

<http://autonom.edu.pl>

Mazur M., 1976, *Pojęcie systemu i rygory jego stosowania*. [w:] *Materiały Szkoły Podstaw Inżynierii Systemów nr 2*, Komitet Budowy Maszyn PAN, Orzysz.

Przedruk w *Postęпах Cybernetyki*, z. 2, 1987, s. 21-29. – numer w całości poświęcony Marianowi Mazurowi.

Zeskanował i opracował: Mirosław Rusek (mirrusek@poczta.onet.pl).

Postępy Cybernetyki

1987 (10) 2

PL ISSN 0137-3595

MARIAN MAZUR

Pojęcie systemu i rygory jego stosowania*

Podejście cybernetyczne polega na rozpatrywaniu badanych obiektów złożonych z różnych elementów jako zbioru tych elementów powiązanych ze sobą przez relacje w jedną całość nazwaną systemem. Objasniono obowiązujące w takim postępowaniu rygory i korzyści stąd płynące. Najważniejszym rygorem jest funkcjonalność - każdemu podsystemowi przyporządkowuje się jedną funkcję działania i każdemu działaniu przyporządkowuje się tylko jeden podsystem.

Wstęp

Żywiolowy rozwój interdyscyplinarnych teorii, trwający od lat czterdziestych bieżącego stulecia, stał się doniosłym czynnikiem postępu nauki. Trudno się jednak dziwić, że ta żywiolowość przyczyniła się także do powstania rozmaitych nieporozumień, trudnych do uniknięcia, gdy wielu naukowców w wielu krajach pracuje jednocześnie nad tą samą problematyką. Przejawiło się to w mglistym lub rozbieżnym pojmowaniu cybernetyki, informacji, organizacji, systemów itp., czego oznaką jest mnogość publikacji poświęconych objaśnianiu tych pojęć. Na tym tle dochodzi do przewlekłych i jałowych sporów terminologicznych, polegających na domniemaniach znaczeń słów, cytowaniu definicji

* Praca referowana na seminarium naukowym w Instytucie Polityki Naukowej i Szkolnictwa Wyższego Polskiej Akademii Nauk.

podawanych przez różnych autorów i komponowaniu własnych, z pominięciem spraw istotnych, tj. potrzeb przesądzających o rozwoju problematyki interdyscyplinarnej.

Rzecz w tym, że w nauce tradycyjnej rozróżniano dyscypliny specjalne, zajmujące się wyodrębnionymi fragmentami rzeczywistości, oraz matematykę jako dyscyplinę ogólną, zajmującą się logicznymi operacjami liczbowymi mogącymi się ewentualnie przydać do rozwiązywania problemów w dyscyplinach specjalnych.

Biorąc pod uwagę, że matematyka (wraz z logiką matematyczną) to dyscyplina ogólna abstrakcyjna, a dyscypliny specjalne to dyscypliny szczególne konkretne, łatwo zauważyć, że w celu matematycznego rozwiązania jakiegokolwiek problemu specjalnego trzeba przejść od szczególności do ogólności oraz od konkretności do abstrakcyjności (i z powrotem, przy wykorzystywaniu otrzymanego rozwiązania matematycznego). Im bardziej złożony jest problem, tym większe nastroczają się przy tym trudności, toteż wcześniej czy później musiała się nasunąć idea, żeby takie przejście dokonywać na dwie raty: najpierw od szczególności do ogólności przy zachowaniu konkretności, a potem od konkretności do abstrakcyjności przy zachowaniu ogólności (i z powrotem). Wynika stąd potrzeba istnienia dyscypliny ogólnej, konkretnej, jako pośredniej między dyscypliną ogólną abstrakcyjną (matematyka) a dyscyplinami szczególnymi konkretnymi (dyscypliny specjalne).

Taką właśnie pośrednią dyscypliną ogólną, lecz konkretną jest cybernetyka. Ogólność wiąże cybernetykę z matematyką, a konkretność z dyscyplinami specjalnymi. Dzięki temu problemy cybernetyczne mają zapewnioną matematyzację (w ogólności zaś formalizację), a ich rozwiązania mogą być przydatne w każdej dyscyplinie konkretnej, co czyni cybernetykę nauką interdyscyplinarną. Jest oczywiste, że sam termin „cybernetyka” i przypisywane mu definicje są sprawą bez istotnego znaczenia. Pod jakąkolwiek inną nazwą dyscyplina ogólna konkretna nie przestałaby być niezbędną i spełniać swojej roli.

1. System

Zgodnie ze swoim interdyscyplinarnym charakterem, cybernetyka musi się posługiwać ogólną, interdyscyplinarną aparaturą pojęciową. Przede wszystkim dowolny obiekt badany musi mieć nazwę cybernetyczną, zamiast mnogości nazw występujących w dyscyplinach specjalnych.

Jako nazwa tego rodzaju rozpowszechnił się wyraz „system”. I tutaj jednak, zamiast odwołania się do potrzeb, zaczęto snuć domniemania na temat jego znaczenia i proponować rozmaite definicje. Od ich cytowania rozpoczyna się prawie każda publikacja z tego zakresu.

Potrzeby zaś są takie: chodzi o pojęcie tak ogólne, żeby mogło się odnosić do dowolnego obiektu, a zarazem tak szczególne, żeby umożliwiło przy tym najdalej idące rozróżnienia. Krótko mówiąc, ma to być pojęcie najszczególniejsze z ogólnych. Dochodzi się do niego na podstawie logiki matematycznej przez powiązanie pojęcia „zbioru” (elementów) z pojęciem „relacji” (między elementami). Wynika stąd definicja: *system jest to zbiór elementów i zachodzących między nimi relacji*.

Rzecz jasna, potrzebne jest zdefiniowane w ten sposób pojęcie, a nie wyraz „system”. Przytoczona definicja jest odpowiedzią na pytanie: „Jak nazywać zbiór elementów i zachodzących między nimi relacji?”, a nie na pytanie: „co to jest system?”.

W problemach interdyscyplinarnych, w których zachodzi potrzeba rozpatrywania samych tylko relacji, stosuje się pojęcie zdefiniowane następująco: *struktura systemu jest to zbiór relacji zachodzących między elementami tego systemu*. Na przykład maszyna i jej zminiaturyzowany model są różnymi systemami, ale mają jednakowe struktury.

Pojęcie systemu odgrywa tak istotną rolę w cybernetyce, że z powodzeniem można by zdefiniować cybernetykę jako naukę o zachowaniu się systemów.

W świetle tych wyjaśnień nieporozumieniem jest traktowanie teorii systemów jako czegoś odrębnego od cybernetyki, albo uważanie cybernetyki za część teorii systemów (w istocie jest na odwrót). Źródło nieporozumień tego rodzaju tkwi w rywalizacji rozmaitych środowisk naukowych w pretendowaniu do oryginalności.

2. Metoda systemowa

Posługiwanie się pojęciem systemu może być metodą przedstawiania i rozwiązywania problemów („metoda systemowa”). Zamiast tego spotyka się w literaturze wyrażenie „podejście systemowe”, jako mniej zobowiązujące, często bowiem oznacza ono samo tylko przedstawianie problemów. Przykładem mogą tu być tzw. schematy organizacyjne instytucji, składające się z prostokątów z napisami „dyrektor”, „zastępca dyrektora” itp. i łączących je linii wskazujących zależności hierarchiczne. Podobnie w pedagogice przedstawia się nauczyciela i ucznia jako sprzężone ze sobą systemy. Całe „podejście systemowe” kończy się tu jednak na przedstawieniu sytuacji. Rozwiązywanie ewentualnych problemów nie ma już z metodą systemową nic wspólnego.

Tymczasem użyteczność metody systemowej polega przede wszystkim na jej przydatności do rozwiązywania problemów. Do tego konieczne jest spełnianie pewnych rygorów merytorycznych, o których będzie mowa w następnym rozdziale.

W samym przedstawianiu problemów obowiązują pewne terminy i sposoby zapisu zapewniające większą zrozumiałość.

Tak na przykład, gdy system składa się z takich elementów, które same są systemami, każdy z nich określa się jako podsystem. Ponadto systemy mogą być elementami innego systemu, który wtedy określa się jako *nadsystem*. Terminologia taka ułatwia przedstawianie skomplikowanych obiektów jako nadsystemy złożone z systemów, które z kolei składają się z podsystemów.

Ponieważ cybernetyka jest dyscypliną konkretną, więc relacje między systemami są zawsze oddziaływaniami polegającymi na przenoszeniu informacji lub energomaterii. Oddziaływania mają określony kierunek, toteż przedstawiające je linie powinny być zaopatrzone w strzałki wskazujące ten kierunek. Umożliwiają one odróżnienie oddziaływań wejściowych systemu od oddziaływań wyjściowych. Na tej podstawie można traktować każdy system jako przetwornik oddziaływań (wejściowych w wyjściowe).

Gdy rozważania dotyczą tylko jednego systemu, nie należy zapominać, że jest on jedynie fragmentem rzeczywistości, której cała reszta nadal przecież istnieje. Znaczy to, że wyodrębnienie jednego systemu jest równoznaczne z podziałem całej rzeczywistości na dwa systemy, z których jednym jest system rozpatrywany, drugim zaś reszta rzeczywistości określana jako *otoczenie* rozpatrywanego systemu. Na schematach cybernetycznych nie zaznacza się otoczenia, uważając jego istnienie za oczywiste. Konieczne jest jednak zaznaczanie, za pomocą strzałek, oddziaływań otoczenia na system oraz oddziaływań systemu na otoczenie.

3. Rygory metody systemowej

Stosowanie metody systemowej wymaga przestrzegania kilku rygorów.

Ścisłość. System powinien być określony, aby było wiadomo, co do niego należy, a co nie należy. Określenie systemu może być nawet bardzo ogólne, ale nie może być ogólnikowe.

Niezmiennność. Określenie systemu powinno być niezmiennie w całym toku rozważań. Jest niedopuszczalne, żeby jakieś elementy były czasem traktowane jako należące do systemu, czasem zaś jako nie należące.

Rygor ten nie oznacza niezmienności systemu, lecz niezmiennność jego określenia. Chodzi o to, że w praktyce zmiany systemów nie tylko zachodzą, ale są nawet nieuniknione, ponieważ przetwarzanie oddziaływań polega na przetwarzaniu energii, a droga przepływu energii ulega zmianom spowodowanym przez ten przepływ. Na przykład maszyna przetwarza

surowce w wyroby, ale i sama jest wskutek tego przetwarzana, gdyż zużywa się. Określenie systemu powinno być jednak takie, żeby zachodzące w nim zmiany mieściły się w ramach jego określenia.

Zupełność. Podział systemu na podsystemy powinien być zupełny. Znaczy to, że system nie może zawierać elementów nie należących do żadnego z jego podsystemów.

Rygor ten odgrywa rolę np. w traktowaniu torów oddziaływań jednego podsystemu na inny. Jeżeli tor tylko przenosi oddziaływania, to uważa się go za nie istniejący, tak jak gdyby podsystemy były połączone ze sobą bezpośrednio. Natomiast jeżeli tor przetwarza oddziaływania, to musi być uwidoczniiony jako osobny podsystem pośredniczący między dwoma podsystemami. Na przykład, jeżeli system składa się z dwóch maszyn połączonych przewodami, w których uwzględnia się straty energii do otoczenia, to na schemacie należy zaznaczyć nie tylko obie maszyny jako podsystemy, lecz także przewody jako pośredniczący między nimi podsystem. Podobnie jeżeli sekretarka przekazuje polecenia zwierzchnika do podwładnego w sposób zniekształcony, to i ona powinna być uwidoczniiona jako podsystem.

Rozłączność. Podział na systemy powinien być rozłączny. Znaczy to, że system nie może zawierać elementów należących do kilku systemów na raz. Przynależność jakichś elementów do jednego systemu musi więc być równoznaczna z tym, że na pewno nie należą do żadnego innego systemu.

Funkcjonalność. Systemy powinny być wyodrębniane ze względu na spełniane funkcje, a nie ze względu na oddzielność przestrzenną.

Naruszenie tego rygoru należy do często popełnianych błędów w stosowaniu metody systemowej. Wynikają one z braku zrozumienia, że w cybernetyce istotne jest zajmowanie się działaniami, a nie przedmiotami. Spotyka się to u autorów, którym się wydaje, że gdy przedstawią jakieś obiekty jako połączone ze sobą prostokąty na schemacie, to jest to już „podejście systemowe”, a tymczasem są to jedynie pozory mające sprawiać wrażenie nowoczesności ujęcia.

W technice przejawia się to w nieodróżnianiu *organów*, tj. części urządzenia służących do robienia czegoś, od *członów*, tj. części urządzenia oddzielnych konstrukcyjnie (np. znajdujących się w oddzielnych obudowach). Tymczasem może się okazać, że jeden organ składa się z kilku członów, albo że kilka organów stanowi jeden człon urządzenia. Tylko organ, a nie człon, może być traktowany jako system.

Podobnie w problematyce organizacji można się nader często spotkać ze skłonnością do traktowania osób jako systemów na takiej podstawie, że jeden człowiek jest czymś oddzielnym od drugiego, a nie że jeden robi co innego niż drugi. Na przykład, gdy trzej

robotnicy podnoszą belki na komendy wydawane przez jednego z nich, to nie należy uważać, że jest to system złożony z trzech podsystemów (jako że jest trzech współdziałających robotników). Występują tu dwa podsystemy: kierujący („pół robotnika”) i wykonujący („dwa i pół robotnika”).

4. Zalety metody systemowej

Metoda systemowa jest coraz częściej stosowana dzięki następującym jej zaletom.

Metoda systemowa, jako formalna, uniemożliwia dowolności interpretacyjne w toku rozwiązywania problemu. Swoboda interpretacyjna istnieje tylko na początku, przy stawianiu założeń, tj. przy ustalaniu, co jest nadsystemem, jakich systemów, złożonych z jakich podsystemów oraz jakie między nimi występują relacje (oddziaływania). Wynik rozwiązania problemu uzyskuje się na zasadzie, że jeżeli operacje formalne nad danymi wejściowymi zostały wykonane poprawnie, to otrzymane dane wyjściowe są również poprawne.

Metoda systemowa, jako teoretyczna, umożliwia znajdowanie wszelkich możliwości według jednolitych kryteriów. Pod tym względem ma ona przewagę nad metodami empirycznymi wymagającymi mozolnego gromadzenia szczegółów, nie dającymi nigdy pewności, czy się wszystko dostrzegło, oraz nastroczającymi trudności przy grupowaniu zaobserwowanych danych; nasuwają się bowiem przy tym rozmaite kryteria podziału; często nieostre, pewne dane pasują do kilku kryteriów na raz, inne zaś do żadnego itp.

Metoda systemowa odznacza się przejrzystością dzięki możliwości stosowania schematów cybernetycznych dających się rozpatrywać w całości lub w dowolnej kolejności szczegółów (w odróżnieniu od kolejnego odczytywania wyrazów opisowego tekstu literackiego).

I wreszcie metoda odznacza się zwięzłością - często treść wymagająca wielostronicowych opisów daje się wyrazić za pomocą schematu narysowanego na małej kartce.

5. Inżynieria systemowa

Przyjmując, że inżynieria systemowa jest techniczną problematyką rozwiązywania problemów decyzyjnych metodą systemową można powiedzieć, że musi się ona opierać na zasadach ogólnych rozwiązywania problemów decyzyjnych.

Nasuwa się tu przede wszystkim pytanie, ile jest rodzajów problemów decyzyjnych. Metoda systemowa daje odpowiedź, że jest ich trzy. Są to problemy następujące:

- *postulacja*, czyli wskazywanie celów (stawianie żądań); jest to odpowiadanie na pytanie „co osiągnąć?”,
- *optymalizacja*, czyli znajdowanie sposobów (najskuteczniejszych); jest to odpowiadanie na pytanie „jak osiągnąć?”,
- *realizacja*, czyli zastosowanie środków (wykonanie), jest to odpowiadanie na pytanie „z czego osiągnąć?”.

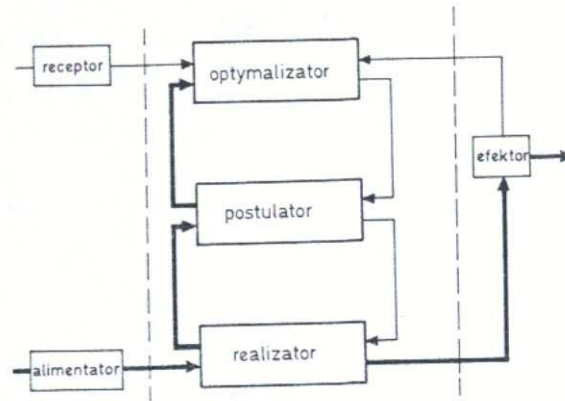
W pierwszej chwili może wydawać się niezrozumiałe, co z tym wyliczeniem ma wspólnego metoda systemowa. Sprawa ta staje się jasna, gdy wziąć pod uwagę, że postulacja określa nowy system, jaki ma powstać, optymalizacja określa mającą do niego prowadzić transformację, realizacja zaś określa stary, istniejący dotychczas, system, który ma być poddany tej transformacji, aby powstał nowy system. Mamy tu więc do czynienia z nadsystemem, którego elementami są stary i nowy system, transformacja zaś jest zachodzącą między nimi relacją. Skoro określone są elementy i relacja, to nic już nie pozostaje do określenia. Znaczy to, że nie można wymyślić żadnego problemu decyzyjnego, który by nie należał do jednego z trzech wymienionych wyżej rodzajów.

Dla uniknięcia nieporozumień trzeba mieć na uwadze, że realizacja nie jest pytaniem o rodzaj środków (na to daje odpowiedź optymalizacja), lecz o konkretne środki rozporządzalne. Na przykład optymalizatorzy mogą mówić, że na przewody elektryczne najlepiej nadaje się miedź, ale do realizacji rada ta nie wystarcza. Aby się do niej zastosować, tę miedź trzeba mieć. Nie wystarcza też powiedzieć, że do realizacji potrzebni są wykwalifikowani wykonawcy. Trzeba ponadto, żeby tacy wykonawcy istnieli i chcieli podjąć trud wykonania. O ile od postulatorów zależy, jakie cele zostaną wskazane, a od optymalizatorów zależą sposoby ich osiągnięcia, to od realizatorów zależy, czy będą mogły być osiągnięte.

Uwzględniając rolę otoczenia można powiedzieć, że wszelka kompletna działalność decyzyjna (a więc i inżynieria systemowa) musi być oparta na funkcjonowaniu systemu złożonego z trzech podsystemów (postulator, optymalizator, realizator), w którym występują cztery następujące sprzężenia:

- sprzężenie między optymalizatorem a otoczeniem (zapewniające informacje z otoczenia i sposoby modyfikacji otoczenia),
- sprzężenie między optymalizatorem a postulatorem (zapewniające współzależność sposobów z celami),

- sprzężenie między realizatorem a postulatorem (zapewniające współzależność środków z celami),
- sprzężenie między realizatorem a otoczeniem (zapewniające zasilanie z otoczenia i środki modyfikacji otoczenia).



Rys. Podobieństwo struktury układu sterowniczego i układu samodzielnego

Schemat systemu spełniającego powyższe wymagania jest podany na rysunku. W schemacie tym jest godne uwagi, że optymalizacja i realizacja są procesami współrzednymi w stosunku do postulacji. Znaczy to, że nie tylko sposoby i środki są zależne od celów, a cele są zależne od sposobów i środków, lecz - za pośrednictwem postulacji - także sposoby są zależne od środków, a środki od sposobów.

Tak na przykład materiały dobiera się do projektów budowy, ale i projekty budowy dobiera się do materiałów. Posiadane wojsko dostosowuje się do planów wojennych, ale i plany wojenne dostosowuje się do posiadanego wojska. Leki dostosowuje się do sposobów leczenia, ale i sposoby leczenia dostosowuje się do leków itp.

Odmienne od omawianego schematu, a dość rozpowszechniony, jest pogląd, że prawidłowa organizacja przedsięwzięć wymaga kolejności: cel – projekt – wykonanie. Pogląd ten opiera się na milczącym lub nieświadomym założeniu, że sposobów jest pod dostatkiem, a tylko trzeba mieć dobre chęci, żeby się nimi posłużyć, do celów dobierając sposoby, a do sposobów środki.

Klarowność omawianych spraw bywa też zacieraana przez naruszanie wspomnianego już rygoru, żeby traktować systemy z punktu widzenia ich funkcji jako przetworniki oddziaływań, a nie ze względu na to, że stanowią obiekty, np. poszczególne osoby.

Łatwo zauważyć, że możliwe są trzy sytuacje, w których jeden człowiek spełnia dwie funkcje decyzyjne, oraz jedna sytuacja, w której jeden człowiek spełnia wszystkie trzy funkcje decyzyjne. Poglądowo można te sytuacje wyrazić następująco:

– wiem co i jak osiągnąć (połączenie funkcji postulatora i optymalizatora), ale niech to wykona ktoś inny,

– wiem co osiągnąć i mogę to wykonać (połączenie funkcji postulatora i realizatora), ale niech ktoś inny powie jak,

– wiem jak coś osiągnąć i mogę to wykonać (połączenie funkcji optymalizatora i realizatora), ale niech ktoś inny powie co,

– wiem co i jak osiągnąć i mogę to wykonać (połączenie funkcji postulatora, optymalizatora i realizatora).

Tymczasem z cybernetycznego punktu widzenia, niezależnie od liczby osób, w każdej z powyższych sytuacji występują wszystkie trzy systemy, tj. postulator, optymalizator i realizator. Pamiętanie o tym zapewnia jednolitość rozwiązywania problemów w inżynierii systemowej.

System and the Rigours of its Application

Summary

The cybernetic approach consists in considering the investigated object to be composed of distinct elements, the set of interrelated elements being called the system. The rigours and advantages of such an approach are elucidated. The very first rigour is the functionality – one activity is a function of one undersystem, and one undersystem executes one activity.

Streszczenie w języku rosyjskim.

Instytut Polityki Naukowej i Szkolnictwa Wyższego

Polskiej Akademii Nauk

Nowy Świat 69

00-046 Warszawa

Praca wpłynęła do Redakcji 7 grudnia 1985