe ruchu obrotowego:

$$I\ddot{\varphi} + H\dot{\varphi} + me(g + av^2 \sin vt)\sin\varphi = M \tag{1}$$

gdzie: φ — kąt obrotu rotatora, t — czas, $\dot{\varphi}$ i $\ddot{\varphi}$ — pierwsza i druga pochodna względem czasu, I — masowy moment bezwładności rotatora względem osi obrotu, H — współczynnik tarcia, m — masa rotatora, e — mimośrodowość środka masy, g — przyspieszenie ziemskie, a — amplituda kinematycznego wzbudzenia łożyska, v — częstotliwość kątowa wzbudzenia, M — moment obrotowy napędu rotatora.

W teorii równań różniczkowych znane jest twierdzenie Cauchy'ego o tym, że każde równanie różniczkowe ma jednoznaczne rozwiązania, które zależą tylko od przyjętych warunków początkowych. Jeszcze do niedawna z tego twierdzenia wyprowadzano ogólny wniosek wykluczający możliwość występowania ruchów chaotycznych w makroskopowych układach dynamicznych. Na tej podstawie sądzono, że obserwowane w rzeczywistości przypadkowe zachowywanie się niektórych mechanizmów jest zawsze wywoływane losowymi oddziaływaniami pochodzącymi z zewnątrz, przy czym na ogół nie wyjaśniano, gdzie i jak te oddziaływania powstają. Dzisiaj już wiadomo, że zewnętrzne wymuszenie stochastyczne wielu mechanizmów jest wywołane chaosem zdeterminowanym powstającym w innych układach fizycznych, dla których losowość zachowań jest naturalną cechą własną. Takim układem mechanicznym jest również rotator, który zachowuje się chaotycznie w określonym obszarze zmian parametrów sterowania a i v. Odkrycie to jest zgodne z teoretyczną analizą zagadnienia, z której wynika, że wbrew twierdzeniu Cauchy'ego równanie różniczkowe (1) nie zawsze ma rozwiązania jednoznacznie zdeterminowane [9]. Przy dokładniejszym zbadaniu problemu okazało się, że jest to szczególna cecha wielu nieliniowych równań różniczkowych, natomiast dla równań liniowych twierdzenie Cauchy'ego jest zawsze prawdziwe.

W pracy [5] dokonano analizy jakościowej równania (1) za pomocą odwzorowania punktowego B. V. Chirikova:

$$\begin{aligned} \omega_{n+1} &= \omega_n - K \sin \varphi_n, \\ \varphi_{n+1} &= \varphi_n + \omega_{n+1}, \end{aligned} \tag{2}$$

gdzie: n, $n+1$ — numery kolejnych iteracji, φ — kąt obrotu rotatora w rad, ω — prędkość kątowa rotatora, K — współczynnik wzbudzenia drgań łożysk rotatora.

Dla przyjętej wartości K obliczenia zaczyna się od podstawienia do prawej strony wzorów (2) warunków początkowych φ_0 i ω_0, otrzymując jako wynik pierwszej iteracji φ_1 i ω_1. Podstawiając te wartości ponownie do prawej strony wzorów rekurencyjnych, otrzymuje się drugą iterację φ_2 i ω_2. Powtarzając wielokrotnie tę czynność, uzyskuje się zbiór wartości kolejnych iteracji (φ_n, ω_n), który można przedstawić jako zbiór punktów na płaszczyźnie fazowej (φ, ω).

Ze względu na potrzebę obliczania wielu tysięcy iteracji opisanych wzorami (2) opracowano program komputerowy dla typowego minikomputera. Oblicza on każdą iterację i wyświetla jej wyniki na ekranie monitora w postaci odpowiedniego punktu fazowego. W czasie obliczeń widać, jak kolejne punkty fazowe pojawiają się w różnych miejscach ekranu, tworząc niekiedy regularne krzywe, a innym razem — zbiory chaotycznie rozmieszczonych oddzielnych punktów. Obraz powstały na ekranie monitora można skopiować na drukarce igłowej.

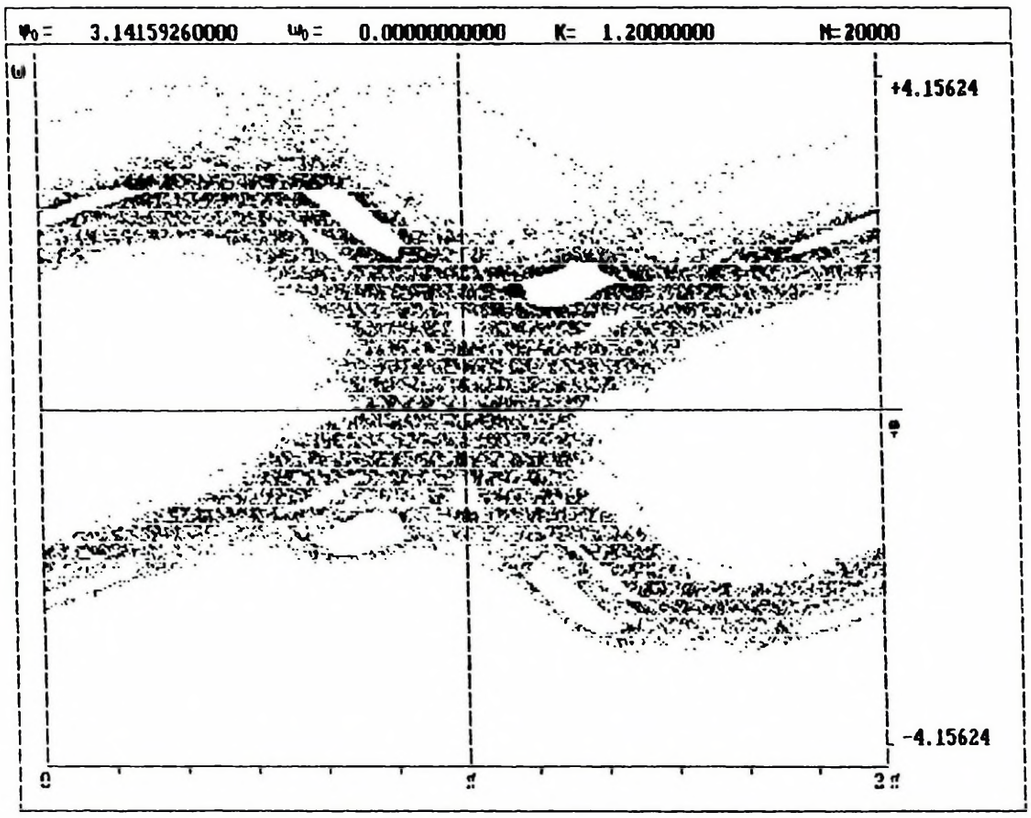
Na rysunku 1 przedstawiono charakterystykę punktową ruchu chaotycznego rotatora obliczoną dla warunków początkowych $\varphi_0 = 3{,}1415926$ (przybliżenie liczby π) i $\omega_0 = 0$ oraz dla $K = 1{,}2$. Jest to wydruk obliczeń komputerowych wykonanych dla $N = 20\,000$ iteracji. Każdej iteracji odpowiada jeden punkt charakterystyki o współrzędnych (φ, ω), przy czym niektóre z tych punktów pokrywają się.

Przedstawiona metoda jakościowej analizy chaotycznego ruchu rotatora ma znaczenie ogólne i może być wykorzystana również do badania zachowań innych nieliniowych układów fizycznych, biologicznych i społecznych.

3. Efekt motyla i zasada nieoznaczoności

Geometrycznymi rozwiązaniami równań różniczkowych ruchu są krzywe całkowe, zwane w mechanice *trajektoriami*. Jeśli równanie różniczkowe jest liniowe, to jego rozwiązania są określone w przestrzeni fazowej za pomocą rodziny regularnych trajektorii, które wyznacza się stosując przekształcenia całkowe. Ustalając warunki początkowe analizowanego ruchu, wybiera się jedną z tych trajektorii, która jednoznacznie określa ten ruch nawet w bardzo odległym czasie.

Nie ma ogólnych metod matematycznych pozwalających uzyskać ścisłe rozwiązania dla dowolnie wybranego równania różniczkowego nieliniowego. Jedynymi dostępnymi metodami rozwiązywania pewnych często spotykanych rodzajów równań różniczkowych nieliniowych są różnego rodzaju aproksymacje [1]. Niestety, takie aproksymacje przeważnie zniekształcają matematyczny obraz nieliniowego zjawiska, a niekiedy nie uwzględniają nawet jego podstawowych właściwości, wynikających z samego istnienia nieliniowości.



Rys. 1. Charakterystyka punktowa chaotycznego ruchu rotatora

Nieliniowość równania różniczkowego jest warunkiem koniecznym, lecz nie wystarczającym do powstania chaosu zdeterminowanego w układzie fizycznym opisanym takim równaniem. Oznacza to, że nie wszystkie układy nieliniowe muszą generować chaos zdeterminowany, natomiast wszystkie te układy, w których występuje chaos zdeterminowany, są opisane równaniami różniczkowymi nieliniowymi. Przy analizie takich równań za pomocą komputerów okazało się, że w pewnych obszarach zmienności parametrów sterowania wyniki otrzymywane dla coraz późniejszych chwil zależą silnie od coraz większej liczby cyfr przyjmowanych w komputerowym zapisie liczb niewymiernych, określających warunki początkowe dla rozpatrywanego układu [12]. Obliczone w takim przypadku trajektorie mają przebieg nieregularny, ponieważ również nieregularnie występują poszczególne cyfry w zapisie pozycyjnym liczb niewymiernych. Poza tym analiza matematyczna wykazała, że praprzyczyną powstania chaosu zdeterminowanego jest to, że początkowo bliskie trajektorie rozbiegają się z czasem w ograniczonej przestrzeni fazowej z wykładniczo narastającą prędkością [9]. W takim przypadku błąd, wynikający z ograniczonej dokładności określenia rzeczywistych warunków początkowych, narasta z czasem w sposób wykładniczy, co praktycznie wyklucza jednoznaczność zachowania się analizowanego układu po odpowiednio długim upływie czasu. Opisana nieregularność trajektorii i niejednoznaczność wyników rozwiązań

równań różniczkowych nieliniowych są charakterystycznymi cechami chaosu zdeterminowanego.

Nadzwyczajną czułość niektórych układów nieliniowych na zmianę warunków początkowych E. N. Lorenz nazwał „efektem motyla". Określenie to użyto po raz pierwszy przy matematycznej analizie lokalnych wpływów atmosferycznych na stan pogody. Z analizy tej wynikło, że w pewnych warunkach atmosferycznych anegdotyczne „machnięcie skrzydłami motyla" może w nieprzewidziany sposób zmienić radykalnie pogodę i to również w rejonach odległych od miejsca powstania opisanego efektu. Nasze codzienne doświadczenia z kaprysami pogody i powszechnie znana zawodność prognoz meteorologicznych potwierdzają celność określenia wprowadzonego przez E. N. Lorenza.

Efekt motyla występuje również w wielu innych nieliniowych układach fizycznych, biologicznych i społecznych, co tłumaczy ich nieprzywidywalne zachowanie się w pewnym zakresie zmian parametrów sterowania.

W mechanice klasycznej punkt materialny porusza się po ściśle ustalonej trajektorii i dlatego w każdej chwili ma on jednoznacznie określone położenie i prędkość. W mechanice kwantowej z zasady nieoznaczoności Heisenberga wynika, że żadna cząstka elementarna nie może mieć jednocześnie dokładnie określonego położenia i prędkości. Dlatego pojęcie trajektorii w świecie atomu traci sens, a istnienie w układach kwantowych chaosu zdeterminowanego, charakteryzującego się przecież wykładniczo szybkim rozbieganiem pierwotnie bliskich trajektorii, jest po prostu niemożliwe [12]. Stwierdzenie to nie neguje faktu, że zjawiska kwantowe są indeterministyczne i że można je opisać tylko statystycznie.

4. Identyfikacja chaosu zdeterminowanego

Na podstawie dotychczasowej wiedzy teoretycznej i doświadczalnej [9, 12] ustalono następujące warunki konieczne dla układów, w których może występować chaos zdeterminowany:

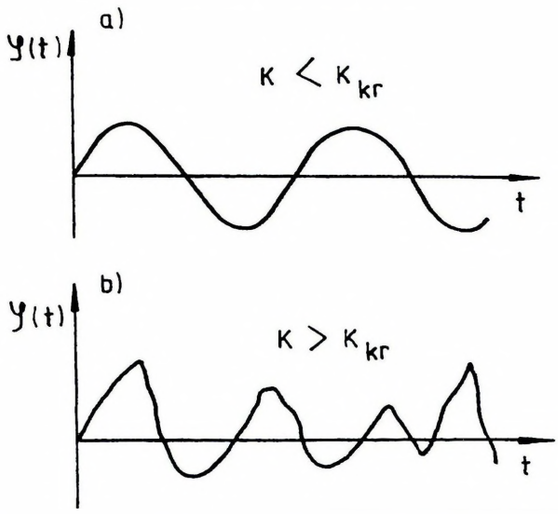
— układ musi być nieliniowy, co oznacza, że jego ruch jest opisany nieliniowymi równaniami różniczkowymi lub różnicowymi;

— układ musi być otwarty, czyli co najmniej jeden z jego parametrów powinien być sterowany spoza układu.

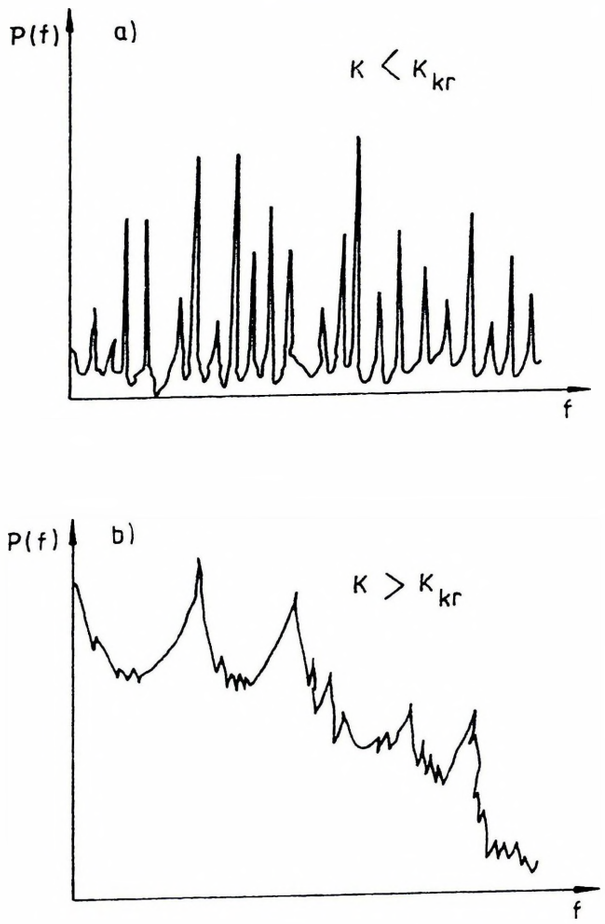
Z pierwszego warunku wynika, że w układach liniowych nie może powstać chaos zdeterminowany. Wniosek ten jest zgodny z praktycznym doświadczeniem wielu pokoleń inżynierów, którzy zawsze preferowali liniowe układy, doceniając ich określoność i jednoznaczność działania.

Z licznych obserwacji różnych przejawów rzeczywistości wynika, że opisane warunki konieczne występowania chaosu zdeterminowanego są warunkami ogólnymi i obowiązującymi powszechnie.

Spełnienie warunków koniecznych i zaobserwowanie stochastyczności zjawiska nie dają pewności, że mamy do czynienia z chaosem zdeterminowanym. Aby być o tym przekonanym, trzeba ustalić doświadczalnie pewne cechy identyfikacyjne określonego sygnału. Dalej podano takie cechy identyfikacyjne, jakie dotychczas udało się ustalić w znanych przypadkach występowania chaosu zdeterminowanego [4, 12].



Rys. 2. Oscylogramy sygnału $\varphi(t)$: a) regularnego, b) przypadkowego



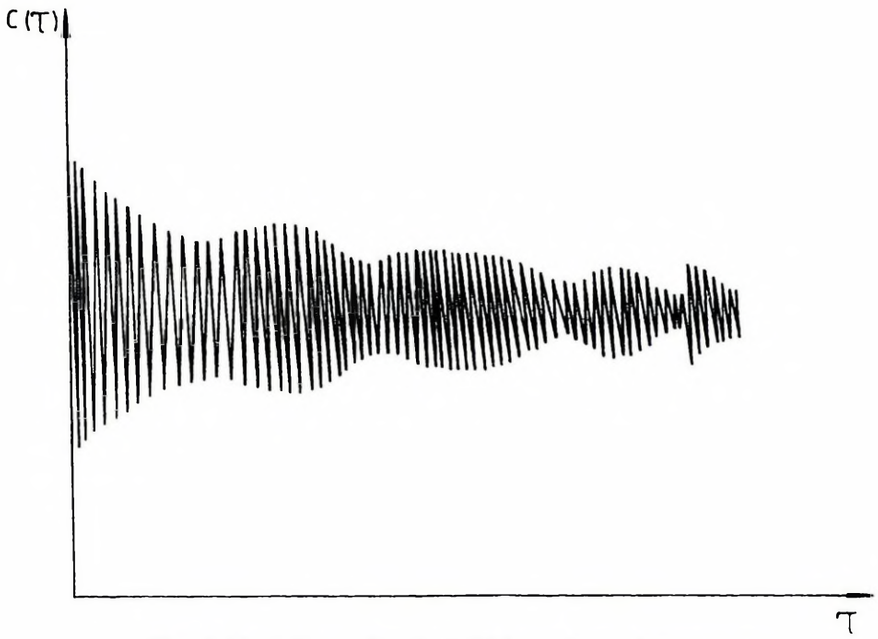
Rys. 3. Widma mocy $P(f)$: a) prążkowe, b) ciągłe

Randomizacja sygnału. Przy wartości krytycznej parametru sterowania K_{kr} przebieg sygnału $\varphi(t)$ zmienia się z regularnego (rys. 2a) na przypadkowy (rys. 2b).

Ciągłość widma mocy. Po przekroczeniu wartości K_{kr} widmo mocy P mierzonego sygnału w zakresie małych częstotliwości zmienia się z prążkowego (rys. 3a) na ciągłe szeroko-pasmowe (rys.3b).

Zanikająca funkcja autokorelacji. W przypadku wystąpienia chaosu zdeterminowanego funkcja autokorelacji $C(\tau)$ mierzonego przebiegu szybko zmniejsza się (rys. 4).

Chaotyzacja stroboskopowego obrazu fazowego. Za pomocą strobowania (kwantowania) sygnałów pomiarowych zmiennej stanu i jej pochodnej można na ekranie monitora otrzymać fazowe charakterystyki punktowe. Przy pewnej wartości parametru sterowania K_{kr} charakterystyka przebiegu zdeterminowanego (rys. 5a) przechodzi w charakterystykę przebiegu chaotycznego (rys. 5b).



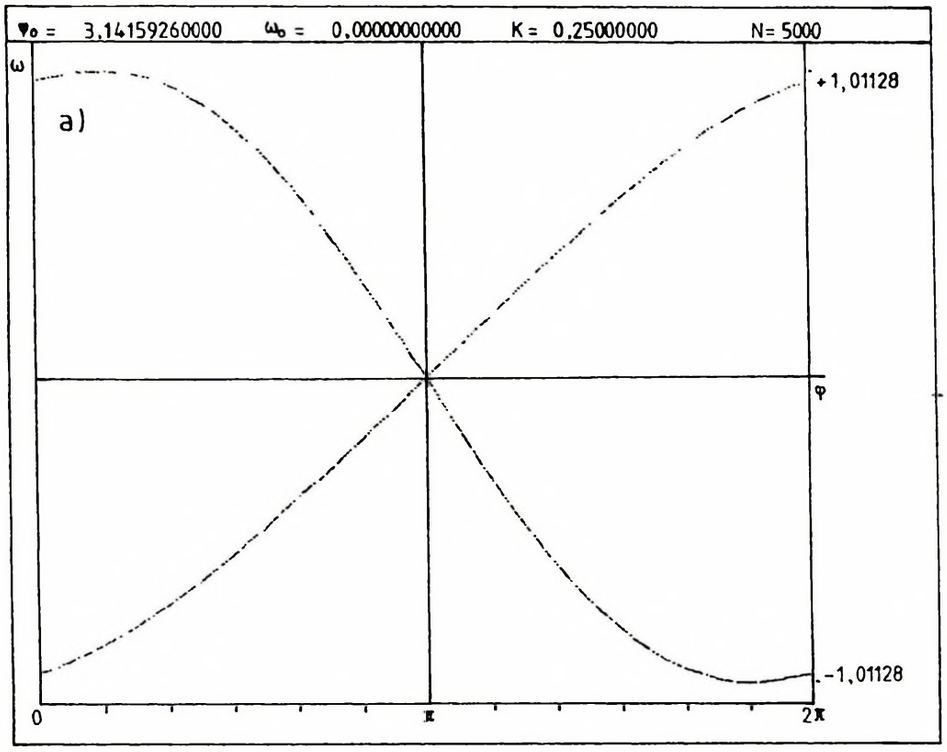
Rys. 4. Funkcja autokorelacji $C(\tau)$ przebiegu chaotycznego

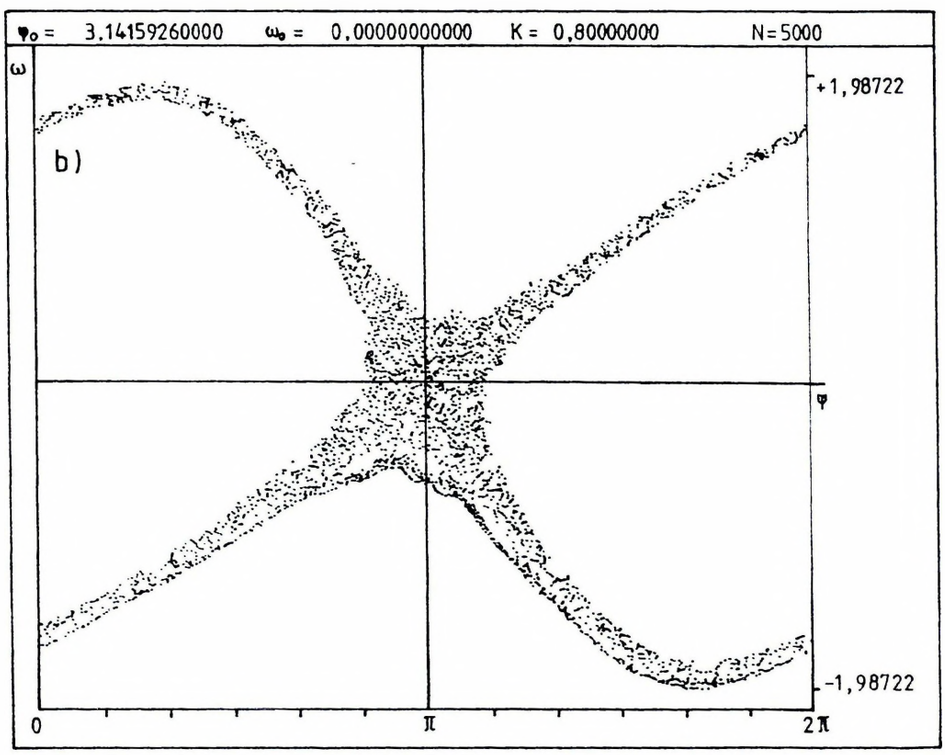
5. Scenariusze powstawania chaosu zdeterminowanego

Doświadczalnie ustalono, że w otwartych układach nieliniowych przejście od przebiegu regularnego do chaotycznego odbywa się według skończonej liczby scenariuszy. Może to być jeden lub kilka scenariuszy, w zależności od liczby parametrów sterowania.

Eksperymentalnie najlepiej zbadano scenariusz bifurkacji (rozdwajania), który można zidentyfikować następująco [12]:

— w okresie przejścia od regularności do chaosu pojawiają się w widmie





Rys. 5. Stroboskopowe obrazy fazowe przebiegu: a) zdeterminowanego, b) chaotycznego

mocy składowe podharmoniczne o częstotliwościach równych $2^{-n} \cdot f_0$, gdzie: f_0 — częstotliwość podstawowa, $n = 1, 2, 3, \ldots$;

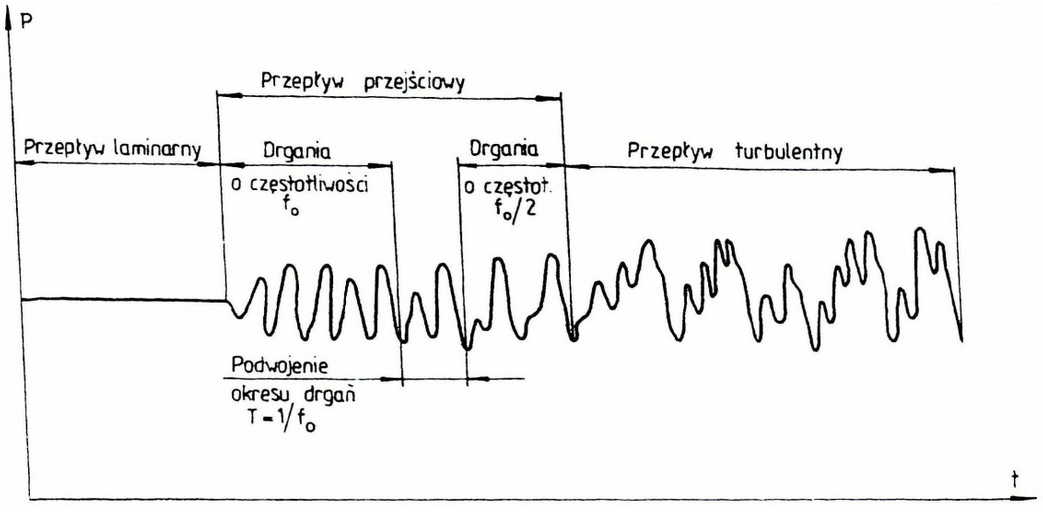
— poziom mocy $L = 10 \log P$ każdej następnej harmonicznej jest teoretycznie o $\mu = 13{,}5$ dB niższy od poziomu mocy poprzedniej harmonicznej.

Charakterystycznym przykładem scenariusza bifurkacji jest zachowanie się przepływającej przez rurociąg cieczy przy przejściu przepływu laminarnego (uporządkowanego) w przepływ turbulentny (chaotyczny). Na rysunku 6 przedstawiono oscylogram ciśnienia chwilowego p w rurociągu jako funkcję czasu t [3]. Proces przejściowy zaczyna się drganiami samowzbudnymi o częstotliwości f_o, przechodzącymi w drgania o częstotliwości $f_o/2$, które z kolei zamieniają się w drgania przypadkowe charakterystyczne dla przepływu turbulentnego.

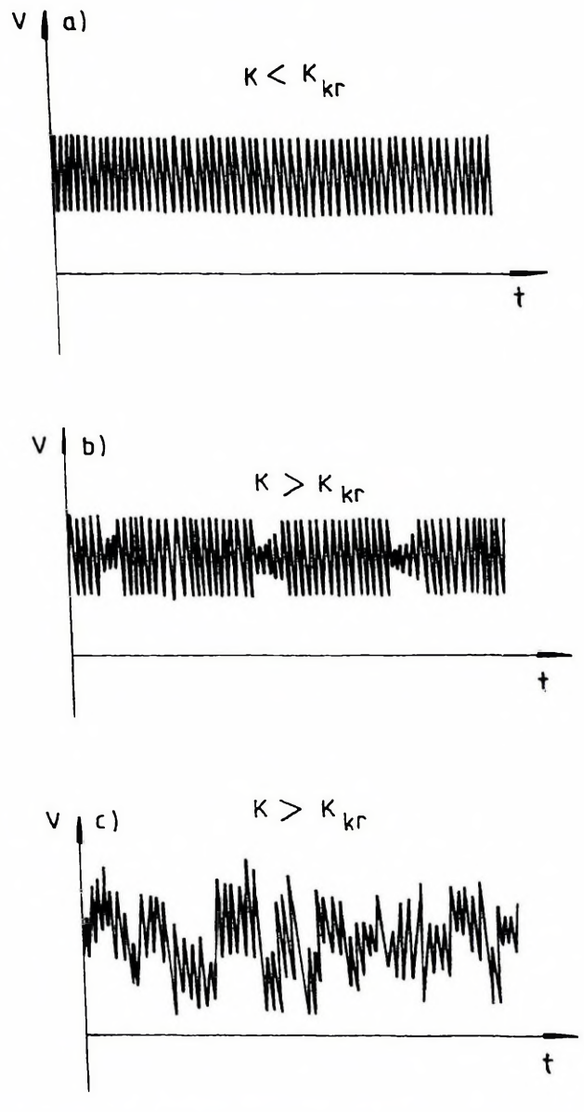
Drugim dość powszechnie występującym scenariuszem powstawania chaosu zdeterminowanego jest tzw. przeplatanie. Charakteryzuje się ono tym, że w zapisie mierzonego sygnału występują w sposób przypadkowy na przemian po sobie długie okresy przebiegów regularnych i względnie krótkie okresy przebiegów nieregularnych. Stwierdzono przy tym, że liczba przebiegów nieregularnych zwiększa się przy zwiększaniu wartości parametru sterowania K, co świadczy o tym, że scenariusz przeplatania określa ciągłe przejście od regularności do chaosu.

Na rysunku 7 przedstawiono oscylogramy pokazujące rozwój chaosu zdeterminowanego według scenariusza przeplatania. Przy wartościach parametru sterowania $K < K_{kr}$ oscylogram jest zapisem stabilnych drgań okresowych (rys. 7a). Po przekroczeniu wartości K_{kr} drgania okresowe są przerywane drganiami nieregularnymi (rys. 7b), które przy dalszym zwiększaniu K występują coraz liczniej, aż do chwili osiągnięcia pełnej chaotyzacji badanego zjawiska (rys. 7c).

Trzecim podstawowym scenariuszem powstawania chaosu zdeterminowanego jest sposób tworzenia się tzw. attraktora niezwykłego.



Rys. 6. Oscylogram ciśnienia p cieczy przepływającej przez rurociąg w okresie przejściowym



Rys. 7. Oscylogramy: a) stabilnych drgań okresowych, b) drgań przeplatanych, c) drgań chaotycznych

6. Attraktor niezwykły

W dynamice układów nieliniowych stany ustalone nazwano attraktorami (od łacińskiego słowa *attractio* — przyciąganie), ponieważ są to stany równowagi, do których układ dąży (jest przyciągany), jeżeli znajduje się w stanie przejściowym, tzn. w stanie nierównowagi. Przykładem zjawiska, w którym występują dwa attraktory, jest opisany uprzednio przepływ cieczy przez rurociąg (rys. 6) [3]. Przepływ laminarny (uporządkowany i uwarstwiony) jest attraktorem zwykłym, natomiast przepływ turbulentny (chaotyczny w czasie i przestrzeni) zalicza się do tzw. attraktorów niezwykłych (w języku angielskim — *strange attractor*,

w rosyjskim — *strannyj attraktor*) [9, 12]. Jest to taki stan ustalony (stan równowagi), w którym występują chaotyczne ruchy układu, bardzo wrażliwe nawet na nieznaczne zmiany jego warunków początkowych, przy czym uśrednione charakterystyki stanu takiego układu są stałe w czasie i nie zależą od zmiany warunków początkowych w ograniczonym zakresie. Przejście od attraktora zwykłego do attraktora niezwykłego odbywa się bezpośrednio i skokowo (twarda utrata stateczności układu) lub poprzez stan przejściowy (miękka utrata stateczności układu).

Attraktor niezwykły zajmuje ograniczony obszar przestrzeni fazowej, do którego są wciągane wszystkie trajektorie zbliżające się po odpowiednio długim czasie do strefy przyciągania. Sam attraktor niezwykły można również uważać za trajektorię, która z upływem czasu przechodzi przez każdy punkt jego przestrzeni fazowej. Niezwykłość takiego attraktora polega przede wszystkim na jego niezwykłej czułości na nieznaczne nawet zmiany warunków początkowych, co praktycznie wyklucza jednoznaczność zachowań analizowanego układu, a więc określa jego chaotyczność.

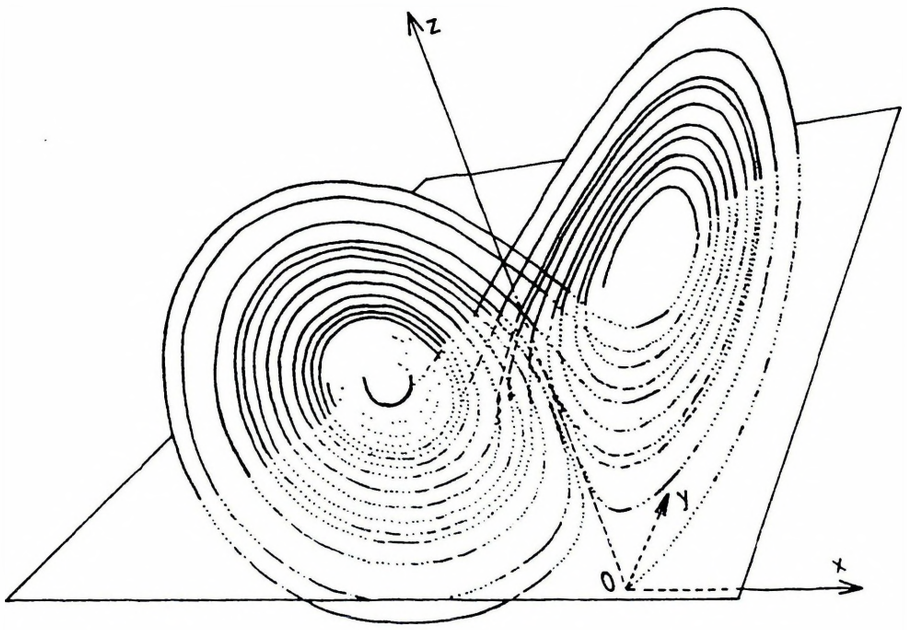
Przedstawicielem attraktorów niezwykłych jest attraktor Lorenza, który stanowi model matematyczny ruchu warstw powietrza w atmosferze Ziemi pod wpływem ciepła słonecznego. Na rysunku 8 przedstawiono trajektorię attraktora Lorenza w układzie współrzędnych prostokątnych proporcjonalnych do wartości następujących wielkości fizycznych: X — prędkość konwekcji, Y — różnica temperatur między wznoszącymi się i opadającymi strumieniami powietrza, Z — odchyłki pionowego rozkładu temperatury powietrza od zależności liniowej.

Trajektoria attraktora Lorenza zakreśla jeden zwój w prawo, następnie kilka zwojów w lewo, następnie znów w prawo i tak dalej... Trajektoria ta jest bardzo czuła nawet na nieznaczną zmianę warunków początkowych, która już po krótkim czasie powoduje, że nowe rozwiązanie równania ruchu różni się od poprzedniego liczbą zwojów zakreślanych na zmianę po jednej i po drugiej stronie attraktora.

Model Lorenza opisuje również ruch wody w układzie centralnego ogrzewania grawitacyjnego, stosowanego w gospodarstwach domowych. Jest to układ zamknięty, podgrzewany w części dolnej i chłodzony w górnej. Wskutek tego gorąca woda jako lżejsza wypływa do góry po jednej stronie rurociągu, aby po ochłodzeniu jako cięższa spaść w dół po jego drugiej stronie. W ten sposób tworzy się zamknięty obieg wody, która krąży w układzie centralnego ogrzewania mimo braku pompy obiegowej. Ruch ten trwa tak długo, jak długo występuje różnica temperatur wody na dole i na górze rurociągu, przy czym kierunek pierwszego obiegu wody zależy od impulsu początkowego. Przy określonej, dostatecznie dużej różnicy temperatur kierunek obiegu wody po pewnym czasie odwraca się niespodziewanie. Po wykonaniu kilku obiegów w nowym kierunku, w pewnej nie przewidzianej chwili strumień wody zawraca ponownie, aby znów po jakimś nie określonym czasie zawrócić; proces ten może powtarzać się wielokrotnie. Wytłumaczenie tego zjawiska jest proste. Przy dużych spadkach temperatury prędkość wody jest również duża i dlatego nie zdąży się ona tak ochłodzić w górnej części rurociągu, aby dalej mogła swobodnie opadać. W ten sposób następuje chwilowe wstrzymanie obiegu wody, a potem zmiana jego kierunku. Proces ten może powtarzać się wielokrotnie, przy czym ciąg chwil, w jakich następuje odwrócenie obiegu wody, jest ciągiem losowym. Oznacza to, że nie można wcześniej przewidzieć chwili, w której nastąpi zmiana kierunku przepływu wody w rurociągu.

Najciekawszą stroną opisanego zjawiska jest to, że mimo iż jest ono opisane ściśle zdeterminowanym układem równań różniczkowych, to jego rozwiązania mają charakter losowy. Oba obiegi wody — zgodny i przeciwny ruchowi wskazówek zegara — są stanami statecznymi. Przy odpowiednio wysokiej temperaturze nagrzewnicy przechodzenie od jednego do drugiego stanu jest charakterystyczną cechą attraktora niezwykłego. Widać to na rysunku 8, gdzie zwoje trajektorii otaczają w przestrzeni fazowej dwa punkty równowagi. Trajektoria przybliżająca się ruchem okrężnym do jednego z nich jest w pewnej chwili „odbijana" i zaczyna ruch ku drugiemu punktowi, wokół którego zakreśla kilka zwojów i po pewnym czasie jest znowu od niego odbijana. Wskutek tego trajektoria błądzi w sposób losowy w przestrzeni fazowej między dwoma punktami równowagi.

Z opisanych właściwości attraktora Lorenza wynikają bardzo smutne wnioski dla trafności wszelkich prognoz meteorologicznych. Przed ogłoszeniem prac E. N. Lorenza uważano, że dokładność spełnienia się prognoz zależy wyłącznie od ilości i dokładności posiadanych informacji, a także od szybkości ich przetwarzania. Sądzono, że w dobie maszyn cyfrowych im więcej wiemy o stanie atmosfery dzisiaj, tym dokładniejsza będzie prognoza na jutro, pojutrze i dalsze okresy. Jest to typowo deterministyczny sposób myślenia, według którego obecny stan Wszechświata w ogóle, a pogody w szczególności, jest zawsze jednoznacznym następstwem stanu poprzedzającego. W rzeczywistości na stan Wszechświata i na pogodę wpływa również przypadek wywołany chaosem zdeterminowanym, występującym niekiedy w postaci attraktora nie-



Rys. 8. Attraktor niezwykły Lorenza

zwykłego. Stąd dla meteorologów wynika smutny wniosek, że opracowanie trafnych długoterminowych prognoz pogody jest z zasady niemożliwe, ponieważ istnienie attraktora Lorenza wprowadza zawsze nieuchronną losowość, zwaną potocznie „kaprysami pogody".

Według scenariuszy bifurkacji, przeplatania i tworzenia się attraktora niezwykłego może powstawać chaos zdeterminowany także w nieliniowych zjawiskach niemierzalnych, których modele bada się w „naukach miękkich", do których zalicza się m.in. ekonomię, socjologię, politologię i ekologię [6, 7].

7. Samosynchronizacja i samoorganizacja

Przejście układu ze stanu uporządkowania do stanu chaosu nazwano *chaotyzacją* układu, natomiast proces odwrotny określono jako jego *synchronizację*. Przez synchronizację rozumie się zwykle proces doprowadzenia dwóch lub więcej zjawisk do pełnej równoległości ich zmian w czasie. W przypadku zjawisk zmieniających się okresowo polega to na doprowadzeniu do dokładnej zgodności przebiegu okresów oraz czasu ich początku i końca. Jeśli zjawisko synchronizacji zachodzi samoistnie, to nazywamy je *samosynchronizacją*.

Zgodnie z metodą naukoznawstwa opisano dalej różne przykłady zjawisk, w których występuje samosynchronizacja czasowa.

Samosynchronizacja zegarów wahadłowych. Pierwszego opisu zjawiska samosynchronizacji dokonał w XVII w. Ch. Huygens. Obserwował on dwa jednakowe zegary wahadłowe, które umieszczono na belce spoczywającej na dwóch podporach. Wahadła obu zegarów poruszały się zawsze w przeciwnych kierunkach, przy czym ich wahania były tak zgodne, że nigdy nie było między nimi nawet najmniejszej rozbieżności. Tykanie obu zegarów słyszano w tej samej chwili. Jeżeli taki synchronizm sztucznie rozstrojono, to po krótkim czasie następowało jego samoistne odtworzenie. Ch. Huygens był początkowo zdumiony takim zjawiskiem, lecz po jego gruntownym zbadaniu ustalił, że przyczyną samosynchronizacji obu zegarów były nie przewidziane wcześniej ruchy belki, na której one spoczywały. Okresowe ruchy wahadła wywoływały określone ruchy samych zegarów, które przenosiły się na belkę. To ona była tą więzią sprężystą, za pomocą której następowała samosynchronizacja zegarów.

Samosynchronizacja dźwięków piszczałek organowych. Po raz pierwszy zjawisko samosynchronizacji w układach akustycznych opisał J. W. Rayleigh. Zaobserwował on, że rozmieszczone w jednym szeregu dwie takie same piszczałki organowe, mimo że nie były dokładnie zestrojone, to jednak brzmiały unisono. Takie zjawisko jest spowodowane samosynchronizacją częstotliwości dźwięków wydawanych przez obie piszczałki. Niekiedy rezultatem może być całkowity zanik obu dźwięków. Dzieje się tak wtedy, gdy grające unisono piszczałki wydają dźwięki o przeciwnych fazach.

Samosynchronizacja turbogeneratorów. Zjawisko samosynchronizacji po raz pierwszy wykorzystano w technice na dużą skalę przy wprowadzeniu pracy kilku turbogeneratorów prądu zmiennego na wspólną sieć. Przy budowie pierwszych elektrowni dość często zdarzały się uszkodzenia uruchamianych turbogeneratorów. Okazało się, że przy ich pracy na wspólną sieć fazy generowanych napięć nie pokrywały się i wskutek tego prąd wytwarzany przez jeden generator zamiast być przesyłany na sieć ogólną przepływał przez drugi generator, paląc jego uzwojenia. Aby nie dopuścić do takiej awarii, należało zapewnić obracanie

się wirników współpracujących z sobą turbogeneratorów z taką samą prędkością obrotową oraz z jednakowymi fazami określającymi zgodne położenie wirujących biegunów. Zagadnienie wydawało się niemożliwe do opanowania, ponieważ turbogeneratory są napędzane turbinami pracującymi niezależnie od siebie. Nawet bardzo dokładne regulowanie prędkości obrotowej turbin nie zapewnia pełnej równości częstotliwości i faz generowanych prądów, ponieważ przy dowolnie małej różnicy tych częstotliwości $\Delta\omega \neq 0$ po czasie T różnica ta powiększa się do wartości $T \cdot \Delta\omega$ i po upływie czasu $T = \pi/\Delta\omega$ ich fazy będą różniły się o wartość π.

W tej, wydawałoby się, beznadziejnej sytuacji technicy wykorzystali zjawisko samosynchronizacji. Okazało się, że po spełnieniu pewnych warunków i przy niezbyt znacznej początkowej różnicy między prędkościami obrotowymi wirników poszczególnych turbogeneratorów następuje między nimi samosynchronizacja, po której wirniki te obracają się zgodnie z bardzo dużą dokładnością.

Samosynchronizacja przy odbiorze radiowym. Ważne praktyczne znaczenie ma samosynchronizacja w radiotechnice. Bez przesady można stwierdzić, że samosynchronizacja drgań elektrycznych odbiornika radiowego z zewnętrznymi słabymi sygnałami radiowymi leży u podstaw odbioru radiowego. Jego modelem matematycznym jest równanie Van der Pola z prawą stroną $E\cos\omega t$ [11]. Badania tego równania wykazały, że samosynchronizacja generatora elektronicznego Van der Pola może zachodzić przy dowolnie małej amplitudzie zewnętrznego sygnału radiowego, jeżeli tylko rozstrojenie jego częstotliwości względem częstotliwości generatora jest wystarczająco małe.

Samosynchronizacja skurczów serca. Rytmiczne skurcze serca są wynikiem samosynchronizacji skurczów włókien mięśniowych serca. Zaburzenie tej synchronizacji jest przyczyną różnych rodzajów arytmii serca, w tym także niebezpiecznego migotania przedsionków i komór serca.

Pierwszego opisu matematycznego samosynchronizacji skurczów serca dokonał Van der Pol, który wcześniej zajmował się podobnym zjawiskiem samosynchronizacji w elektrotechnice. Dlatego był to opis działania układu analogowego, składającego się z trzech generatorów elektronicznych. Analizując ten układ, Van der Pol objaśnił wiele znanych już rodzajów arytmii serca i przewidział istnienie jeszcze innych rodzajów arytmii, które odkryto później. W następnych latach stworzono bardziej złożony model fizyczny pracy serca, za pomocą którego ustalono, że w czasie migotania przedsionków i komór serca po jego mięśniu przebiegają fale skurczowe w sposób chaotyczny, a nie synchroniczny i rytmiczny, jak dzieje się to w zdrowym sercu.

Współczesna kardiologia wykorzystuje tzw. stymulatory pracy serca. Są to generatory elektroniczne, które wytwarzają słabe prądy zmienne o częstotliwości równej prawidłowej częstotliwości skurczów serca. Wszczepiony pod skórę chorego stymulator włącza się automatycznie przy obniżonej częstotliwości pracy serca i wtedy następuje samosynchronizacja skurczów mięśnia sercowego z pracą generatora elektronicznego. Dzięki temu serce bije rytmicznie z częstotliwością prądu wytwarzanego przez generator.

Samosynchronizacja ruchu planet. Istnieją ogólne idee przypisujące zjawisku samosynchronizacji charakter globalny w skali całego układu słonecznego. Należy do nich hipoteza A. M. Mołczanowa o samosynchronizacji ruchów orbitalnych dużych planet układu słonecznego [8]. W mechanice niebios samosynchronizacją nazywa się istnienie związku między średnimi prędkościami kątowymi ω_i ruchów obrotowych ciał niebieskich, wyrażającego się zależnością

matematyczną $\Sigma n_i \omega_i = 0$, gdzie: n_i — dodatnia lub ujemna liczba całkowita, i — liczba rozpatrywanych ruchów obrotowych. W hipotezie A. M. Mołczanowa założono, że w procesie ewolucji układu słonecznego nieznaczne siły dyssypatywne (tłumiące siły przypływu i odpływu, hamujący wpływ pyłu międzyplanetarnego i in.) doprowadziły do samosynchronizacji ruchu planet na ich obecnych orbitach.

Samoorganizacja układów dynamicznych. Oprócz dwóch przeciwstawnych sobie rodzajów ewolucji układów dynamicznych — chaotyzacji i samosynchronizacji — można mówić o jeszcze jednym typie ewolucji — samoorganizacji. Zjawiska tego nie należy sprowadzać wyłącznie do samoistnego uporządkowania układu w czasie i przestrzeni. Samoorganizacja to również procesy tworzenia się struktur stabilnych jako reakcja na większe lub mniejsze zmiany warunków zewnętrznych oraz struktur zdolnych do rozwoju i rozprzestrzeniania się.

Sprowadzanie samoorganizacji tylko do pewnego rodzaju samosynchronizacji nie wydaje się możliwe także i dlatego, że oba te zjawiska są wynikiem działania jakościowo różnych mechanizmów. Samosynchronizacja jest przejawem współdziałania z sobą podukładów, a samoorganizacja wynika z regulacyjnych i organizacyjnych funkcji sprzężeń zwrotnych całego układu, rozpatrywanego z punktu widzenia teorii informacji.

8. Teoria chaosu a zjawiska społeczne

Systemy społeczne są układami silnie nieliniowymi [6] i otwartymi, a więc spełniającymi warunki konieczne istnienia chaosu zdeterminowanego (p. 4). Stochastyczność zjawisk społecznych nie podlega dyskusji, a poza tym wiadomo, że w określonych warunkach ekonomicznych i politycznych niektóre społeczeństwa zachowują się w sposób nieprzewidywalny i nieoczekiwany. Chaotyzacja zjawisk społecznych jest szczególnie intensywna w czasie kryzysów społeczno-politycznych, których przykładem mogą być kryzysy nękające Polskę od 1956 r. [7] lub gwałtowne przeobrażenia polityczne i ekonomiczne zachodzące obecnie w b. Związku Radzieckim.

Socjalizm realny był z założeń ideologicznych systemem społecznym ściśle zdeterminowanym. Zaczęto go tworzyć w czasach, kiedy paradygmat deterministycznego myślenia był niepodważalny i powszechny. Racjonalistyczne myślenie było wtedy oparte na jeszcze nie podważonej zasadzie przyczynowości, z której wynikało ogólne przeświadczenie o tym, że dzięki nauce można w sposób jednoznaczny przewidzieć nawet odległe w czasie skutki wszystkich działań ludzkich. Wydawało się, że wystarczy postawić przed społeczeństwem dalekosiężne szlachetne cele społeczne, zaplanować sposoby ich osiągnięcia za pomocą metod naukowych, aby potem konsekwentną realizacją planów osiągnąć to, co zamierzano. Zgodnie z zasadą przyczynowości, osiągnięcie szlachetnych celów socjalizmu miało być tylko kwestią czasu. Praktyka społeczna nie potwierdziła tych założeń, ponieważ społeczeństwa nie zachowują się w sposób ściśle zdeterminowany, a ich reakcje są często chaotyczne i niemożliwe do przewidzenia.

Pozbawieni dziś sławy organizatorzy pierwszego państwa socjalistycznego tworzyli jego struktury polityczne i ekonomiczne jako systemy z założenia ściśle zdeterminowane. Stąd powstał pewnik, że gospodarka socjalistyczna musi być

gospodarką planową. Deterministyczne myślenie podpowiadało, że wszystkie cele socjalizmu można osiągnąć za pomocą dokładnie zaplanowanych i bezwzględnie realizowanych działań politycznych i ekonomicznych. Jeżeli tak się nie stało, to wtedy powodów nieskutecznego działania nie szukano w deterministycznych założeniach ustrojowych, lecz przyjmowano politycznie wygodną tezę, że przyczynami niepowodzeń są działania mitycznego wroga klasowego lub tzw. sił imperialistycznych.

W tym czasie wierzono, że dzięki statystyce i metodom probabilistycznym nauka może kontrolować również wszystkie zjawiska stochastyczne występujące w społeczeństwie, a więc może przewidywać ich przebieg i skutecznie na niego wpływać. Był to klasyczny determinizm statystyczny, według którego wszystkie zjawiska podlegają co najmniej ściśle sformułowanym prawom statystycznym. Historia nie potwierdziła przydatności takiego deterministycznego modelu społeczeństwa, natomiast obserwacje i analizy współczesnych społeczeństw skłaniają do oceny ich zachowań jako charakterystycznych dla chaosu zdeterminowanego. Należałoby więc dzisiaj opracować nowy indeterministyczny model społeczeństwa oparty na ogólnych zasadach wynikających z teorii chaosu.

Naturalną cechą każdego społeczeństwa jest dążenie do samosynchronizacji (p. 7), czyli do porządkowania zjawisk chaotycznych. Trywialnym przykładem samosynchronizacji społecznej jest taniec grupowy wykonywany w rytmie wybijanym na bębnie. Przykładami epokowych wynalazków służących do samosynchronizacji czasowej społeczeństwa globalnego są kalendarz i zegar. W dziedzinie gospodarczej funkcje samosynchronizacji spełniają rynek i konkurencja, w organizacji społeczeństw — państwo i prawo. Elementami samosynchronizacji świadomości obywatelskiej są symbole państwowe: flaga, godło i hymn. Ponadnarodowymi systemami samosynchronizacji społeczeństwa globalnego są wielkie religie i współczesne ideologie. Również paradygmaty filozoficzne spełniają funkcje samosynchronizacyjne w rozwoju nauk i światopoglądów.

Samosynchronizacja społeczeństw zmniejsza stopień jego chaotyzacji, porządkuje zachowania zespołów ludzkich, koordynuje ich współdziałanie i tworzy warunki do osiągania określonych celów. Odpowiedni zespół mechanizmów samosynchronizacyjnych może utworzyć taki system samoorganizacji społeczeństwa, który zapewni mu stabilność, rozwój i ekspansję.

Bibliografia

1. Hayashi C.: Drgania nieliniowe w układach fizycznych. Warszawa 1968 WNT.
2. Lorenz E. N.: Deterministic Nonperiodic Flow. „Journal of Atmospheric Sciences" 1963 nr 20.
3. Łączkowski R.: Fenomenologiczny model stateczności strumienia cieczy w rurociągu. „Przegląd Mechaniczny" 1989 nr 5.
4. Łączkowski R.: Identyfikacja chaosu zdeterminowanego. „Pomiary, Automatyka, Kontrola" 1990 nr 8.
5. Łączkowski R.: Nie zdeterminowane zachowanie się mechanizmów nieliniowych. „Przegląd Mechaniczny" 1990 nr 16.
6. Łączkowski R.: Zasada wygładzania i myślenie nieliniowe. „Zagadnienia Naukoznawstwa" 1986 nr 1.

7. Łączkowski R.: Zastosowanie teorii katastrof do analizy polskich kryzysów. „Studia Socjologiczne" 1984 nr 1.
8. Mołczanow A. M.: Sowriemiennyje problemy niebiesnoj miechaniki i astrodinamiki. Moskwa 1973 Nauka.
9. Niejmark J. I., Łanda P. S.: Stochasticzeskije i chaoticzeskije kolebanija. Moskwa 1987 Nauka.
10. Poincaré H.: Les méthodes nouvelles de la méchanique celeste. Paris 1967 Gauthier—Villars.
11. Rabinowicz M. I., Trubeckow D. I.: Wwiedienije w tieoriju kolebanij i woln. Moskwa 1984 Nauka.
12. Schuster H. G.: Deterministic Chaos. Weiheim 1984 Physik — Verlag.

The Theory of Chaos vs. the Rule of Causality

by *R. Łączkowski*

The paper presents the influence of the theory of chaos, being now created, on the paradigm of contemporary scientific thinking. It has been described how from the developing crisis of monopoly of determinism contemporary indeterminism emerged, which in the microworld is now best given expression to in the theory of deterministic chaos. Elementary basis of this theory has been presented on the example of mathematical analysis of so-called rotator which in the theory of chaos has the same function as the oscillator in the theory of vibrations. A characteristic feature of chaotic phenomena has been defined and named the effect of a butterfly and, at the same time, the statement that indeterminist quantum phenomena do not represent the deterministic chaos has been justified. The prerequisites for the rise of the deterministic chaos and the ways of its identification have been mentioned. The paper includes also three scenarios of the rise of chaos and explanation of the idea of strange attractor. Explanation of the phenomena of chaotic systems self-synchronization and self-organization has been supported by a great number of physical, technical and biological examples. The paper ends with the presentation of possibilities to use the theory of chaos for explaining social phenomena.

Теория хаоса и принцип причинности

Р. Лончковски

В данной статье представлено влияние формирующейся в настоящее время теории хаоса на парадигму современного мышления. Описывается, как в результате нарастающего кризиса детерминизма рождается современный индетерминизм, который в макромире в наибольшей степени представлен сегодня теорией детерминированного хаоса. Элементарные основы этой теории показываются на примере математического анализа, так называемого ротатора, который в теории хаоса выполняет такую же роль, как осциллятор в теории колебаний. Определяется характерная черта хаотичных явлений, называемая эффектом бабочки и одновременно обосновывается утверждение, что индетерминистские квантовые явления не представляют детерминированного хаоса. Представляются необходимые условия возникновения хаоса и способы его идентификации. Показаны три сценария возникновения хаоса и объяснено понятие необычного аттрактора. Явления самосинхронизации и самоорганизации хаотичных систем показаны на многих физических, технических и биологических примерах. В итоге статьи представлены возможности использования теории хаоса для объяснения социальных явлений.

ZAŁĄCZNIK 12

BARTŁOMIEJ KAMIŃSKI, MAREK OKÓLSKI

Teoretyczne podstawy modelowania systemu światowego

BARTŁOMIEJ KAMIŃSKI, MAREK OKÓLSKI

Teoretyczne podstawy modelowania systemu światowego

1. Uwagi prowadzające

Obserwowany ostatnio wzrost zainteresowania problemami funkcjonowania i modelowania wielkich, złożonych systemów społeczno -gospodarczych objął swoim zasięgiem problematykę światową. Istniejące zasady funkcjonowania gospodarki światowej, dominacja rynkowych instytucji wzbudzają licznie obawy co do przyszłych kierunków ewolucji światowych stosunków politycznych i gospodarczych. Narasta przekonanie o konieczności podjęcia działań zmierzających do wprowadzenia międzynarodowego ładu ekonomicznego. Zagadnieniem o wielkim znaczeniu jest zaprojektowanie nowych światowych reguł gry. Nie ulega wątpliwości, że jednym z warunków decydujących o sukcesie jest przeprowadzenie rozpoznania: teoretycznego, opracowanie ram konceptualnych przyszłych rozwiązań. Nie stawiamy sobie oczywiście tak ambitnego zamiaru. Ograniczamy się do zagadnień modelowania systemowego[1]

W artykule tym podejmujemy próbę zbadania zasadności wykorzystania dorobku ogólnej teorii systemów do modelowania wielkich systemów społeczno-gospodarczych. Ogólna teoria systemów zakłada pewien sposób postrzegania zjawisk rzeczywistości nie tylko w ich statyce, ale przede wszystkim w układzie dynamicznym. Ewolucja systemu prowadzi do narastania złożoności, sprzyja wykształcaniu się nowych poziomów hierarchicznych i wywołuje różnicowanie funkcji realizowanych przez poszczególne podsystemy. Systemy społeczno-gospodarcze, mimo wkomponowanej w nie inercji utrzymującej istniejące struktury, wyzwalają siły zmieniające zasady ich działania, pchające je do lepszego dostosowania się do swojego środowiska; w przeciwnym wypadku, gdy proces dostosowawczy nie zachodzi - giną. Ogólna teoria systemów kładzie wreszcie nacisk na mechanizm funkcjonowania, zasady określające organizację systemu. W związku z tymi uwagami nasuwa się cały szereg pytań.

[1] Abstrahujemy tu od analiz politycznych leżących u podstaw doktryn równowagi sił. Pomijamy również wielkie analizy strategiczne (w rodzaju przeprowadzonych niegdyś przez H. Kahna czy Z. Brzezińskiego) postrzegające świat przez pryzmat czynników militarnych. W centrum naszego zainteresowania znajdują się studia uwzględniające *explicite* współzależności gospodarcze i kwestię zasobów, podporządkowane idei pokojowego rozwoju gospodarczego.

Czy systemy rzeczywiste można przedstawić w postaci modelowej? Które z możliwych ujęć systemowych rokuje najlepsze nadzieje na skonstruowanie modelu pomocnego w identyfikacji możliwych ścieżek rozwoju świata? Jakiego rodzaju modele najlepiej odtwarzają własności systemów społeczno -gospodarczych itd. Z postawionych pytań widać wyraźnie, że koncentrujemy się nie na identyfikacji składników tzw. problematyki globalnej, lecz na aspektach metodologicznych analiz wielkich systemów egzemplifikowanych modelami świata.

Konstrukcja artykułu podporządkowana jest następującemu schematowi rozumowania. Postrzeganie rzeczywistości w kategoriach ogólnej teorii systemów wywiera piętno zarówno na charakterze stawianych pytań, jak i modeli, które mają pomóc w uzyskaniu wiedzy o badanej rzeczywistości. Wyodrębnione trzy typy modeli (wyjaśniający, predykcyjny oraz sterowania) rozpatrywane są w kontekście systemowych analiz społecznych. Odmienne cele dla których są konstruowane, różne miejsce modeli w analizie systemowej skłaniają do stosowania odmiennych kryteriów oceny. Model uwzględniać musi podstawowe własności badanego za jego pomocą zjawiska w kategoriach systemu. Stąd też pojawia się pytanie, jakie są uniwersalne własności systemów i relacje tychże do ich modeli. Innymi słowy, chodzi o ustalenie czy wyodrębnionym typom systemów można przyporządkować określone *typy* modeli. Stosowana technika modelowania zapewniać musi odtworzenie własności systemu. W związku z tym, że dotychczas opracowane komputerowe modele świata oparte są na dynamice systemów i teorii hierarchii, podejmujemy próbę analizy technik modelowania systemów złożonych z punktu widzenia aparatury poznawczej ogólnej teorii systemów. Stanowi to punkt wyjścia dla określenia użyteczności dorobku ogólnej teorii systemów dla modelowania systemu światowego.

2. Podejście systemowe a modelowanie

Metodologu można rozumieć jako zbiór stosowanych procedur i metod otrzymywania wyników lub też - bardziej ogólnie - jako rację bytu posługiwania się określonym aparatem pojęciowym i zasadami przeprowadzania analizy badanego zjawiska. Zdaniom wielu przedstawicieli nauk społecznych do stworzenia podstaw metodologicznych analiz złożonych organizmów społeczno -ekonomicznych jest szczególnie predestynowana teoria wielkich systemów. Teoria wielkich systemów jest jednym ze składników tzw. podejścia

systemowego.

Przez *podeście systemowe* rozumie się ogólne dyrektywy metodologiczne wiążące się z dorobkiem teorii informacji, teorii decyzji oraz technikami analizy systemowej. R. Johnson i współautorzy podkreślają, że istota technik analizy systemowej wyraża się *w modelowaniu*[2]. Konstrukcje modelowe są zatem podstawowym składnikiem analizy systemowej. Uwaga ta wstępnie tłumaczy przyczyny częstego operowania terminem: modelowanie systemowe. Pogląd R. Orcharda głoszący, że ogólną teorię systemów można stosować do badania wszystkich skończonych systemów, gdyż zawiera ona ogólne zasady metodologiczne umożliwiające analizę oraz syntezę poszczególnych systemów rozumianych jako zbiory sprzężonych ze sobą elementów, zdaje się zdobywać coraz. więcej zwolenników wśród ekonomistów i socjologów[3]. Nie wnikając na razie w przyczyny nadziei integracyjnych w nauce wiązanych z podejściem systemowym, odnotujmy, że sformułowana przez Orcharda własność ogólnej teorii systemów zawiera w sobie postulat z jednej strony niezależności sformułowanych w jej ramach koncepcji, z drugiej zaś - zależności tych koncepcji od konkretnych zastosowań. Teoria ta powinna mieć charakter formalny, czyli wyniki powinny być otrzymane na drodze przekształceń formalnych. W takim ujęciu ogólna teoria systemów podlegałaby kryteriom prawdziwości charakterystycznym dla matematyki czy logiki.

Przedstawiciele ogólnej teorii systemów głoszą jedność wielkich systemów przyrody i społeczeństw. Jedność ta nie jest pojmowana jako wytyczna poszukiwania analogii indywidualnych funkcji organizmów żyjących i społecznych. We współczesnych ujęciach nacisk kładziony jest na wizję kompleksową, globalną. Komórka, organizm i państwo stanowią przykłady systemów, czyli zbiorów elementów powiązanych ze sobą przepływami energii i informacji. Systemy te poddaje się „modelowaniu"[4]. Można je analizować w kategoriach struktur zdolnych do samoodtwarzania i przetrwania w różnych warunkach otoczenia. J. de Rosnay, autor traktatu poświęconego modelowaniu różnych systemów, podkreślając niezależność oraz jednocześnie szerokie zastosowanie tych samych narzędzi budowy modeli systemowych, mówi o istnieniu instrumentarium makroskopu, a więc o

---

[2] Por. R.. A. Johnson, W. T. Newell, R. C. Virgin, *Operations Management. A Systems Concept,* Boston 1973, s. 14.

[3]Por. R. A. Orchard, On an Approach to General Systems Theory, [W:] Trends in General, Systems Theory, (red. G. J. Klir), New York 1972, s. 298.

[4] Wydaje się, że trafnie pojęcie modelowania zdefiniował radziecki cybernetyk I. B. Nowik. „Według naszego mniemania - pisze on - przez modelowanie rozumieć należy metodę upośrednionego, praktycznego lub teoretycznego operowania obiektem, podczas którego korzysta się z pomocniczego, pośredniego, sztucznego lub naturalnego „quasi-obiektu" (modelu), który pozostaje w pewnym obiektywnym stosunku do obiektu poznawczego, może go pod określonymi względami zastępować oraz daje, jeśli się go bada, w ostatecznym wyniku informację o samym modelowanym obiekcie". I. B. Nowik, *Gnoseologiczna charakterystyka modeli*

uniwersalności technik modelowania[5]. Stwierdzenia te skłaniają do bliższego przyjrzenia się charakterystykom analizy systemowej, w ramach której często wprowadza się rozróżnienie między *analizą ilościową i* jakościową.

G. Fisk podaje główne cechy jakościowej analizy systemowej. Na analizę tę składają się następujące etapy: 1) ogólny opis kompleksu współzależności, 2) zdefiniowanie organicznych powiązań charakteryzujących działanie systemu na gruncie multidyscyplinarnym, 3) wyodrębnienie elementów i zmiennych krytycznych oraz opracowanie modelu zależności logicznych[6]. Jak widać zatem, w wyniku zastosowania jakościowej analizy systemowej powinno się otrzymać jakby mapę podstawowych współzależności charakteryzujących badane zjawisko, traktowane jako system.

Na szczeblu analizy jakościowej wprowadza się często wymiar pionowy wyrażający się w dążeniu do identyfikacji hierarchii i sformułowania hipotez o zależnościach między kolejnymi szczeblami. Zasygnalizujemy, że w niektórych modelach systemu światowego wykorzystuje się hierarchiczną podejście wieloszczeblowe[7].

Analiza ilościowa, stanowiąca konsekwencję jakościowego rozpoznania własności badanego systemu, składa się z następujących elementów: 1) konstrukcja modelu, 2) weryfikacja modelu oraz 3) wykorzystanie modelu dla analizy systemowej. Przyjrzyjmy się bliżej zaproponowanym przez G. Fiska elementom analizy ilościowej.

Konstruując model systemowy wyodrębnia się i wiąże ze sobą cechy uznane za istotne z punktu widzenia badanego zjawiska w fazie analizy jakościowej. Na etapie analizy ilościowej punkt ciężkości przesuwa się na identyfikację możliwych wartości zmiennych. Ilustruje to wiernie procedura formalizacji zaproponowana przez M. Mesarovica[8]. Załóżmy, że wybraliśmy skończony zbiór cech P_1, P_2,..., *Pn*. Każdy z elementów tego zbioru może przyjąć następujące wartości

$$p_1 = \{p_{11}, p_{12}, \ldots, p_{1k}\}$$
$$p_2 = \{p_{21}, p_{22}, \ldots, p_{2k}\}$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$p_n = \{p_{n1}, p_{n2}, p_{ns}\}$$

---

cybernetycznych, [W:] *Perspektywy cybernetyki, głosy uczonych radzieckich,* Warszawa 1965, s. 123.

[5] Por. J. de Rosnay, *Le Macroscope,* Paris 1976

[6] G. Fisk, System Analysis as an Aid to Business Menagement, [W:] The Anatysis o f Business Systems, Londyn 1967, s. 119.

[7] Por. M. D. Mesarovic, E. Pestel, *Mankind at the Turning Point,* New York 1974. Zagadnienie to omawiamy szerzej w części poświęconej modelowaniu systemów hierarchicznych.

Rozpatrywany model systemowy dla skończonego zbioru cech można ująć następująco

$$S \subset P_1 \times P_2 \times, \ldots, \times P_n$$

Z punktu widzenia matematycznego system jest relacją zbiorów analizowanych cech. „System zatem - jak zauważa Mesarovic - jest sumą wszystkich możliwych kombinacji, jakie mogą zachodzić między obiektami (charakterystykami – B.K.M.O.) systemu"[9]. Matematyczne modele systemów ekonomicznych przedstawiane są za pomocą układu równań.

Strategia wykorzystania teorii wielkich systemów do badania zależności rzeczywistych łączy w sobie dwa składniki: analizy polegającej na dedukcyjnym ustaleniu własności badanego systemu oraz syntezy wyrażającej się w skonstruowaniu modelu rozpatrywanego fragmentu rzeczywistości. Na gruncie automatów i języków formalnych analiza polega na znalezieniu języka akceptowanego przez dany automat, natomiast synteza wyraża się «- skonstruowaniu automatu akceptującego dany język. Analogia ta jest przejrzysta[10].

Cechą charakterystyczną modeli systemowych jest prezentowanie badanych obiektów w kategoriach ich struktury i zasad działania (funkcji). Ma to swoje uzasadnienie w charakterze ujęć proponowanych na gruncie teorii systemów. Podstawy filozoficzne teorii systemów jako metody poznawczej znakomicie oddaje często cytowane powiedzenie Arystotelesa, że całość nie jest sumą części. C. West Churman stwierdzając, że istotą podejścia systemowego jest wymiana poglądów pomiędzy różnymi koncepcjami i naświetlanie różnych punktów widzenia, w istocie wskazuje na to, że pominięcie pewnych aspektów oraz fragmentaryzacja badanego zjawiska prowadzi do zniknięcia czegoś podstawowego przesądzającego o działaniu rozpatrywanego systemu. Modele systemowe mają zatem na celu odtworzenie mechanizmu tłumaczącego rzeczywiste działanie rozpatrywanego obiektu w czasie, czyli jego struktury przestrzennej i funkcji w czasie[11]. Nasuwa się szereg pytań: co oznacza odtworzenie mechanizmu działania zjawiska traktowanego jako system, jakie kryteria stosować dla ustalenia stopnia w jakim odtworzono rzeczywistość i jak dalece można wnioskować o rzeczywistości na podstawie jej modelu. Zagadnienia te, poruszane często, w literaturze poświęconej teorii modelowania zasługują na uwagę w kontekście przeprowadzonych wyżej

---

[8] M. D. Mesarovic, *System Theory and Biology -- View* of a *Theoretician, [W:] Systems Theory and* Biology, Ed. M. D. Mesarovic, New York 1968.

[9] D. Mesarovic, *Rozwój matematycznej teorii systemów- ogólnych,* „Prakseologia" 1973, nr 46, s. 50.

[10] Interesujące uwagi o formułowaniu problemów w ramach ogólnej teorii systemów znaleźć można [W:] H. Nurmi, Some *Lessons from the Study of Biological Systems* for *the Modelling of Social Systems, [W:] Progress in Cybernetics and Systems Research,* London 1975, s. 237-246.

rozważań.

3. Charakterystyki modeli

Niezależnie od celów analizy różne rodzaje modeli przyczyniają się zawsze do redukowania złożoności badanego obiektu. Gdyby model zawierał w sobie „całą wiedzę" o badanym zjawisku, przestałby być narzędziem poznania tego zjawiska. Celem poznania może być wyjaśnienie stanu aktualnego, przewidywanie przyszłych stanów oraz sterowanie danym zjawiskiem. W zależności od przyjętego celu można wyróżnić *modele objaśniające, predykcyjne oraz sterowania.* O ile w klasycznych naukach przyrodniczych funkcja wyjaśniania jest w zasadzie tożsama z predykcją i czysto sterowalnością, to rozróżnienie to nabiera szczególnego znaczenia, gdy uwzględni się cechy specyficzne nauk społecznych. Spróbujemy pokazać, że dla każdego z wyodrębnionych typów modeli należy posługiwać się odmiennymi kryteriami oceny oraz że każdy z tych typów musi cechować odmienność struktury.

Zasadniczą funkcją modeli objaśniających jest znalezienie przekształcenia umożliwiającego systematyczne wyjaśnienie zależności między wielkościami wejściowymi i wyjściowymi[12]. Innymi słowami dobroć modelu oceniana jest wg kształtowania się odchyleń wielkości wejściowych modelu od wielkości rzeczywistych.

Operując określeniem dziej stechnicyzowanym, ich funkcja polega na poszukiwaniu najlepszego estymatora umożliwiającego wyjaśnienie badanego zjawiska na gruncie danej teorii. Odnotujmy, że termin wyjaśnianie obciążony jest znaczną dowolnością, a przyjęcie kryteriów statystycznych jest tylko częściowym rozwiązaniem problemu.

Stworzenie modelu spełniającego przyjęte kryteria nie musi być równoznaczne ani z tym., że jest to jedyny model, ani że jest to „dobry model". Pojawiające się ograniczenia wiążą się z jednej strony z akceptowalnością teoretyczną modelu, z drugiej zaś z zakresem badanych zmiennych rzeczywistych. Absolutny brak zgodności z teorią i niemożność opracowania nowej, wewnętrznie zgodnej teorii tłumaczącej model bez wprowadzania założeń sprzecznych z obserwacjami, powoduje odrzucenie modelu. Drugi problem występuje

---

[11] Zdaniem E. Laszlo wkład ogólnej teorii systemów „... wynika z odrzucenia tradycyjnych koncepcji substancji, rzeczy, idei lub ducha na rzecz wychwytania zjawisk w kategoriach ich organizaci", Por. E. Laszlo, A Strategy for the Future, The Systems Approach to World Order, New York 1974, s.17.

[12] Możliwość przeprowadzenia klasyfikacji na wielkości będące produktem działania danego systemu i wielkości generowane przez otoczenie jest - obok ustalenia zasady transformacji par wejść i wyjść - warunkiem sterowalności badanego systemu. Por. T. Kasprzak, B. Kamiński, *Analiza systemowa organizacji,* „Prakseologia" 1972, nr 44, s. 56 i 57.

szczególnie ostro w odniesieniu do modeli symulacyjnych, które korygowane są na podstawie obserwacji wyników modelu i wielkości rzeczywistych, w zależności od hipotez parametrów odwzorowujących zachowanie się otoczenia. Uzyskanie zadowalającej zgodności wielkości wyjściowych z rzeczywistymi uprawnia co najwyżej do wyciągnięcia wniosku, że skonstruowany model zachowuje walor dla zbadanych klas otoczenia[13].

Modele predykcyjne konstruowane są w celu ich wykorzystania do przewidywania przebiegu badanego zjawiska w przyszłości. Niektórzy metodolodzy głoszą pogląd, który sprowadzić można do następującego powiedzenia: wiedzieć to znaczy przewidywać, nie móc przewidzieć - to znaczy nie wiedzieć[14]. Jeśli zatem nie potrafimy objaśnić realiów, możliwości przewidywania są przekreślone i *vice versa.* Stwierdzenie to stoi w jaskrawej sprzeczności z cechami szczególnymi nauk społecznych, z charakterem rozwoju systemów społeczno-gospodarczych. Podstawową cechą charakterystyczną współczesnych społeczeństw jest ciągła zmiana. Rzeczywistość społeczna ulega z jednej strony zmianie w wyniku ingerencji człowieka, z drugie j zaś jest tworem współdziałania ludzi. Prawidłowa diagnoza nie przesądza jednoznacznie o możliwości predykcji. Predykcja wreszcie może procesy społeczne prowadzące do jej przekreślenia. Odnosi się wrażenie, że postawienie znaku równości między predykcją a wyjaśnieniem prowadzi do sytuacji, w której predykcja oznacza potwierdzenie tego, co znane, a nie poszukiwanie nowej wiedzy o przyszłości[15]. Łatwo zauważać, że zasadnicza trudność w weryfikacji modeli predykcyjnych w odróżnieniu od modeli wyjaśniających wyraża się w tym, że przyszłość nie posiada bytu realnego[16].

Dla zilustrowania problemów związanych z wyjaśnieniem i przewidywaniem rozpatrzymy następujący przykład. Przyjmijmy, iż rozpatrywany system wyjaśnia przedstawiony schematycznie poniżej model probabilistyczny.

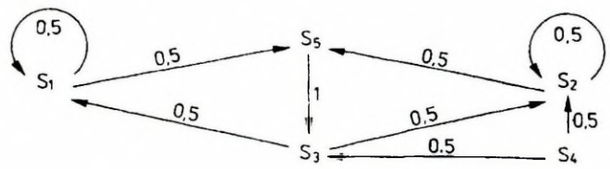
---

[13] Znajduje to uzasadnienie w tym, że badaną funkcję ustala się przeważnie na podstawie różnych mechanizmów wewnętrznych badanego zjawiska. Przechodzenie w modelowaniu od jednej funkcji do innej jest możliwe dzięki temu, że to samo zachowanie może być realizowane przez różne struktury wewnętrzne. Por. I.B.Nowik, op.cit.,s.127 i dalsze.

[14] Wyczerpującą krytykę takiego podejścia na przykładzie koncepcji de Groot'a przeprowadza F. L. Polak, *Prognostics, A Science in the Making Surveys and Creates Lhe Future,* New York 1971, s. 92 i dalsze.

[15] Kryteria oceny modeli prognostycznych na przykładzie opracowanych modeli globalnych dyskutowane są w pracy: E. Kamiński, M. Okólski, *Polska wobec podstawowych problemów gospodarki światowej,* Instytut Nauk Ekonomicznych Uniwersytetu Warszawskiego, materiał powielony, 1975.

[16] Nieco inaczej zagadnienie związków między przewidywaniem a wyjaśnieniem ujmuje J. O'Shaughenessy. Przewidywanie sprawdzane jest na podstawie oceny, w jakim stopniu była ona trafna w przeszłości. Dla wielu celów jego zadaniem, przewidywanie pozbawione podstaw wyjaśniających może okazać się wystarczające, szczególnie wówczas, gdy zakładamy brak wpływu na przebieg procesów w przyszłości. Por. J.O'Shaughenessy, *Metodologia decyzji*, Warszawa 1975 s.225 I dalsze.



Rys. 1

Rys.1

Wszystkie prawdopodobieństwa przejścia (pozostania) z jednego stanu do drugiego wynoszą 0,5. Przypuśćmy, że w czasie t wystąpił stan S_1, a w t-3 stan S_4 . Wówczas na podstawie schematu przejścia oraz znajomości stanu t-3 można łatwo wyjaśnić pojawienie się stanu S_1.

Model ten jednak nie posiada żadnych własności predykcyjnych: w czasie t+1 może wystąpić stan S_5 lub stan S_1 z jednakowym prawdopodobieństwem. Stanowi to bez wątpienia argument przeciwko utożsamianiu wiedzy z predykcją i odwrotnie. Zauważmy ponadto, że wiedza o wystąpieniu stanu S_4 pozwala na stwierdzenie, że stan ten nigdy więcej nie wystąpi.

Odmienne zapotrzebowanie informacyjne stwarzają modele sterowania opracowywane dla potrzeb kierowania działaniami (polityki gospodarczej i planowania). Zdolności wyjaśniania i przewidywania modelu nie są wystarczające, aby model mógł być wykorzystany procesie sterowania. Przynajmniej niektóre zmienne modelu muszą podlegać kontroli. Stąd wynika konieczność precyzyjnego określenia zmiennych sterowalnych, niesterowalnych oraz zmiennych reprezentujących cele działania, jak też zidentyfikowanie stopnia wrażliwości systemu na zakłócenia pochodzące z otoczenia reprezentowanego przez zmienne niesterowalne i - w pewnym zakresie - zmienne celu[17].

Główny nacisk w grupie modeli, które umownie określiliśmy jako modele sterowania, jest położony na efektywność działań, czyli stopień realizacji celów systemu za pomocą danego modelu. Nasuwa się zatem pytanie, w jakim stopniu zdolność wyjaśniania rzeczywistości stanowi przesłankę skutecznego działania. Znajomość związków przy czynowo-skutkowych nie jest tożsama z możliwością oddziaływania na nie, choć intuicyjnie można zauważyć, że wiedza stanowi niezbędny warunek zapewniający zgodność oczekiwań z otrzymanymi rezultatami. Uwaga ta jednak nie przesądza jednoznacznie o warunkach sterowalności modelu

[17] Powyższe uwagi dotyczące typów modeli syntetycznie oddaje klasyfikacja zaproponowana przez B. Michalewskiego. Pot. B. Michalewski, *Dynamiczne modele wzrostu makroekonomicznego i prognozy gospodarczej, [W:] Problemy metodologii prognozowania,* red. A. Siciński, J. Gzula, Warszawa 19 7 6, s. 262.

odwzorowywującego system rzeczywisty. Wcześniej stwierdziliśmy, że wielkości empiryczne mogą być odtworzone za pomocą wielu modeli (zasad transformacji). Wynika stąd, że znajomość struktury rozumianej jako ciąg operacji nie jest wystarczająca do ustalenia efektywnego programu działania.

Na gruncie ogólnej teorii systemów wyróżnia się dwie koncepcje opisu systemu. Pierwsza głosi, że każdy system można w sposób wyczerpujący opisać w kategoriach wielkości wejściowych i wyjściowych[18]. Trzymając się oznaczeń wprowadzonych do wyjściowego zapisu modelu systemu, w zbiorze cech P_t wyróżnić można wielkości wejściowe - bodźce $P_{w,,}$ oraz wielkości wyjściowe-reakcje P_o. System jest relacją wielkości wejściowych i wyjściowych.

$$S \subset P_0 \times P_w$$

Druga koncepcja formalnego opisu systemu wiąże się wprost z podejściem decyzyjnym, teleologicznym, wyrażającym się w poszukiwaniu modeli dla potrzeb sterowania wyodrębnionym systemem. W ujęciu tym systemowi przypisuje się własność zachowania celowego. Reakcje wiązane są z bodźcami w ten sposób, aby system podążał w wyznaczonym kierunku. Własność zachowania się celowego pochodzi z zewnątrz[19]. Innymi słowy, rozpatrywany system nie musi być świadomy kierunku swojego podążania. Wprowadzenie celu nadrzędnego jest uzasadnione tylko w tym zakresie, w jakim wyjaśnia ono działanie rozpatrywanego systemu. Mesarovic zdaje sobie sprawę z umowności przyjmowanego celu, gdy stwierdza: „Nie bardzo właściwie można spierać się, czy system rzeczywiście podąża za takim celem, czy też nie"[20].

Opisanie systemu celowego wymaga wprowadzenia obiektu decyzyjnego M, obiektu wartościującego V oraz następujących funkcji:

---

[18] M. D. Mesarovic, *Rozwój matematycznej teorii systemu ogólnych*, op.cit., s. 51. i dalsze.

[19] Własność celowego zachowania i jego rolę metodologiczną trafnie formułuje F. J. Ayala. „wytłumaczenia teleologiczne, formułowane w kategoriach funkcji i wartości adaptacyjnych, są konieczne dla pełnego zrozumienia systemów żywych. Strukturę i nawet działanie skrzydła ptaka można wyjaśniać w kategoriach przyczynowych meteleologicznych. Jeśli jednak nie wskażemy, że skrzydła służą lataniu i jeśli nie opiszemy w jaki sposób skrzydła stopniowo rozwijały się na drodze ewolucji właśnie ze względu na to, że skrzydła służą lataniu, wówczas pominiemy podstawowy element dla wy jaśnienia ewolucji. Skrzydła istnieją, *ponieważ* skrzydła i ich struktury dziedziczne zwiększyły zdolność adaptacji organizmów w nie wyposażonych". F. J. Ayala, *Comments on 1~7ethodology in the Physical, Biological and* Social *Sciences,* [W:] Global Systems *Dynamics,* (red. E. Q. Attinger), Basel 1970, s. 31. W teoriach makroekonomicznych znaleźć można szereg przykładów hipotez postulujących teleologiczne zachowanie przedmiotów gospodarczych. Np. założenie maksymalizacji zysku przedsiębiorcy kapitalistycznego umożliwia wyjaśnienie dynamiki ruchu formacji kapitalistycznej, chociaż ta czy rzeczywiście jednostki gospodarcze maksymalizują zysk jest w kontekście tej analizy zagadnieniem drugoplanowym

[20] M.D.Mesarovic, op.cit., s.53

$$\textit{wyniku} \qquad P : P_w \times M \rightarrow P_0$$
$$\textit{realizacji} \qquad G : M \times P_0 \rightarrow V$$

Wynik formułowany jest jako rezultat decyzji podejmowanych w zależności od wielkości bodźców pojawiających się na wejściu rozpatrywanego systemu. Funkcja realizacji natomiast wiąże wyniki z przypisywanymi im wagami (w przypadku zadań optymalizacyjnych funkcję realizacji utożsamiać można z funkcją kryterium). Innymi słowy, funkcja ta rejestruje stopień osiągnięcia stawianych celów. W modelach systemu „wejście wyjście" wprowadza się rozróżnienie między zmiennymi endogennymi i egzogennymi, oraz zakłóceniami zewnętrznymi.

Zaproponowane przez Mesarovica metody opisu systemów nie są równoważne. Wydaje się, że wybór sposobu formalnego opisu systemu zależy od celów, jakie przyświecają konstrukcji modelowej. Ograniczenie się do opisu systemów w kategoriach zależności wielkości wejściowych i wyjściowych (charakterystyczne m.in. dla modeli ekonometrycznych) wydaje się szczególnie użyteczne dla budowy modeli wyjaśniających.

Zachowanie celowe stanowi wynik interakcji systemu celowego oraz otoczenia. Decyzje podejmowane są w ten sposób, aby przy danym zbiorze obserwacji zrealizować cel systemu; minimalizację lub maksymalizację funkcji realizacji G. Natomiast wówczas, gdy poszukuje się „napędu pierwotnego", celu systemu oraz najlepszych sposobów osiągania celu, opis systemu w kategoriach celowości oddaje większe usługi. Innymi słowy, model skonstruowany dla potrzeb sterowania uwzględniać musi istnienie obiektów wartościującego i decyzyjnego. W tym przypadku istotne jest rozróżnienie między narzędziami oraz celami, czyli funkcjami wyniku oraz realizacji, w przeciwieństwie do podejścia „wejście - wyjście" wyróżniającego zmienne endogeniczne i egzogeniczne oraz zakłócenia zewnętrzne, losowe.

Stwierdziliśmy wcześniej, że znajomość struktury stanów przejścia rozumianej jako ciąg operacji i wyników nie przesądza jednoznacznie o sterowalności modelu systemowego. Interesujące rozważania poświęcone temu zagadnieniu znaleźć można w pracy G. Klira[21]. Wskazuje on na istnienie dwóch rodzajów struktur: struktury stanów przejść oraz struktury przestrzeni rozpoznanych powiązań między elementami *(universe of discourse couplings structure).* Przestrzeń rozpoznanych powiązań stanowi syntezę dostępnej wiedzy o działaniu wyizolowanych elementów rozpatrywanego systemu. Na podstawie tej wiedzy możliwe jest przeprowadzenie eksperymentów umożliwiających ocenę sterowalności (funkcji realizacji)

[21] Por. G. J. Klir, *An Approach to General Systems Theory,* New York 1969.

systemu reprezentującego zbiór sprzężonych ze sobą elementów. Zdaniem Klira, warunkiem sterowalności danego systemu jest określenie zarówno struktury przejść, jak i przestrzeni rozpoznanych powiązań. Zagadnieniem bezpośrednio związanym ze sterowalnością danego systemu, efektywnością modelu opracowanego dla potrzeb skutecznego działania, jest problem zakresu w jakim dany model ma odwzorowywać strukturę rzeczywistości.

Warunki sterowalności sformułowane przez Klira dotyczą w zasadzie modelowych odwzorowań badanego systemu (np. eksperymentowania na modelach symulacyjnych) i nie orzekają jednoznacznie o sterowalności systemu rzeczywistego. Różnica jest istotna, gdy ż w przypadku posługiwania się modelem poruszamy się przede wszystkim w sferze struktur symbolicznych czyli opisów zależności faktów, zjawisk fizycznych. Dla modeli sterowania istotne jest prześledzenie zależności struktur fizycznych i symbolicznych. Ograniczymy się do rozpatrzenia dwóch skrajnych sytuacji: 1) niezależności systemu rzeczywistego (fizycznego) od modelu (systemu symbolicznego) przy jednoczesnym pełnym podporządkowaniu opisu strukturze fizycznej oraz 2) gdy badany system znajduje się pod wpływem lub kontrolą modelu. W sytuacji (1)[22], nawet jeśli skonstruowany model w pełni wyjaśnia strukturę fizyczną, nie istnieje możliwość oddziaływania na nią; co najwyżej można precyzyjnie przewidzieć przyszłe stany badanego systemu. Istnienie interakcji między strukturą fizyczną a symboliczną, tak charakterystyczne dla systemów społeczno-gospodarczych wyraża się w tym, że choć systemu nie można w pełni opisać można nim w pewnym zakresie sterować. Krańcowa sytuacja (2) zakłada pełne podporządkowanie systemu rzeczywistego modelowi. Odnotujmy występowanie trudności nie do pogodzenia wynikającej z przeciwstawienia doskonałej predykcji (sytuacja 1) z doskonałą sterowalnością stanu rzeczywistego (sytuacja 2). Sterowanie może się bowiem pojawić jedynie wówczas, gdy istnieją alternatywy, podczas gdy predykcja opierać się musi na założeniu jednego wariantu przyszłościowego. Wyprzedzając rozważania przeprowadzone w dalsze j części można stwierdzić, że działanie złożonych systemów - choć brzmi to paradoksalnie - łatwiej poddaje się sterowaniu niż przewidywaniu.

Model będący z definicji uproszczonym przedstawieniem badanego zjawiska i służący wyjaśnieniu spełnia funkcje redukowania jego złożoności. Za prostotą jako jednym z kryteriów oceny modelu przemawia również większa czytelność modelu i łatwość posługiwania się nim w różnych fazach analizy. Zakres zjawisk uwzględnianych w modelu

---

[22] Dla tej sytuacji charakterystyczne jest np. neutonowskie pojmowanie natury. Takie kategorie jak czas, przestrzeń miały swój własny byt niezależny od zasad opisu. Por. N. Wiener, *Cybernetyka czyli sterowanie i komunikacja w zwierzęciu i maszynie,* Warszawa 1971, roz. I i II

nie przesądza o jego użyteczności, choć ta ostatnia zależy od celów dla jakich konstruowany jest dany model.

W podsumowaniu tej części, w której skoncentrowaliśmy się na rozszyfrowaniu dwu pierwszych etapów ilościowej analizy systemowej warto zwrócić uwagę na następujące zagadnienia:

1. Wynik modelowania stanowiącego podstawowy składnik podejścia systemowego zależy od celów przeprowadzanej analizy. Gdy celem jest wyjaśnienie badanego zjawiska, skonstruowany model ma odpowiedzieć na pytanie, dlaczego jest tak, a nie inaczej. Modele predykcyjne mają dostarczać rozstrzygnięć o przebiegu zjawisk w przyszłości, a modele sterowania - określić następstwa alternatywnych strategii.
2. Na gruncie nauk społecznych wyjaśniania nie stanowi procesu logicznego, izomorficznego w stosunku do przewidywania. Przewidywanie jest tylko jednym z możliwych sposobów potwierdzenia „dobroci" modelu wyjaśniającego. Z jednej strony przewidywanie bez wyjaśnienia może być adekwatne dla wielu zjawisk, z drugiej zaś wyjaśnienie nie gwarantuje doskonalej przewidywalności (por. przedstawiony wyżej przykład systemu probabilistycznego).
3. Modele sterowania nie mogą się obejść bez wyjaśniania i przewidywania. Zrozumienie funkcjonowania badanego odcinka rzeczywistości stanowi jeden z Warunków uchronienia się przed bierna akceptacją przewidywanej przyszłości.
4. Wyjaśnianienie rządzi się nieco odmiennymi prawami od przewidywania i sterowania; w efekcie odpowiednie typy modeli oceniane są według odmiennych kryteriów. Weryfikacja założeń, wartości zmiennych i zależności tworzących strukturę modelu leży u podstaw kryteriów oceny modeli wyjaśniających. Modele predykcyjne, o ile nie są oparte na modelach wyjaśniających, sprawdzane są na podstawie doświadczeń z posługiwania się nimi w przeszłości. Modele sterowania określające kierunki podejmowanych działań uwzględniać muszą elementy wyjaśniania rzeczywistości (strukturę przestrzeni powiązań elementów) oraz komponenty normatywne związane z oceną decyzji generowanych przez model.
5. Podanie wyczerpującego opisu badanego systemu rzeczywistego nie jest tożsame i niezbędne dla sterowania systemu. Z wcześniej przeprowadzonych rozważań wynika, że założenia idealnego determinizmu (pełna znajomość zasad i kierunków działania systemu, przy braku jakiegokolwiek nań wpływu) nie dają się pogodzie: z modelowaniem dla potrzeb sterowania. Aby sterować systemem, niezbędne jest dysponowanie więcej niż jednym wariantem trajektorii jego wielkości wyjściowych.

4. Własności systemów a modelowanie

W poprzedniej części główny nacisk położono na prześledzenie formalnych własności modeli systemowych i wynikających stąd kryteriów ich oceny. Obecnie prześledzimy klasy wyróżnianych systemów rzeczywistych w aspekcie technik modelowania umożliwiających odtworzenie cech systemu. Za R. L. Ackoffem[23] przyjmujemy rozróżnienie następujących elementów analizy naukowej : narzędzi rozumianych jako *hardware* (np. tablice logarytmiczne, elektroniczne maszyny cyfrowe itp.), technik określających sposób posługiwania się narzędziami oraz metod precyzujących zasady, na podstawie których dokonuje się wyboru technik analizy. W tej części skoncentrujemy się na relacji własności systemów oraz technik analizy w powyższym znaczeniu tego terminu.

Jedna z podstawowych dyrektyw sformułowanych w ramach ogólne teorii systemów nakazuje podporządkowanie wyboru techniki własnościom mechanizmów rządzących działaniem danego systemu. Łatwo zauważyć, że wybór techniki analizy i narzędzi badawczych zakłada przyjęcie pewnych apriorycznych założeń o badanym systemie. Na przykład, posługując się rachunkiem różniczkowym zakładamy ciągłość, doskonałą podzielność. Dla pewnych typów analiz jest to zabieg w pełni uprawniany, podczas gdy w innych przypadkach prowadzić może do karykaturalnych wyników. W znacznej mierze uzasadnione są twierdzenia, że wybór techniki analizy, zastosowana metoda przesądza często o wartości skonstruowanego modelu. O wyborze techniki decydować powinny cechy charakterystyce badanego fragmentu rzeczywistości, co podkreślaliśmy w części poświęconej kryteriom oceny modelu. Starowi to jeden z powodów, dla którego warto poświęcić nieco miejsca własnościom systemów społeczno - gospodarczych w ujęciu, w jakim są one postrzegane przez pryzmat podejścia systemowego.

Podstawowym wyróżnikiem systemu jest jego *złożoność*. W literaturze przedmiotu podkreśla się, że systemy społeczno - gospodarcze są systemami o najwyższym stopniu złożoności. Chociaż trudne jest ściśle zdefiniować pojęcie złożoności, uwzględnienie tej własności rodzi liczne konsekwencje metodologiczne.

Złożoność kojarzy się z nieokreślonością działania systemu, z trudnościami analitycznego opisu systemu. Cybernetyk radziecki A. J. Lerner odnotowując, że „... charakterystycznymi własnościami takiego systemu (systemu wielkiego - ***B.K.***, ***M.O.***) jest występowanie

---

[23] R. L. Ackoff, *Decyzje optymalne w badaniach stosowanych,* Warszawa 1969, s. 20.

odrębnych części, udział w systemie ludzi, maszyn i środowiska naturalnego, obecność materiałowych, energetycznych i informacyjnych związków między poszczególnymi częściami systemu, a także połączeń zewnętrznych rozważanego systemu z innymi systemami", na piec wszy plan wysuwa nieokreśloność działania[24]. Pojęcie systemu wielkiego jest dla niego tożsame ze sposobem rozpatrywania systemów uwzględniającego całą ich złożoność. Podkreśla on, że „... do charakterystycznych własności ujęcia systemowego należy także uwzględnianie mniejszej lub większej nieokreśloności zachowania systemu jaka całości oraz poszczególnych jego części"[25]. Rozpoznanie złożoności systemów społecznych leży również u podstaw sformułowanej przez twórcę dynamiki systemów J. W. Forrestera tezy o antyintuicyjnym zachowaniu się systemów społecznych. Modele, którymi posługują się ludzie, nie są w stanie odtworzyć całej złożoności systemu. „Moja podstawowa teza głosi - pisze Forrester - że umysł ludzki nie potrafi zinterpretować zachowania systemów społecznych. Nasze systemy społeczne należą do klasy wielopętlowych, nieliniowych systemów sprzężeń zwrotnych[26]. Zaproponowaną przez niego technikę analizy, mającą zlikwidować - używając określenia R. Bellmana - przekleństwo nadwymiarowości i złożoności, naszkicujemy w dalszej części. Złożoność systemu przejawia się zatem w tym, że zmiany powstające w jakimkolwiek jego elemencie powodują zmiany w działaniu całego systemu.

Podstawowe zależności związane z własnością złożoności powstają na styku system-środowisko. W systemach działających każdy z podsystemów stanowi zarazem składniki otoczenia (środowiska) innego podsystemu. Jeżeli zatem rozpatrujemy zdolność danego systemu do przetrwania, co stanowi kluczowy problem w podejściu systemowo-cybernetycznym, to dotyczy to zdolności do przetrwania wszystkich elementów systemu rozpatrywanych w ich podwójnej funkcji - z jednej strony jako elementów systemu, z drugiej zaś niezależnie jako komponentów środowiska. Wychodząc z tego punktu widzenia wyodrębnić można dwa skrajne środowiska o następujących cechach:

a) brak zależności między częściami składowymi środowiska (w wersji neoklasycznej teorii ekonomii najbliższy tej kategorii środowiska jest model rynku doskonałego pozbawiony istnienia efektów zewnętrznych),

b) istnienie zmieniających się w czasie zależności wywołujących samoistne procesy w środowisku, niezależne od pierwotnych zamierzeń. Znajomość „zasad konstrukcyjnych"

---

[24] A. J. Lerner, *Zarys cybernetyki,* Warszawa 1971, s. 242.
[25] Tamże

oddziaływujących na siebie podsystemów nie wystarcza do określenia zasady działania systemu. Funkcjonowanie tego typu środowiska autorzy znanego II Raportu dla Klubu Rzymskiego[27], M. Mesarovic i E. Pestel określają jako zachowanie antyintuicyjne, tj. działanie wynikające z przeplatania się funkcji realizowanych przez poszczególne składniki systemu. F. Emery porównuje działanie systemu o nakładających się na siebie interakcjach do przemarszu kolumny wojskowej przez most krokiem defiladowym; drgania jednostkowo słabe wyzwalają siłę mogącą doprowadzić do zarwania się mostu[28].

Typ środowiska (a), w myśl wcześniej wprowadzonych rozróżnień nie jest w zasadzie systemem, z uwagi na brak powiązań składających się nań elementów. W rezultacie, jego działanie stanowi prostą sumę zachowań tworzących go składników. Poznanie poszczególnych elementów daje wiedzę o całości. Typ środowiska (b) charakteryzuje się natomiast tym, że jego działanie określane jest przez istniejące powiązania. Innymi słowy, suma cech własnych poszczególnych elementów nie pokrywa się z cechami konstytuującymi system. Analiza poszczególnych części tego systemu nie prowadzi do redukcji złożoności, a zatem nie jest też środkiem do uzyskania wiedzy o całym systemie.

Kolejna własność systemu wynika z imperatywu głoszącego, że aby system mógł działać, musi on wykazywać zdolności dostosowawcze (adaptacyjne), przez które rozumie się proces zmiany własności systemu umożliwiający osiąganie stanów zadowalających w zmiennych warunkach otoczenia. Pomijając na razie kwestię obszaru stanów otoczenia, do których system może się dostosowywać (czyli według określenia R. Ashby'ego - zagadnienie przestrzeni możliwości) odnotujmy, że zdolność przystosowania wiąże się z koncepcją systemu samoorganizującego. Jakie cechy przesądzają o tym, że system wykazuje zdolność do samoorganizacji?

Najczęściej wyodrębnia się następujące cechy:

1) zdolność do czynnego współdziałania ze swoim środowiskiem, wyrażającego się w wymianie materii, energii oraz informacji;

2) zdolność do zmiany swojej wewnętrznej struktury, którą wywołuje zmiana warunków otoczenia w jakich działa rozpatrywany system;

3) zdolność do gromadzenia doświadczeń i wyciąganie wniosków z wyników działań

---

[26] J. W. Forrester, *Counterintuitive Behavior of Social Systems*, [W:] *Toward Global Equilibrium,* (Ed. L. D. Meadows, D. H. Meadows), Cambridge, Mass., 1975, s. 9.

[27] M. D. Mesarovic, E. Pestel, *Mankind at the Turning Point,* op. cit.

[28] Por. F. E. Emery, *Pojęcia, metody i antycypacje*, [W:] *Problemy metodologii prognozowania,* op. cit., s. 498 i dalsze.

podjętych w przeszłości[29].

Cechy te tworzą hierarchię, na której najwyższym szczeblu znajduje się cecha pierwsza. Zanik zdolności do czynnego współdziałania z otoczeniem oznacza kres istnienia systemu. Na jednym poziomie można usytuować zdolność do zmiany struktury oraz zdolność uczenia się. Gromadzenie doświadczeń wzbogaca przestrzeń możliwości danego systemu; uczy skuteczności działań i dostarcza wskazówek co do kierunków zmian struktury wewnętrznej. Przytoczone za Judinem charakterystyki systemów samoorganizujących stanowią w zasadzie przesłanki mające zapewnić przetrwanie przez samoregulację.

Autorem interesującej typologii systemów mającej swe źródło w koncepcji systemu samoorganizującego jest specjalista w zakresie prognozowania technologicznego E. Jantsch. Zaproponowana przezeń typologia systemów uwzględnia cechy specyficzne podejścia systemowego w prognozowaniu i planowaniu. Podstawowym kryterium klasyfikacji jest określenie, czy cele formułowane są wewnątrz danego systemu czy poza jego granicami oraz zależności pomiędzy celami a wewnętrznymi warunkami działania. Typologię Jantscha zaadaptujemy dla potrzeb naszej analizy.

Na podstawie przytoczonego wyżej kryterium można wyróżnić systemy mechanistyczne oraz systemy formułujące cele.

Systemy mechanistyczne charakteryzują się niezmiennością struktur oraz niezdolnością do formułowania celów działania, które określane są na zewnątrz danego systemu. Systemy te znajdują się na zewnątrz, a kontakt z otoczeniem reprezentowany jest przez zewnętrzny ośrodek dyspozycyjny. Systemy te nie wykazują zatem własności samoregulujących i pozbawione są zdolności do przetrwania[30].

Systemy formułujące cele wyposażone są w wewnętrzne mechanizmy adaptacyjne, zapewniające im zdolność przetrwania w różnych warunkach. W ramach systemów formułujących cele należy wprowadzić rozróżnienie między systemami adaptacyjnymi oraz inwencyjnymi. Powiadamy, że system jest systemem adaptacyjnym, jeśli dostosowanie wewnętrznej struktury i zasad działań stanowi reakcję na bieżące zmiany stanów otoczenia. Jeżeli natomiast w ramach danego systemu istnieją mechanizmy powodujące, że w procesie dostosowawczym uwzględniane są nie tylko stany bieżące, ale i przewidywane zmiany w

---

[29] B. G. Judin, *Problemy metodologiczne w badaniu systemów samoorganizujących się,* [W:] *Problemy metodologii badań systemowych,* Warszawa 1972.

[30] E. Jantsch podaje następujące cechy modelu systemu mechanistycznego: (a) cele działania są dane z zewnątrz, (b) model jest zaprojektowany dla rozwiązania pewnej określonej klasy problemów, (c) organizacja wewnętrzna, struktura modelu nie za leży od celu, (d) działanie modelu kontrolowane jest przez zewnętrzny ośrodek dyspozycyjny, (e) dla danego wyniku uruchamiane są działania programowe. Por. E. Jantsch *Technological Planning and Social Futures,* London 1972, s. 298.

otoczeniu wywoływane działaniem danego systemu, to powiadamy, że system jest inwencyjny. Szanse przetrwania w środowisku typu (b) są znacznie wyższe w przypadku systemów inwencyjnych.

Podkreślaliśmy wielokrotnie, że wybór techniki analizy powinien być podporządkowany własnościom badanego systemu. Ale czy można wymodelować systemy charakteryzujące się złożonością, nieokreślonością, samoorganizacją? Zamiast wprost odpowiedzieć na to pytanie, oddajmy glos cybernetykowi H. Zoffowi, który pisze: „... to my sami przypisujemy systemowi takie cechy jak pamięć, uczenie się, rozum, gdy nie potrafimy podać wyczerpującego opisu analitycznego systemu, i w takim przypadku celowa jest „rozmowa", gra lub współdziałanie z systemem bez wnikania w to, jak system robi to co robi"[31]. W cytowanej wypowiedzi przewijają się dwie istotne myśli. Pierwsza dotyczy celowości rezygnacji z wyjaśnień w kategoriach przyczyna - skutek, na rzecz bodziec - reakcja w przypadku analizy złożonych systemów, druga zaś dotyczy zasad posługiwania się modelem, eksperymentowania dla zdobycia wiedzy o badanym systemie. Rozpoznanie złożoności system;. zmusza zatem do poszukiwania nowych technik metod ich badania.

Istnieją w zasadzie dwa rodzaje podejścia do złożonych systemów społecznych w oparciu o aparat cybernetyczno-systemowy:

1) związane z poszukiwaniem podobieństwa strukturalnego pomiędzy systemem rzeczywistym a jego modelem formalnym za pomocą symulacji
2) polegające na opracowaniu nowego języka formalnego pozwalającego na odtworzenia podstawowych własności społecznych (tzn. nieokreśloności, adaptacyjności, zdolności formułowania celów itd.)[32].

Badania złożonych systemów dynamicznych stały się w znaczne j mierze możliwe dzięki rozwojowi elektronicznej techniki obliczeniowej i symulacji. symulacja jest „... techniką rozwiązywania problemów, polegającą na śledzeniu w czasie zmian zachodzących w dynamicznym modelu systemu"[33]. Na podkreślenie zasługuje fakt, że symulacja nie dotyczy wprost systemu rzeczywistego, lecz tylko jego modelowego odwzorowania. W tym sensie symulacja stanowi pewną formę eksperymentowania zastępczego -nie mogąc eksperymentować z systemem rzeczywistym przeprowadza się eksperyment za pomocą modelu tego systemu.

Za posługiwaniem się modelami symulacyjnymi w analizie systemów społecznych

---

[31] Cyt. za B. G. Judinem, *Problemy metodologiczne w badaniu systemów* samo*organizujcych się,* op. cit., s. 298.
[32] Propozycje języka formalnego opisu systemów społecznych przedstawia H. Nurmi, op. cit., s. 242-245.
[33] G. Gordon, *Symulacja systemów,* Warszawa 1975, s. 33.

przemawia złożoność tych ostatnich. Naylor wskazuje, że jedną z przyczyn stosowania symulacji jest to, że „... często staje się rzeczą trudną, jeśli nie wręcz niemożliwą otrzymanie jednoznacznych analitycznych rozwiązań, dotyczących zredukowanej formy równoczesnych, nieliniowych, stochastycznych równań różnicowych. Z tego też powodu ekonomiści uznali za niezbędne odwołanie się do metod numerycznych lub do eksperymentów, symulacji komputerowej w celu ustalenia stopnia zasadności tych modeli, zbadania ich własności dynamicznych"[34]. Chociaż sygnalizowane przez Taylora trudności analityczne wiążą się z równaniami różnicowymi, które lepiej oddają takie cechy systemów rzeczywistych jak nieliniowość, stochastyczność itp. niemniej jednak problem ten ma znacznie szerszy wymiar. Przejdźmy obecnie do skonfrontowania wyodrębnionych własności systemów z wymaganiami jakie stwarzają one dla technik ich analizy.

Eksponowana wyżej złożoność systemu nie stanowi bariery, której nie można pokonać. W arsenale technik badawczych znaleźć można cały szereg narzędzi umożliwiających znaczną redukcję wymiarów systemów rzeczywistych. Dla ograniczenia pola analizy skoncentrujmy się na tych technikach, które z jednej strony zastosowane zostały do analizy świata traktowanego jako wielki system, z drugiej zaś stanowią ilustrację modeli systemów mechanistycznych i adaptacyjnych.

Model mechanistyczny

Pierwsza próba zastosowania podejścia systemowego do problematyki globalnej, której efektem jest skonstruowanie komputerowego modelu świata wiąże się z opracowaną przez J. W. Forrestera techniką modelowania tzw. dynamiką systemów[35]. Dynamika systemów ma umożliwić odtworzenie w modelu zjawisk dynamicznych charakteryzujących się wysoką złożonością struktury oraz istnieniem skomplikowanej sieci sprzężeń zwrotnych. Wydaje się, że podstawową jej cechą charakterystyczną jest waga przywiązywana do identyfikacji struktury, przy czym struktura ta nie ulega dalszym zmianom[36].

---

[34] T. H. Naylor, *Modelowanie cyfrowe systemów ekonomicznych,* Warszawa 1975, s. 21.

[35] Pierwotnie opracowana ona została dla potrzeb analizy systemów produkcji i zapasów: stąd nazwa dynamika przemysłowa *(industrial dynamics).* Następnie wykorzystana została dla analizy rozwoju środowisk miejskich *(urban dynamics),* a w 1971 r. dla opracowania pierwszego komputerowego modelu świata na zlecenie Klubu Rzymskiego. Cały szereg innych zastosowań (analizy wpływu wariantów rozwoju gospodarczego na kształtowanie się bilansów płatniczych, analizy gospodarki lasami itp.) spowodowało, że dla podkreślenia jej uniwersalności zaczęto używać określenia dynamika systemów.

[36] Konsekwencje niezmienności struktur na przykładzie skonstruowanego przez Forrestera modelu świata na licznych przyrzykładach numerycznych omawiają W. Hugger, H. Maier, *Invariante Strukturen in Forrester's World Dynamics,* Berlin- West 1972.

Strukturę systemu przedstawia się za pomocą zbioru dodatnich i ujemnych sprzężeń zwrotnych, czyli

$$S = \{\langle x_t(t), a_i \rangle : R\}$$

Syntetyczny zapis systemu w rozumieniu dynamiki systemowej wymaga wyjaśnienia.

„Zgadnie z teorią, która leży u podstaw dynamiki systemowej niezbędne są tylko dwa rodzaje zmiennych - poziomu oraz intensywności, dla wyrażenia każdej zależności w systemie"[37]. Poziomy są zasobami, czyli zmiennymi stanu, natomiast intensywności lub natężenia odpowiadają kategorii strumienia. Oznaczając zmienną stanu przez $x_i(t)$, a natężenie przez a_i, dany fragment systemu (pętla) stanowi uporządkowaną dwójkę $(x_i(t), a_i)$. Zgodnie z wcześniej cytowaną wypowiedzią, J. Forrester wymienia istnienie sprzężeń zwrotnych jako jedną z głównych cech systemów społecznych, która decyduje o ich antyintuicyjnym zachowaniu.

W dynamice systemów uwzględnia się *dwa rodzaje sprzężeń zwrotnych:* - dodatnie sprzężenie zwrotne, które zapisać można w postaci równania $\dot{x}_i = a_i x_i(t),$,

- ujemne sprzężenie zwrotne o postaci $x_i = a_i[x - x_i(t)]$, gdzie x przedstawia, w zależności od sfery zastosowania, wielkość pożądaną lub możliwą (pewien pułap).

Pamiętając, że system jest zbiorem zintegrowanych elementów, w modelu systemu opracowanego w języku dynamiki systemów muszą być uwzględnione powiązania między pętlami sprzężeń zwrotnych. Natężenie, intensywność strumienia jednej pętli wyznaczana jest natężeniami innej lub kilku innych pętli. Formalnie można zapisać to następująco:

$$\dot{x}_i = a_i x_i(t)$$
$$\dot{x}_j = a_j x_j(t)$$

Zbiór zależności między indywidualny mi pętlami sprzężeń zwrotnych, który oznaczyliśmy przez R, określa strukturę systemu. Nasuwa się pytanie, jak się ma dynamika systemów do wyodrębnionych wcześniej własności systemów.

Nie ulega wątpliwości, że dzięki traktowaniu kolejnych wyodrębnionych pętli jako względnie autonomicznych całości, a następnie systematycznemu uchylaniu tego założenia, umożliwia ona krok za krokiem odtworzenie podstawowych zmiennych stanu i natężeń oraz struktury badanego systemu. Symulacja modelu, którego równania opisują sposób, w jaki zmienia się system, pozwala na wykrycie własności dynamicznych modelowanego systemu.

Istnienie mozaiki sprzężeń zwrotnych dodatnich i ujemnych powoduje, że poszczególne

---

[37] D. L. Meadows, *Introduction to the Project,* [W:] *Toward Global Equilibrium,* Ed. D. L. Meadows, D. H. Meadows, op. cit., s. 36.

elementy modelu systemu mogą funkcjonować względem siebie w środowisku typu (b). Zależy to od siły oddziaływań dodatnich sprzężeń zwrotnych oraz od stopnia, w jakim uwzględniono w modelu nieliniowość niektórych procesów. Dynamika systemów stanowi szczególny przypadek liniowych układów różnicowych. Niemniej jednak w ramach tego podejścia możliwe jest uwzględnienie zależności nieliniowych przez aprioryczne przypisanie współczynnikom regulującym natężenie strumieni wielkości zależnych w sposób nieliniowy od aktualnych stanów (poziomów)[38]. Przewaga oddziaływania dodatnich sprzężeń zwrotnych prowadzi do procesów kumulacyjnych, wyrażających się w wykładniczym wzroście wielkości charakteryzujących działanie badanego systemu.

Systemy odwzorowywane za pomocą tej techniki nie wykazują podkreślanej przez Lernera nieokreśloności zachowania systemu jako całości oraz poszczególnych jego części. Zależności uwzględniane w modelach dynamiki systemowej mają charakter przede wszystkim deterministyczny. Nasuwa się w tym kontekście paradoksalna uwaga, że zachowanie antyintuicyjne systemów społecznych, tak silnie akcentowane przez J. W. Forrestera zostanie zlikwidowane wówczas, gdy wszystkie modele stosowane w naukach społecznych zapisane zostaną w języku dynamiki systemowej.

Łatwość modelowania jaką daje posługiwanie się dynamiką systemów może być zarówno zaletą, jak i wadą. Możliwość formalnego zapisu współzależności ustalanych na podstawie kolejnego stawiania pytań, o to jakie czynniki wpływają na natężenie danych strumieni, w jaki sposób czynniki te są kształtowane przez inne itd., stwarza konieczność wcześniejszego ustalenia, w którym punkcie należy zaprzestać tej procedury. Innymi słowy musi istnieć pewna procedura formalna gwarantująca skończoność. W przeciwnym wypadku bowiem symulując zachowanie danego systemu możemy otrzymać wyniki zniekształcone wskutek pominięcia pewnych sprzężeń, która z uwagi na zjawisko kumulacji efektów, charakterystyczne dla układów sprzężeń zwrotnych, wyznaczają przyszłe własności dynamiczne badanego systemu. Wcześniej podkreślaliśmy, że modele opracowywane dla potrzeb efektywnego sterowania procesami rzeczywistymi obejmować muszą z jednej strony elementy znane przynajmniej intuicyjnie, z drugiej zaś *explicite* formułować zmienne decyzje. Z uwagi tej wynika, że jednym z kryteriów oceny tych modeli jest stopień szczegółowości z jaką odtwarzają one strukturę badanego systemu. W modelach dynamiki systemów działania podejmowane przez obiekt decyzyjny (decydenta) przedstawiane w' postaci równań. natężeń obrazujących warianty decyzyjne, poddają się eksperymentom symulacyjnym. Możliwość

[38] W praktyce dynamiki systemowej buduje się tzw. tabele korygujące *(look-up-tables)*. W zależności od

eksperymentowania stanowi na pewno ich zaletę, choć przypomnijmy, że nie jest ona tożsama ze zdolnością wyjaśniania.

Reasumując można stwierdzić, że modele dynamiki systemowej odwzorowują systemy, które w ślad za Jantschem określiliśmy jako systemy mechanistyczne. Warianty decyzyjna formułowane są poza modelem, którego struktura określana jest z góry, wobec czego kontrolujący eksperyment symulacyjny nie ma możliwości jej korekty. Niezmienność struktury sprawia, że odwzorowania systemów globalnych otrzymane w wyniku zastosowania tej techniki pozbawione są zdolności dostosowawczych. Przyjmowane założenia przesądzają o tym, że system rzeczywisty zapisany w języku dynamiki systemów musi w pewnym punkcie, po przekroczeniu granic środowiska, w którym funkcjonuje -- załamać się[39]. Uwaga ta nie odnosi się do wszystkich opublikowanych zastosowani dynamiki systemów.

Modelowanie systemów hierarchicznych

O ile technika dynamiki systemów nie zawiera w sobie recept na redukowanie złożoności badanego systemu, lecz zakłada możliwość nieograniczonego odtworzenia całego kompleksu zależności w nim występującego, o tyle teoria systemów hierarchicznych starowi próbę stworzenia pomostu między klasycznym podejściem zorientowanym na badanie wyizolowanych fragmentów rzeczywistości a podejściem holistycznym, między podejściem redukcjonistycznym a organicystycznym, między koniecznością uwzględniania hierarchii charakterystycznej dla układów społecznych a jednoczesnym zapewnieniem przejrzystości i sterowalności skonstruowanego modelu komputerowego. Filozofia, metodologia modelu świata opracowywanego na przykład przez zespół M. Mesarovica i E. Pestela ma swoje źródle w teorii hierarchii[40].

Pojęcie hierarchii (etymologicznie - uświęconego porządku) przyjęło się wiązać z

---

poziomu zmiennej stanu do obliczeń wprowadzana jest odmienna wartość współczynnika (mnożnika).

[39] Ideę tę ilustrują wyniki otrzymane na podstawie symulacji modelu „Świat 3" opublikowane w *Granicach Wzrostu.* Założenia tego modelu omówione są krytycznie w B. Kamiński, M. Okólski, *Prognozy globalne gospodarki światowej,* „Ekonomista" 1976 nr.3.

[40] Teoria ta znajduje się jeszcze in statu nascendi. Celem prowadzonych prac w tym zakresie jest wyjaśnienie działania systemów biologicznych, fizycznych, społecznych i administracyjnych. Istotny wkład w opracowanie podstaw teorii hierarchii wnoszą takie prace, jak *Hierarchically Organized Systems in Theory and Practice,* (Ed. P. Weiss), New York 1971; M. D. Mesarovic, D. Macko, Y. Takahara, *Theory of Hierarchical, Multilevel System,* New York 1970, oraz W. Findeisen, *Wielopoziomowe układy sterowania,* Warszawa 1974. Zespół Mesarovica podejmuje próbę opracowania tematyki sterowania układów hierarchicznych, Findeisen zajmuje się przede wszystkim zagadnieniami sterowania układów technologicznych, zaś w artykułach zebranych przez Weissa podejmowane są zagadnienia sfery biologicznej, społecznej oraz ekologicznej. Najbardziej wszechstronny obraz aktualnego stanu zaawansowania badań nad zagadnieniami hierarchii znaleźć można w pracy zbiorowej pod red. H. H. Pattee, *Hierarchy Theory, The Challenge* of *Complex Systems,* New York 1973.

zależnościami nadrzędności i podrzędności charakterystycznymi dla organizacji społecznych. Współcześnie terminowi temu przypisuje się nieco szerszy zakres znaczeniowy. Pod pojęciem hierarchii rozumie się częściowo uporządkowanie podsystemów. zauważmy ogólnie, że a hierarchii można mówić wtedy, gdy (1) system składa się z podsystemów odziaływujących na siebie, (2) gdy zachowanie niektórych z tych podsystemów określa zachowanie przynajmniej jednego podsystemu oraz gdy (3) zależności między podsystemami można uporządkować w oparciu o relacje nadrzędności - podrzędności.

H. Simon pisze: „Przy ustalaniu architektury złożonych systemów, „hierarchia" oznacza zbiór szczególnego rodzaju, pudełek chińskich. Zbiór pudełek składa się na ogół z pudełka zawierającego drugie pudełko, w którym z kolei znajduje się trzecie ...". Różnica wyraża się w tym, że: „O ile normalny zestaw pudełek chińskich stanowi sekwencję lub całkowite uporządkowanie pudelek, o tyle hierarchia oznacza częściowo uporządkowanie- dokładnie, dendryt"[41]. Pogląd głoszący, że działanie systemów złożonych można jedynie zbadać wówczas, gdy wyodrębni się działania podsystemów, ma swoje uzasadnienie. Narastająca złożoność systemów społecznych, rosnąca potrzeba świadomego kierowania kierunkami ich ewolucji, stanowi istotny argument za podejściem uwzględniającym hierarchiczność budowy systemów i to zarówno biologicznych, naturalnych, jak i społecznych, sztucznych tworów. W kontekście analizy „własności systemu a techniki modelowania" nasuwa się szereg pytań: w jaki sposób wyodrębniać poszczególne poziomy, jakie są konsekwencje uwzględniania hierarchii w z akresie r edukcji złożoności opisu badanego systemu, co łączy a co rozdziela podsystemy znajdujące się na poszczególnych poziomach? Obecny etap rozwoju teorii układów hierarchicznych wyraża się w tym, że formułuje ona ciągle więcej pytań aniżeli daje odpowiedzi. Niemniej jednak warto wyrazić kilka uwag istotnych dla budowy modeli *explicite* uwzględniających hierarchię, których przykładem jest model świata Mesarovica i Pestela.

W cytowanym artykule H. Simon tłumaczy stosowanie procedury wyodrębniania poziomów (hierarchizację) względami konstrukcyjnymi oraz dogodności opisu systemu. Opis systemu jest łatwiejszy, gdy w ramach czynności mających na celu odtworzenie jego cech wyodrębni się stadia: przyspiesza to i upraszcza również proces modelowania. Po przekroczeniu pewnego stopnia złożoności opis systemu narzuca konieczność wprowadzenia poziomów opisu. Pisze on: „Wiedza naukowa zorganizowana jest w poziomach, nie dlatego, że redukcja jest niemożliwa, lecz z uwagi na to, że natura zorganizowana jest w poziomach, a

układ charakterystyczny dla każdego poziomu najłatwiej rozpoznać abstrahując od szczegółów znajdujących się niżej poziomów"[42]. Analiza złożonego systemu wymaga wprowadzenia alternatywnych poziomów opisu. Simon podaje przykład działania komputera, którego efektywne programowanie wymaga stosowania kilku poziomów opisu. Liczne przykłady uzasadniające to podejście znaleźć można w praktyce planowania i zarządzania krajów socjalistycznych.

Z powyższych zalet podejścia hierarchicznego zdają sobie w pełni sprawę Mesarovic i Pastel podkreślając, że: „... zasadnicza cecha tej metodologii (wielopoziomowych systemów hierarchicznych) wyraża się (...) w koncepcji dysponowania z jednej strony modelem o „strukturze hierarchicznej", z drugiej zaś „hierarchii modeli"[43].

Opis podsystemu układu hierarchicznego wymaga nie tylko identyfikacji mechanizmu jego działania, lecz również określenia, czym jest ten podsystem: w stosunku do innych podsystemów. Opis systemu zasadza się zatem na całkowitym uporządkowaniu powiązań. według ważności sprzężeń, zarówno wewnątrz podsystemów jak i między nimi. Sedno zagadnienia leży jednak w tym, jak wyodrębnić podsystemy i w oparciu o jakie przesłanki określić hierarchię ich ważności.

Istniejące procedury wyznaczania granic podsystemów zawierają jedynie bardzo ogólne wskazówki metodologiczne. Eleganckie modele matematyczne ograniczają się do systemów biologicznych, w przypadku których można przyjąć założenie, że siła interakcji maleje wraz ze wzrostem odległości. Rzeczywistość społeczno-gospodarcza nie zawsze jednak poddaje się tak rygorystycznym założeniom, choć często taką zależność można dla celów badawczych wyodrębnić.

- W każdym wielopoziomowym systemie hierarchicznym możliwe uporządkowania jego składników mają miejsce w wymiarze pionowym i poziomym. Analizy wymiaru pionowego mają na celu ustalenie struktury wzajemnych podporządkowań i służą do wyodrębnienia poziomów funkcjonowania systemu. Postulowane zasady rozkładalności opierają się na identyfikacji własności dynamicznych badanych systemów hierarchicznych przejawiających się na zewnątrz w wielu trajektoriach charakteryzującymi się różnymi częstotliwościami[44]. Trajektorie te można uporządkować i przypisać je poszczególnym poziomom i podsystemom,

---

[41] H. Simon, *The Organization* of *Complex Systems,* [W:] H. H. Pattee, op. cit., s. 5.
[42] Ibidem s. 26 i 27.
[43] M. D. Mesarovic, E. Pastel, *Methodology for Construction* of World *Economic Models* [W:] *Multilevel Computer Model of World Development System,* Extract from the Proceedings of the Symposium held at IASA, Laxenburg, April 29 - May 3, 1974, Vol. II, s. B-2.
[44] Problematyka związana z rozkładalnością systemów najpełniej omówiona jest w A. Ando, F. M. Fischer, H. A. Simon, *Essays on the Structure of Social Science Models,* Cambridge, Mass. 1963.

np. o niskich, średnich i wysokich częstotliwościach. Dla przyjętego przedziału czasowego, w którym dokonuje się obserwacji systemu, niskie częstotliwości traktowane są jako stałe, wysokie zaś określają wewnętrzne interakcje składników podsystemów niższego szczebla. Podsystemy niższego szczebla sprawiają wrażenie, jakby znajdowały się w stanie równowagi - z uwagi właśnie na wysoką częstotliwość. Po wyeliminowaniu zatem wysokich i niskich częstotliwości postrzegane własności dynamiczne systemu wyznaczane są przez dynamikę współzależności głównych podsystemów. Z teorii tej nazwanej teorią częściowej rozkładalności *(theory of near decomposability),* która zachowuje swój walor również dla sprzężeń poziomych, wynika szereg istotnych wniosków dla modelowania.

Po pierwsze, w długim okresie czasu zachowanie się badanego systemu wykazującego własności przybliżonej rozkładalności wyznaczane jest przez „słabe" interakcje, mimo że w krótkich okresach czasu system ten może zachowywać się jako zbiór podsystemów niezależnych[45]. Uwzględniając, że najniższymi częstotliwościami charakteryzuje się zachowanie najwyższego szczebla, jest to równoznaczne ze stwierdzeniem, że o długozakresowej ścieżce rozwoju decydują sprzężenia poziomów znajdujących się na szczycie hierarchii.

Po drugie, identyfikacja podsystemów i traktowanie ich - używając terminu H. Greniewskiego -- jako układów względne odosobnionych umożliwia z jednej strony pokonanie bariery złożoności systemu, z drugiej zaś ustalenie ich wpływa na dynamikę systemu, bez konieczności wnikania w to, w jaki sposób dany podsystem działa. Rozróżnia się między konsekwencjami istnienia względnego odosobnienia w wymiarze poziomym i pionowym. Słabe powiązanie występujące na danym poziomie hierarchii oznacza, że tylko wielkości wejściowe oraz wielkości wyjściowe wytwarzane przez dary podsystem są istotne dla funkcjonowania systemu jako całości. O ile poszczególne podsystemy rozpatrywane w wymiarze pionowym są stabilne, wówczas można je traktować jako wielkości stałe, dane, których własności dynamiczne nie mają wpływu na działanie całości. Zachowanie :systemu na wyższych szczeblach określane jest tylko przez ich własności osiągania stanu równowagi. Innymi słowy, rozwiązaniem jest zapewnienie stabilności podsystemów oraz przynajmniej częściowe uporządkowanie hierarchiczne. Istnienie hierarchii oraz stabilność pośrednich poziomów struktury systemów złożonych oddziałuje pozytywnie na szybkość

[45] Zagadnienie to, w zastosowaniu do analizy organizacji gospodarczych rozwija J. C. Emery, *Organizational Planning and Control Systems, Theory and Technology,* New York 1969, rozdz. 2.

dostosowywania systemu do nowych warunków środowiska[46].

Po trzecie, uwzględnienie postulatów płynących z teorii złożonych systemów hierarchicznych prowadzi do odmiennego rozłożenia akcentów w modelowania niż to ma miejsce w proponowanej przez Forrestera technice dynamiki systemów. H. Simon podkreślając znaczenie organizacji hierarchicznej dla syntezy i przetrwania złożonych wielkich systemów, formułuje nader charakterystyczny uwagę: „Dla umysłu platońskiego, wszystko na świecie jest ze sobą powiązane, lecz pewne zjawiska są bardziej związane od innych. Świat stanowi wielką macierz interakcji, w której większość wejść bliska jest zera i w której, przez uporządkowanie tych wejść zgodnie z ich wagą, można zidentyfikować wyraźną strukturę hierarchiczną"[47]. Bogactwo uwzględnianych w modelu powiązań uzyskane dzięki zastosowaniu określonej procedury nie przesądza zatem o walorach danej techniki modelowania.

Działanie systemu, jego ewolucja wymaga wyłaniania się coraz to nowych poziomów poprawiających zdolność przetrwania. Podsystemy tracą swoją względną autonomię, stając się częściami innych podsystemów, zarazem formują się nowe, pełniące funkcje regulacyjne w stosunku do innych. Teoria hierarchii nie jest i nie może być z tego względu teorią zamkniętą na wzór systemu zamkniętego, lecz co najwyżej może ona dostarczać reguł i metod badania systemów złożonych. Ilustracją wykorzystania metodologii powstałej na gruncie teorii hierarchii jest komputerowy model globalny opracowany przez zespół Mesarovica i Pestela.

W zetknięciu z bogactwem i złożonością problematyki światowej znalezienie klucza do wyodrębnienia względnie niezależnych podproblemów, do zmniejszenia złożoności problemów rzeczywistych bez utracenia z pola widzenia cech istotnych, przesądza o wartości budowanych modeli. W skonstruowanym modelu systemu globalnego Mesarovic i Pestel

---

[46] Na marginesie tych rozważań można zauważy ć, że enigmatyczna koncepcja wzrostu organicznego oraz diagnoza antyintuicyjności systemu światowego sformułowana przez Mesarovica i Pestela w II raporcie dla Klubu Rzymskiego nawiązuje do dorobisu teorii hierarchii. Przypomnijmy, że receptą na rozwiązanie problemów współczesnego świata ma być wzrost organiczny wyrażający się w dywersyfikacji funkcji realizowanych p rzez p oszczególne kraje i regiony. Piszą oni: „... ludzkość znajduje się w punkcie zwrotnym swojej historii; może kontynuować rakotwórczy wzrost .niezróżnicowany lub wejdzie na ścieżkę wzrostu organicznego". *Mankind* at *the Turning Point,* op. cit., s. 9. Autorzy wiążą antyintuicyjność z układem warunków, w których wszystko zależy od wszystkiego. Stan ten, charakterystyczny dla zachowania antyintuicyjnego świadczy, że dany system objęty jest kryzysem, którego rozwiązania należy szukać w takim zaprogramowaniu działań tworzących go podsystemów, które zapewniłoby zbieżność z celem nadrzędnym, „masterplanem". W języku hierarchii oznacza to zaprojektowanie luźno sprzężonych podsystemów stabilnych w wymiarze pionowym i poziomym. Jak zatem widać, likwidację antyintuicyjności wiążą oni z wprowadzeniem reguł wzrostu organicznego. Próba określenia warunków społeczna-ekonomicznych realizacji koncepcji wzrostu organicznego podjęta jest w B. Kamiński, M. Okólski, W. Świtalski, *Cywilizacja na rozdrożu,* „Miesięcznik Literacki" 1975 nr 4.

[47] H. Simon, op. cit., s. 23

dostrzegają wzajemne nakładanie się różnych sfer problemowych, przy jednoczesnej ich automatyczności. Powiązania międzyregionalne, w zależności od ich znaczenie dla rozpatrywanych zagadnień, dopuszczają niebezpieczeństwo totalnej katastrofy, przy jednoczesnej wierze w zdolność gatunku ludzkiego do przetrwania. W jaki sposób taka percepcja problematyki światowej znajduje swoje odbicie w konstrukcji modelowej? wrysowując odpowiedź na to pytanie, ograniczymy się tylko do metodologii, rezygnując ze szczegółowego omówienia struktur modelowych[48].

W ramach tzw. problematyki globalnej wyodrębniono następujące sfery krytyczne: luka rozwojowa, eksplozja demograficzna, wzrost ograniczoności zasobów surowcowych i energetycznych, wyżywienie. Opracowane modele dla poszczególnych sfer są względnie odosobnione i charakteryzują się budową hierarchiczną. Spoiwem łączącym podmodele opracowane dla analizy z miennych (sfer) krytycznych podsystemów jest model gospodarki światowej. Wyniki otrzymywane z rozwiązania tego modelu pojawiają się jako wielkości wejściowe podmodeli sfer krytycznych.

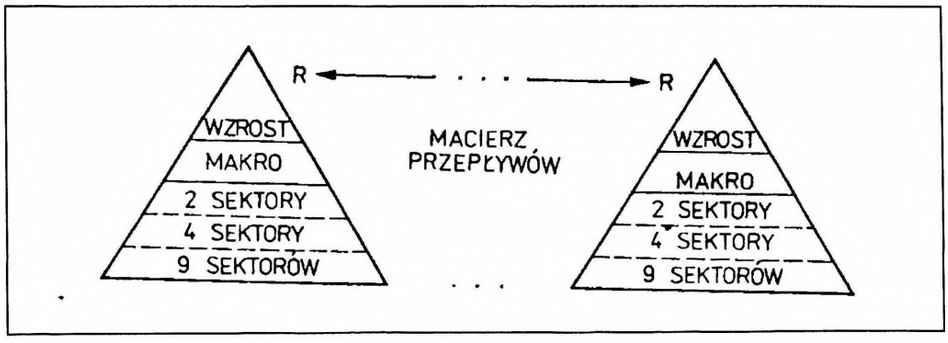
Struktura opisu gospodarki światowej jest trzypoziomowa. Dla wyodrębnionych regionów wyróżnia się poziom wzrostu reprezentowany przez *GRP (Gros Regional Product),* poziom „makro" uwzględniający majątek, funkcję produkcji oraz macierz wymiany międzynarodowej, oraz poziom „mikro" uwzględniający funkcje produkcji. Na poziomie „mikro" w zależności od potrzeb operuje się modelem dwusektorowym (np. dla ustalenia światowej podaży żywności wyodrębnia się sektor wyżywieniowy i niewyżywieniowy), czterosektorowym (sektor wyżywieniowy, przemysł wydobywczy i energetyka, przemysł przetwórczy oraz usługi) oraz dziewięciosektorowy (rolnictwo, przemysł wydobywczy, energetyka, żywność, przemysł przetwórczy, budownictwo, 2 sektory usług i budownictwo mieszkaniowe).

Elementem scalającym wyodrębnione regiony jest macierz przepływów interregionalnych. System gospodarki światowej jest zatem przedstawiany w kategoriach zbioru wzajemnie na siebie oddziaływujących regionów[49]. Zależności te prezentuje poniższy schemat.

---

[48] Konstrukcję modeli świata opracowanych pod auspicjami Klubu Rzymskiego szczegółowo omawiamy w wymienionym już opracowaniu *Polska wobec podstawowych problemów gospodarki światowej* oraz artykułach *Supermanager, zbawienie świata czy mit* (współautor W. Świtalski) „Zarządzanie" 1975 nr 8, *Prognozy globalne gospodarki światowej,* „Ekonomista" 1976 nr 3 oraz *Ewolucje systemu światowego,* „Miesięcznik Literacki" 1976 nr 1.

[49] Por. L. Klein, B. Hickman, M. D. Mesarovic, *Speci f ication* o f *Structure for a Macro-Economic World Model, [W:] Multilevel Computer Model* of *World Development,* op. cit.



Rys. 2

Zachowanie jednolitości poziomów opisu poszczególnych regionów umożliwia ich agregację oraz - w zależności od potrzeb analizy - rozpatrywanie gospodarki świata w kategorii dwóch, trzech, czterech, dziesięciu i jedenastu regionów[50].

Komputerowy model świata uwzględnia omówione wcześniej cechy opisu działania systemu celowego wykazującego własności adaptacyjne. Przypomnijmy, że w opisie tego systemu wprowadza się obiekt decyzyjny oraz obiekt wartościujący. Wpływają one na sposób, w jaki system podąża za wyznaczonym celem. W rozpatrywanym przypadku celem nadrzędnym jest przetrwanie ludzkości. W jaki sposób uwzględnia się w omawianej konstrukcji modelowej postulaty formalnego opisu systemu celowego?

Mesarovic i Pestel wprowadzają rozróżnienie między warstwą obiektywną modelu wyrażaną w języku zależności liczbowych oraz warstwą subiektywną tworzoną przez sądy wartościujące oraz hipotezy decyzyjne rozpatrywane zewnętrznie w stosunku do modelu. Zależności ilościowe (np. odtwarzane w modelu przez funkcje produkcji Cobba-Douglasa) rozpatrywane w przekroju historycznym nie zawierają oczywiście żadnego elementu decyzyjnego; na przeszłość wpływać można jedynie w punkcie wyjściowym, tzn. przez dobór faktów. Projekcje przebiegu tych zależności w przyszłości traktowane są jedynie jako wejście informacyjne dla rozpatrywanych w scenariuszach sekwencji decyzyjnych. Modeli ten nie może zatem być systemem zamkniętym, lecz otwartym; dysponującym pewną liczbą wejść pozwalających na analizę różnych` strategii; scenariuszy. Alternatywne ścieżki-ewolucji (funkcje wyniku stanowiące wynik symulacji modelu uwzględniającej ograniczenia narzucane przez warstwę obiektywną poddawane są ocenie, u podstaw której leżą wskaźniki ekonomiczne.

Hierarchiczny model zespołu 11~fesarovica i Pestela *explicite* rozpoznaje zdolność

[50] Są to: 1- Ameryka Północna, 2 - Europa Zachodnia, 3 - Japonia, 4 - Australia, Republika Południowej Afryki i pozostałe rozwinięte kraje o gospodarce rynkowej, 5 - Europa Wschodnia wraz ze Związkiem Radzieckim, 6 - Ameryka Łacińska, 7 - Afryka Północna i Środkowy Wschód, 8 - Afryka Środkowa, 9 - Południowa i Południowo-Wschodnia Azja oraz 10 - Chiny. Analizą surowcową przeprowadzoną na przykładzie ropy

systemu globalnego do przetrwania: Wprowadzenie proponowanych przez nich strategii rozwoju świata zakłada pojawienie się wyższego szczebla, szczebla koordynującego działania regionów, państw i przedsiębiorstw. Wykształcanie nowych poziomów, rosnąca hierarchizacja stanowi o przetrwaniu złożonych systemów. Wniosek ten zachowuje swój walor dla systemu światowego, choć pozostaje pytanie, w jakich warunkach społeczno-instytucjonalnych uformowany zostanie ten wyższy poziom. Na pytanie to nie znajdujemy w pracach Mesarovica i Pestela odpowiedzi, mimo że opracowany przez nich model nie jest modelem predykcyjnym, lecz modelem sterowania.

5.Podsumowanie: modelowanie a sterowanie rozwojem świata

W rozważaniach poświęconych relacji typu modelu do własności rozpatrywanych systemów na czoło wysuwa się spostrzeżenie, .że modelowanie systemowe na -gruncie nauk społecznych podporządkowane jest w istocie idei sterowania gospodarką i społeczeństwem. Zauważmy zresztą, że skonstruowane do tej pory modele świata, a ściślej ich- rozwiązania mają oddziaływać na decyzje rządów, na postawy decydentów.

Systemy społeczno-gospodarcze wykazują cechy, które przypisywane są systemom formułującym cele, a zatem - zgodnie z wprowadzonym podziałem - systemom inwencyjnym i adaptacyjnym. O ile tworząc model wyjaśniający bliżsi jesteśmy realizacji ideału niezależności obserwatora od badanych procesów społecznych, o tyle konstruktor modelu sterowania plasuje się wewnątrz badanego systemu; kreśli on *ex ante* kierunki świadomie sterowanych procesów adaptacji. Stąd też relacja między wartościowaniem społecznym wpływającym na identyfikację zmiennych a sarną konstrukcją modelową wymaga wszechstronnej analizy. Analiza taka jednak przekracza ramy tego opracowania..

Konieczność redukcji złożoności przemawia za operowaniem rodzimą powiązanych ze sobą modeli. Teoria hierarchii dostarcza wysoce obiecujących rozwiązań ułatwiających proces modelowania. W zależności od potrzeb i celów analizy operować można różnymi podziałami regionalnymi oraz przypisywać kategorię środowiska różnym częściom składowym obiektu-świat.

Z twierdzenia o częściowej rozkładalności systemu wynika, że o zachowaniu się systemu w długim okresie czasu decydują interakcje słabe. Efekty wzajemnego oddziaływania w krótkim okresie czasu postrzegane są jako stałe. W jakiej mierze twierdzenie to, zgodne z

---

naftowej objęte są dwa regiony 1-4 oraz 7. Z kolei dla potrzeb analizy światowej problematyki wyżywienia z

intuicją można wykorzystać - pozostaje w dalszym ciągu problemem otwartym.

Zastosowanie aparatury poznawczej ogólnej teorii systemów, przesądzając o rozłożeniu akcentów w analizie świata, nie przesądza oczywiście o jakości otrzymanych wyników. Zastosowanie tej aparatury wydaje się szczególnie użyteczne w zakresie identyfikacji elementów decydujących o zachowaniu się systemu w długim okresie czasu. Jak stwierdziliśmy wcześniej, przy okazji omawiania problemu sterowalności modelu podstawowe znaczenie ma stan zaawansowania rozpoznania w zakresie kształtowania się relacji cząstkowych. Wydaje się zatem, że warunkiem podjęcia prac nad konstrukcją modelu świata jest ocena stopnia rozpoznania zależności zmiennych tworzących tzw. problematykę globalną.

THEORETICAL FOUNDATIONDS OF MODELLING THE WORLD SYSTEM

Summary

The applicability of instruments and techniques of the general system theory to the modelling a complex socio-economic system, i.e. the world economy is the main subject of this article.

World view ensuing from the general system theory affects the choice of research problems and the selection of an appropriate model. Explicative, predictive and control models are analyzed in the context of social systems analysis. It is argued that because of various research targets and different role of models in system analysis, the evaluation criteria must change accordingly. Model must encompass basic characteristics of a given phenomena perceived as a system. Moreover, the choice of modelling technique should be subordinated to this. Thus, the key problem is to identify and classify the basic universal traits of the system in relation to different modeliing techniques. The mechanistic and goal seeking systems, illustrated by Forrester-Meadows and Mesarvoic -Pestel world models respectively, are discussed in terms of system properties that are reproduced by a given modelling technique.

Pointing out to the limits of research techniques developed in the general system theory the authors claim Chat most promising for world system modelling, are the techniques based on hierarchy theory. Although the general all inclusive world model fit to answer all the questions is not a likely prospect, exercises aimed at hierarchically organized issues can be of great use.

---

regionu 9 wyodrębnia się dodatkowo Pakistan, Indie, Bnagladesz, wprowadzając w ten sposób 11 regionów.

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Akademii Obrony Narodowej
69033
Zbiorów Jawnych - Akade