Zbigniew CZERWIŃSKI

CZY ISTNIEJE CYBERNETKA EKONOMICZNA I CZYM ONA JEST?

1. WSTĘP

"Cybernetyka ekonomiczna" (nazwa chyba po raz pierwszy użyta przez O. Langego w 1965 roku)[1] nie jest teorią ekonomiczną konkurencyjną wobec wcześniejszych teorii. Nie jest w ogóle teorią, bo nie ma twierdzeń cybernetyczno-ekonomicznych. Jest pewnym spojrzeniem na gospodarkę mniejszych lub większych obiektów (przedsiębiorstw, krajów, regionów, świata). Charakterystyczne dla cybernetycznego spojrzenia na gospodarkę jest patrzenie na nią jako na system opisywalny pewnym układem zmiennych, między którymi występują wzajemne sprzężenia (powiązania), co jest zresztą wspólne cybernetyce i teorii systemów, między którymi nie sposób dokładnie wytyczyć granicę. Cybernetyczne spojrzenie tkwiło w wielu podejściach do badania procesów gospodarczych: w ekonometrii (lata dwudzieste), w teorii "input–output" Leontiewa (lata czterdzieste), w ekonomii matematycznej XIX wieku, a nawet w XVIII-wiecznej teorii Quesneya. Dlatego Lange nie bez racji powiedział, że od cybernetyków ekonomiści dowiedzieli się, że mówią prozą. Cybernetyka ekonomiczna jest "czapką" nałożoną na spojrzenia wywodzące się z różnych wcześniej lub równocześnie z nią powstałych dyscyplin, pod którą również wkładane są osiągnięcia dyscyplin zrodzonych później od cybernetyki (wspomnianej już teorii systemów, badań operacyjnych, dynamiki systemów).

Te dyscypliny były dziełem ludzi reprezentujących różne zaplecza intelektualne: wykształconych w różnych naukach i przyzwyczajonych do różnych języków. Gdy dwóch "cybernetyków ekonomicznych" mówi dziś to samo, nie wiadomo, czy to istotnie jest to samo.[2] Poza rozbieżnościami językowymi można zauważyć

* Akademia Ekonomiczna w Poznaniu

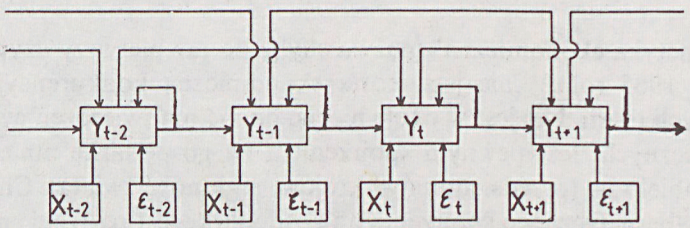
[1] Zob. Lange [6].

[2] Różnie rozumiane są takie terminy jak "identyfikacja" (systemu), "stan" (systemu), "mnożnik", "wejście", "wyjście", i inne, na co będziemy dalej zwracać uwagę.

poważne rozbieżności w poglądzie na to, jak gospodarks funkcjonuje, w szczególności, w jakim stopniu poddaje się ona sterowaniu, a w jakim jest bezwładna. Przypatrzymy się bliżej spojrzeniom na gospodarkę wywodzącą się z różnych dyscyplin podciąganych pod ogólne pojęcie "cybernetyki ekonomicznej".

2. SPOJRZENIE EKONOMETRYCZNE

Schemat spojrzenia ekonometrycznego pokazany jest na rys. 1. Istotne w ekonometrii jest rozróżnienie zmiennych, za pomocą których opisujemy gospodarkę na ENDOgeniczne i EGZOgeniczne (dalej w skrócie ENDO i EGZO). Wartości zmiennych ENDO (Y) są wyznaczane przez ich wartości wczesniejsze i równoczesne oraz przez wartości zmiennych (EGZO) (X), z dokładnością do zakłócenia losowego (ε).



Rys. 1.

Przy założeniu liniowości wszystkich powiązań, schematowi przedstawionemu na rysunku 1 odpowiada układ równań:[3]

$$AY_t = \sum_{\tau=1}^{\vartheta} A_\tau Y_{t-\tau} + BX_t + \mathscr{E}_t \tag{1}$$

Przy założeniu, że det $A \neq 0$ można układ równań (1) przedstawić w postaci

$$Y_t = \sum_{\tau=1}^{\vartheta} P_\tau Y_{t-\tau} + QX_t + \mathscr{F}_t, \tag{2}$$

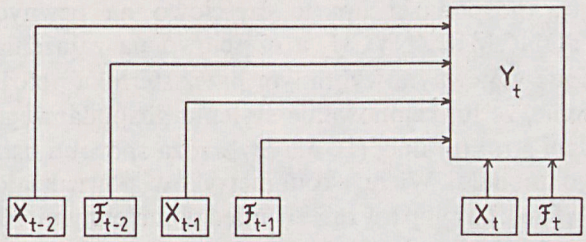
(czemu na rysunku odpowiadałaby redukacja pętli prowadzącej od Y_t do Y_t), a przy założeniu, że $\lim_{n\to\infty} P_\tau^n = 0$ dla wszastkich τ, można z układu (2) wyprowadzić rekurencyjnie układ

$$Y_t = \sum_{\tau=0}^{\infty} \Gamma_\tau X_{t-\tau} + \Phi(\mathscr{F}_t, \mathscr{F}_{t-1} \ldots), \tag{3}$$

[3] Nie jest to zapis najogólniejszy, nie uwzględnia bowiem bezpośredniego oddziaływania z opóźnieniem zmiennych EGZO na zmienne ENDO. Ale to nie zmienia istoty sprawy. Na rysunku – dla przejrzystości przyjęto $\vartheta = 2$. Jeśli chodzi o różne postacie modeli ekonometrycznych zob. H. Theil [14], E. Stolarka [13].

gdzie $\Gamma_0 = Q$, $\Gamma_\tau (\tau > 0)$ są wynikami pewnych przekształceń macierzy P_τ i Q, a Φ pewnym przekształceniem zakłóceń losowych. W literaturze przyjęło się układ (1) nazywać postacią strukturalną, układ (2) – postacią zredukowaną, a układ (3) – postacią końcową modelu ekonometrycznego.

Postaci końcowej modelu odpowiada rysunek 2.



Rys. 2.

Sam schemat strukturalnej postaci modelu ekonometrycznego nie przesądza, które zmienne mają być przy badaniu konkretnego systemu uznane za zmienne ENDO, a które zmiennymi EGZO, ani czy wartości zmiennych EGZO pochodzą z "otoczenia" systemu, nad którymi nikt nie panuje, czy też znajdują się one pod kontrolą kogoś, kto dzięki temu może systemem sterować. W pierwszym przypadku będziemy zmienną EGZO nazywali AUTONOMICZNĄ. W drugim – STEROWALNĄ lub po prostu STEREM[4], a osobę (zespół ludzi) kontrolującą stery – sternikiem.

Z końcowej postaci modelu ekonometrycznego (3) widać, że – jeśli pominąć zakłócenia losowe – to teraźniejszy stan gospodarki opisany układem zmiennych ENDO jest całkowicie wyznaczony przez wcześniejsze wartości zmiennych EGZO. Elementy macierzy Γ_τ, zwane mnożnikami, pokazują "z jaką siłą" wartości zmiennych EGZO oddziaływują na teraźniejsze wartości zmiennych ENDO. Gdyby wszystki zmienne EGZO były AUTONOMICZNE, to gospodarka byłaby systemem bezwładnym. Człowiek mógłby grać tylko rolę biernego obserwatora i ewentualnie prognozować jej przyszłe stany, o ile oczywiście dysponowałby metodą prognozowania zmiennych EGZO. Gdyby wszystkie zmienne były STEROWALNE, sternik mógłby gospodarką doskonale sterować, doprowadzając ją do stanów pożądanych, w granicach wyznaczonych przez możliwości manipulowania wartościami tych zmiennych ("nastawiania sterów"). (Zarówno trafność prognoz, jak i skuteczność sterowania zależałyby tylko od działania zakłóceń losowych.) Rzeczywiste systemy gospodarcze, których funkcjonowania próbują ekonometrycy opisać swymi modelami nie są całkowicie bezwładne, ani całkowicie sterowalne. Zmienne EGZO są częściowo AUTONOMICZNE, a częściowo STEROWALNE, a ponadto obie

[4] Zmienne nazwane tu STEROWALNYMI nazywane są też INSTRUMENTALNYMI (por. Tinbergen [15], Maciejowski [8]). Nazwa ta jest skądinąd używana w zupełnie innym sensie w tejże samej ekonometrii dla oznaczenia zmiennych pomocniczych używanych w pewnej metodzie szacowania parametrów modelu – tzw. "metodzie zmiennych instrumentalnych". Zob. Theil [14].

te własności przysługują im w pewnym stopniu. Są to cechy stopniowalne, choć niemierzalne. Intuicyjne wyczucie tego faktu sprawia, że w ostatnich latach mówi się coraz rzadziej o prognozowaniu stanu gospodarki lub o sterowaniu nią, w modę natomiast weszło mówienie o sporządzaniu na podstawie modeli różnych scenariuszy rozwoju. Są to możliwe wizje przyszłych stanów gospodarki oparte częściowo na pewnych prognozach zmiennych AUTONOMICZNYCH, a częściowo na założeniach, że STERY zostaną nastawione w pewnym wybranym przez sternika położeniu.

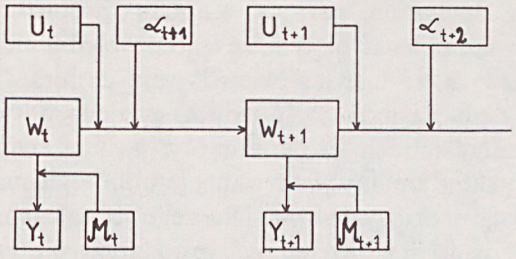
Samo założenie, że funkcjonowanie systemu gospodarczego da się opisać modelem o postaci strukturalnej (1), nie przesądza sposobu ustalenia wartości parametrów tego modelu. Wielu ekonometryków powiedziałoby pewnie, że przyjęcie takiej struktury powiązań między zmiennymi ENDO i EGZO, jakie układ równań (1) zakłada, nie przesądza jeszcze czy mamy do czynienia z modelem ekonometrycznym. Za "ekonometryczny" model może uchodzić dopiero wtedy, gdy wartości parametrów układu (1) zostały "oszacowane metodami ekonometrycznymi", co w każdym razie oznacza, że zostały one w jakiś sposób odtworzone z analizy materiału statystycznego opisującego przeszłość badanego systemu. Układ równań (1) nie byłby w ogóle modelem ekonometrycznym, gdyby wartości jego parametrów zostały, na przykład, ocenione przez "ekspertów". Trudno byłoby ogólnie określić, czym różnią się "ekonometryczne" metody szacowania wartości parametrów od "nieekonometrycznych". Wydaje się, że istotne dla metod "ekonometrycznych" jest wyraźne uwzględnienie w procedurze oddziaływania zakłóceń losowych. Tu jednak można sceptycznie zauważyć, że jakkolwiek ekonometrycy rzeczywiście zakłócenia losowe w modelu uwzględniają i w toku estymacji parametrów wykorzystują formalne własności tym zakłóceniom przypisane, to jednak z chwilą przejścia od estymacji modelu do jego wykorzystania dla określenia scenariuszy rozwoju (prognozowania, sterowania), o zakłóceniu losowym jak gdyby, zapominają, przypisując mu nieodmiennie wartość zerową (na podstawie założenia, że jego wartość oczekiwana jest równa zeru).

3 KALMANOWSKA KRYTYKA EKONOMETRII I JEGO KONCEPCJA SYSTEMU

Kalman[5] poddał surowej krytyce modele ekonometryczne, procedury stosowane przy estymacji tych modeli i używaną przez ekonometryków terminologię. Wiąże się to z jego pojmowaniem systemu (którego obrazem ma być

[5] Zob. Kalman [4].

model). Funkcjonowanie systemu w rozumieniu Kalmana można zobrazować następującym rysunkiem:



Rys. 3.

Rysunkowi temu odpowiada układ równań:

$$W_{t+1} = \Phi(W_t, U_t, \alpha_{t+1}), \tag{4}$$

$$Y_t = \Psi(W_t, \mathcal{M}_t), \tag{5}$$

który – w przypadku, gdy powiązania między zmiennymi są liniowe – miałby postać:

$$W_{t+1} = FW_t + GU_t + \alpha_{t+1}. \tag{4a}$$

$$Y_t = HW_t + \mathcal{M}_t. \tag{5a}$$

Kalman używa innej niż ekonometrycy terminologii. Zmienne użyte w modelu opisującym system dzieli na WEJŚCIA, STANY WEWNĘTRZNE i WYJŚCIA (INPUTS, STATES i OUTPUTS).[6] Ta trójczłonowa klasyfikacja wiąże się z koncepcją systemu jako obiektu nie w pełni obserwowalnego. Nieobserwowalne są właśnie STANY WEWNĘTRZNE (*W*). Mechanizm funkcjonowania systemu mamy odkryć, obserwując tylko WEJŚCIA(*U*) i WYJŚCIA(*Y*). Ten proces odkrywczy to identyfikacja systemu, w której Kalman widzi dwie fazy: realizacja i parametryzacja[7]. Ekonometrykom zarzuca, że nie widzą tego rozróżnienia, wskutek czego przechodzą do fazy parametryzacji (szacowania wartości parametrów) zanim przekonali się czy w ogóle może istnieć system, który generowałby nagromadzone obserwacje WEJŚĆ i WYJŚĆ, czy system taki jest jedyny, a w razie gdyby mogło ich być wiele – który z nich jest "najprostszy" (realizuje się w najmniejszej przestrzeni stanów). Dopiero w tym ostatnim przypadku, który Kalaman charakteryzuje jako istnienie "kanonicznego"sys-

---

[6] Ta terminologia nie jest wygodna. Wartość zmiennej opisuje zawsze stan "czegoś". Najlepiej więc byłoby mówić: STAN WEJŚCIA, STAN WNĘTRZA, STAN WYJŚCIA, traktując wejścia, wnętrze i wyjścia jako pewne wyróżnione elementy systemu. Terminy WEJŚCIE i WYJŚCIE są jednak dogodnmiejsze, jako krótsze. Ponieważ w języku polskim nie można używać słowa STAN bez żadnego dopełnienia – słowo STATE tłumaczymy przez STAN WEWNĘTRZNY (SYSTEMU), co czynimy też dla odróżnienia terminologii Kalmana od terminologii używanej w teorii optymalnego sterowania, w której (w języku angielskim) używa się terminu STATE VARIABLE w przeciwstawieniu do CONTROL VARIABLE, przy czym zmienne opisujące STAN w sensie tej teorii, niekoniecznie charakteryzują to, co STANEM (WEWNĘTRZNYM) byłby skłonny nazywać Kalman.

[7] Zob. Kalman [4] oraz Kalman, Falb, Arib [5].

temu generującego obserwacje, ma jego zdaniem sens szacowanie (jedynego wówczas) układu wartości paramterów modelu opisującego system. Badanie czy te warunki są spełnione nazywa Kalman problemem realizacji.[8] Błąd ekonometryków ma polegać na tym, że tego problemu nie dostrzegają. Zarzuca im w związku z tym, że niewłaściwie używają terminu "identyfikacja" (który w ekonometrii oznacza możliwość jednoznacznego odtworzenia parametrów postaci stukturalnej modelu, z parametrów postaci zredukowanej) i w ogóle sugeruje im radykalne zmiany w używanej terminologii, mające na celu zbliżenie jej do terminologii teorii systemów. Dlaczego jednak teoria systemów ma być lepiej dostosowana do opisu systemów gospodarczych niż ekonometria, tego nie wyjaśnia.

Przy dziesiejszym stanie naszej wiedzy nie sposób odpowiedzieć na pytanie, które spojrzenie na gospodarkę jest bliższe rzeczywistości: czy to które proponują ekonometrycy, czy to które opierałoby się na kalmanowskiej koncepcji systemu. Są to w każdym razie różne spojrzenia. Wyraża się to przede wszystkim w różnej klasyfikacji zmiennych opisujących system. O ile kalmanowskie INPUTs mogą być uważane za odpowiedniki tych ekonometrycznych zmiennych EGZO, które są STEROWALNE, a OUTPUTs za odpowiedniki ekonometrycznych zmiennych ENDO, o tyle nie wiadomo czemu odpowiadać mają kalmanowskie STATEs – nieobserwowalne stany wewnętrzne. W klasycznych modelach ekonometrycznych ich nie ma. Są natomiast zmienne EGZO nie poddające się sterowaniu (AUTONOMICZNE), nie widać jednak powodu, dla którego miałyby być one uznane za nieobserwowalne (chyba że chodziłoby tylko o błędy pomiarów wartości tych zmiennych).[9] Niezależnie od tego ekonometryczna koncepcja zmiennych AUTONOMICZNYCH i kalmanowska koncepcja zmiennych STATEs to zupełnie różne koncepcje, ponieważ zmienne AUTONOMICZNE kształtują się niezależnie od zmiennych STEROWALNYCH, podczas gdy kalmanowskie STATEs kształtują się zależnie od INPUTs. Gdyby gospodarka była systemem kalmanowskim, to od dowolnego momentu O, w którym stan wewnętrzny W_o jest znany, byłaby ona sterowalna z niedokładnością wynikającą tylko z zakłóceń losowych α_t psujących efekt sterowania, i $\mathcal{M}_t$ nie pozwalających dokładnie poznać stanu wewnętrznego. Gdyby gospodarka działała zgodnie z modelem ekonometrycznym, byłaby sterowalna (z dokładnością do zakłóceń losowych) tylko wtedy, gdyby wszystkie zmienne EGZO były STEROWALNE.

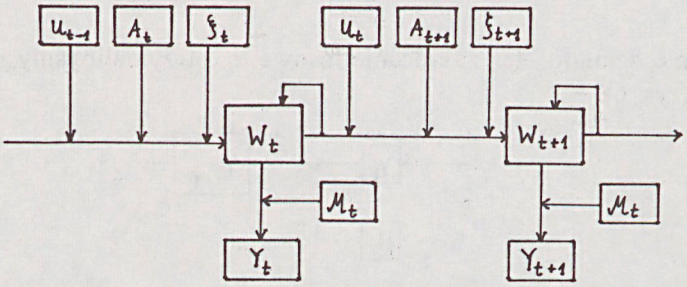
---

[8] Dla rozwiązania tego problemu Kalman buduje "teorię realizacji" (por. pozycję cytowaną w poprzednim odsyłaczu). Przykład zastosowania tej teorii do modelowania ekonometrycznego podany w pracy Kalman [4] wzbudza wiele wątpliwości.

[9] Taką sytuację rozpatruje się w ekonometrii, gdy buduje się tzw. "error in variables models", które jednak stosunkowo rzadko są używane, prawdopodobnie dlatego, że ekonometrycy zdają sobie sprawę z tego, iż pomiar wszystkich w ogóle zmiennych ekonomicznych jest obarczony jakimś niewykrywalnym błędem. Zakłócenie losowe, mimo że nazywane jest czasem "błędem losowym", nie jest w klasycznych modelach ekonometrycznych traktowane jako wynik błędu pomiaru, ale jako rezultat działania nieuwzględnionych w modelu, drugorzędnych sił oddziaływujących na zmienne ENDO.

Kalmanowska teoria systemów jest raczej dostosowana do opisu systemów techniczych niż ekonomicznych. Trudno bowiem byłoby przyjąć, że jedynym źródłem niepodatności gospodarki na sterowania są zakłócenia losowe i że nie oddziałowują na nią żadne nieopanowane przez potencjalnego sternika zmienne EGZO. Z drugiej strony nie widać powodu, dla któerego miałoby się wyróżniać przy opisie gospodarki pewne nieobserwowalne STANY WEWNĘTRZNE, które grają istotną rolę w teorii Kalmana i które istotnie występują w systemach technicznych tam, gdzie pewne nieobserwowalne stany są rejestrowane za pomocą instrumentów pomiarowych dających pomiar obarczony błędem. W kalmanowskiej krytyce ekonometrii widać niebezpieczeństwo, jakie wiąże się z przenoszeniem teorii przystosowanej do pewnej klasy obiektów na obiekty innej klasy – z obiektów technicznych na społeczne. Właściwa dla "cybernetycznego myślenia" skłonność do dopatrywania się podobieństwa między funkcjonowaniem obiektów badanych przez różne nauki jest w tym przypadku posunięta zbyt daleko.

Warto zauważyć, że systemy w rozumieniu Kalmana i systemy opisywane przez modele ekonometryczne można uważać za szczególne przypadki systemu w sensie ogólniejszym, zobrazowanego rysunkiem 4.



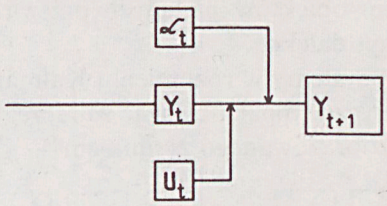
Rys. 4.

Łatwo sprawdzić, że gdybyśmy na tym rysunku opuścili bloki A_t (nie ma zmiennych AUTONOMICZNYCH) i pętle łączące bloki W_t z nimi samymi, to otrzymalibyśmy (poza nieistotnymi różnicami graficznymi) rysunek 3, obrazujący system w rozumieniu Kalmana (przy podstawieniu α_t za ξ_t). Gdybyśmy natomiast opuścili zakłócenia losowe $\mathcal{M}_t$ (co pozwoliłoby utożsamić W_t z Y_t i opuścić dolną część rysunku) a układ zmiennych (U_{t-1}, A_t) oznaczyli łącznie przez X_t, to otrzymalibyśmy (znów poza nieistotnymi różnicami) schemat modelu ekonometrycznego przy $\vartheta = 1$, czyli rysunek taki, jak rysunek 1, z pominięciem strzałek łączących bloki Y_t o wskaźnikach czasu różniących się więcej niż o 1. (Na rys. 1 przyjęto $\vartheta = 2$). Dla pełnej dokładności trzeba by tylko podstawić $\mathcal{E}_t$ za ξ_t. Tak więc kalmanowskie i ekonometryczne pojęcie systemu (ekonomicznego) są szczególnymi przypadkami pojęcia systemu w pewnym ogólniejszym od obu sensie. Raz jeszcze potwierdza się, że w koncepcji Kalmana nie ma zmiennych AUTONOMICZNYCH i że zmienne EGZOGENICZNE w rozumieniu ekonometrii obejmują tamte właśnie zmienne oraz kalmanowskie

INPUTs, czyli STERY, za pomocą których można oddziaływać na gospodarkę, choć nie można jej poddać pełnej kontroli ze względu na równoczesne oddziaływanie na nią niekontrolowanych zmiennych AUTONOMICZNYCH.

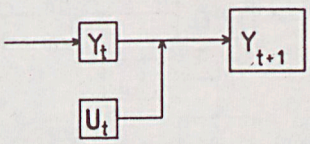
4. SZCZEGÓLNE PRZYPADKI SYSTEMÓW W SENSIE KALMANA – DYNAMICZNY MODEL LEONTIEWA

Ze schematu funkcjonowania systemu w rozumieniu Kalmana (zob.rys. 3) można otrzymać różne schematy szczególne. Gdybyy przyjąć, że zakłócenia losowe $\mathcal{M}_t$ "nie działa" (przyjmuje stale wartość zerową) i że $Y_t = W_t$ otrzymalibyśmy zamiast schematu przedstawionego na rysunku 3 schemat następujący:



Rys. 5.

Gdyby "nie działało" też zakłócenie losowe α_t, otrzymalibyśmy jeszcze prosty schemat (rys. 6).



Rys. 6.

Schematom tym odpowiadałyby kolejno układy równań:

$$Y_{t+1} = \Phi(Y_t, U_t, \alpha_{t+1}), \tag{6}$$

$$Y_{t+1} = \Phi(Y_t, U_t), \tag{7}$$

które w przypadku liniowych powiązań między zmiennymi miałyby postać:

$$Y_{t+1} = FY_t + GU_t + \alpha_{t+1}, \tag{6a}$$

$$Y_{t+1} = FY_t + GU_t. \tag{7a}$$

W tych szczególnych schematach znikło rozróżnienie między STANAMI WEWNĘTRZNYMI (STATES) i WYJŚCIOWYMI (OUTPUTs). Zmienne opisujące funkcjonowanie systemu dzielą się tylko na dwie klasy, które nazywać będziemy STANAMI (Y) i STERAMI (U), by przystosować się do terminologii sterowania optymalnego, gdzie wyróżnia się STATE variables i CONTROL variables. STERY są więc w tych szczególnych przypadkach tym samym co

kalmanowskie INPUTs, a STANY – to równocześnie kalmanowskie STATES i OUTPUTs, które przestały być rozróżniane.

Warto odnotować, że pod szczególny schemat systemu przedstawiony na rysunku 6, któremu odpowiada (przy założeniu liniowości) układ równań (7a), podpada dobrze ekonomistom znany i często stosowany do analizy gosopodarki dynymiczny model Leontiewa (DML). Model ten nie jest schematem funkcjonowania gospodarki "w ogóle", lecz schematem funkcjonowania gospodarki narodowej opisanej za pomocą zmiennych, reprezentujących produkcję i trzy rodzaje jej zużycia: zużycie produkcyjne, inwestycyjne i konsumpcyjne. Jest to więc model, który uwzględniając wielkości niewątpliwe dla charakterystyki funkcjonowania gospodarki podstawowe, abstrahuje od tego, jak kształtują się różne inne interesujące ekonomistę wielkości (płace, zyski, ceny, etc.)

DML to liniowy układ równań różnicowych.[10]

$$(E-A)X_t = B\Delta X_t + C_t, \qquad (\Delta X_t = X_{t+1} - X_t), \tag{8}$$

w którym:

X_t – produkcja,
AX_t – zużycie produkcyjne,
$B\Delta X_t$ = zużycie inwestycyjne (inwestycje),
C_t = zużycie konsumpcyjne (konsumpcja)[11].

Gdy macierz B jest nieosobliwa, można układowi (B) nadać postać:

$$X_{t+1} = [E+B^{-1}(E-A)]X_t - B^{-1}C_t. \tag{9}$$

Jest to szczególny przypadek układu (7a), przy

$$Y_t := X_t,\ F := E+B^{-1}(E-A),\ U_t := C_t,\ G := B^{-1}. \tag{10}$$

W układzie równań (9) rolę STANU gra zmienna X, czyli produkcja. Sugeruje to, że gospodarkę opisaną DML można sterować, ustalając dla kolejnych lat konsumpcję. Wydaje się to sprzeczne znaszą wiedzą o gospodarce. Doceniając rolę konsumpcji jako celu gospodarczej działalności człowieka, trudno pogodzić się z myślą, by sam fakt ustalenia pewnej trajektorii konsumpcji mógł wymusić odpowiednią trajektorię produkcji (pomijając różne inne ograniczenia, które w DML nie są uwzględniane). Intuicja mówi nam, że sterem w sensie

[10] Model ten został pierwotnie sformułowany przez Leontiewa [7]. Jest odtąd często przedstawiany w różnych wersjach w literaturze matematyczno-ekonomicznej. Por. Allen [1].

[11] Ten model opisuje gospodarkę "zamkniętą", tj. nie mającą kontaktu z innymi gospodarkami, z którymi może wymieniać produkty. Ogólniejsze spojrzenie daje wprowadzenie z prawej strony zamiast wyrażenia BX_t wyrażenia $\sum_{\tau=0}^{s} B_\tau \Delta X_{t+\tau}$, co odpowiada rozłożeniu cyklu inwestycyjnego na więcej niż jeden okres. Te uogólnienia nie zmieniałyby jednak w sposób istotny tych spostrzeżeń, które zamierzamy poczynić. DML zakłada, że gospodarka jest podzielona na pewne sektory (działy, gałęzie) w liczbie równej liczbie składowych wektorów produkcji (X) i konsumpcji (C).

siły wywołującej zmiany w produikcji mogą być zmiany w wykorzystanych środkach produkcji, a więc (m. in.) inwestycje, a nie fakt zużywania produkcji, czyli konsumpcja.

Skąd bierze się ten paradoks? Od strony formalnej poprawności przejścia od układu równań (8) do układu (9) przy założeniu nieosobliwości macierzy B nie można kwestionować. Wniosek, że dzięki temu gospodarką można sterować ustalając konsumpcję jest jednak zbyt pochopny. Dotąd interesowały nas same tylko schematy różnych spojrzeń na gospodarkę i klasyfikacja zmiennych za pomocą których funkcjonowanie gospodarki próbuje się opisać. Nie wchodziliśmy w teorię sterowania (optymalnego), wysoce zaawansowaną teorię, wskazującą metody znajdowania optymalnych trajektorii zmiennych opisujących funkcjonownie systemów, przy zadanym kryterium optymalności, wyjściowym stanie systemu i określonym (ew. nieskończonym) horyzoncie, w którym system rozpatrujemy.[12] Metody znajdowania takich trajektorii da się ustalić, ale w przypadku, gdy STERY mogą być nastawiane w sposób niezależny od STANU, w jakim system się znajduje. Dokładniej mówiąc, zbiory funkcji, z których mogą być wybierane STERY U_t, muszą być określone niezależnie od tego, jaki jest STAN systemu Y_t. Ten warunek nie jest spełniony w przypadku DML. Konsumpcja C_t może być ustalana tylko w granicach od 0 do $(E-A)X_t$, a więc możliwe nastawienie STERU zależy od STANU systemu.

Niezależnie od tej formalnej uwagi nasuwają się jednak w związku z kwestią sterowalności systemami ekonomicznymi pewne uwagi ogólniejsze. Modele gospodarki zaliczone do cybernetycznych to pewne schematy (rysunki) lub układy równań. Schematy odgrywają ważną rolę przy dochodzeniu do koncepcji modelu i w dydaktyce, ale dla przeprowadzenia obliczeń o znaczeniu praktycznym ważne są równania, za pomocą których badany system opiszemy. Czym w ogóle są równania? Bezpośrednio dowolne równanie nie stwierdza nic ponad to, że wartości zmiennych z prawej strony równania jednoznacznie wyznaczają wartości zmiennych z jego lewej strony. Na czym to "wyznaczenie" polega, tego samo równanie nie przesądza. To zależy od intencji autora równania. Może on sobie wyobrażać to tak, że wartości zmiennych z prawej strony "wywołują" wartości zmiennych z lewej strony na zasadzie pewnego "prawa" rządzącego zachowaniem się badanego obiektu, którego odpowiednikiem jest przekształcenie występujące z prawej strony równania, tak na przykład jak się to dzieje wtedy, gdy wskutek zwiększenia dopływu paliwa do komory spalania wzrasta liczba obrotów silnika, a stąd prędkość samochodu. Ale równanie o tej samej postaci może być napisane z inną intencją: jeżeli chcesz, żebym zmienne występujące z prawej strony przyjęły zadane wartości, to musisz zmienne z lewej

[12] Metodami znajdowania sterowań optymalnych tu się nie zajmujemy. Są one opracowane dla różnych typów systemów: z zakłóceniami losowymi ("stochastycznych") i bez nich ("deterministycznych"), liniowych i nieliniowych, z czasem dyskretnych (takich, jakie tu rouzpatrujemy) i czasem ciągłym.

strony doprowadzić do wartości wyznaczonej przez przekształcenie występujące z prawej stony równania. Schematyczne równanie

$$q = f(p)$$

może albo odzwierciedlać intencję:

a) jeżeli doprowadzisz p do p_0, to tym samym spowodujesz, że q przyjmie wartość $f(p_0)$;

b) jeżeli chcesz, by p osiągnęło wartość p_0, to musisz dobrać takie q, by było ono równe $f(p_0)$.

Za równaniami wchodzącymi w skład modeli uznawanych za cybernetyczne kryją się różne intencje. Z pewnością DML jest układem równań napisanym z intencją (b): jeśli chcesz skonsumować C_t i zainwestować tyle, by uzyskać przyrost produkcji o ΔX_t, to (przy danej "technologii" systemu opisanej macierzami A i B) musisz wyprodukować $(E-A)^{-1}(B\Delta X_t + C_t)$. Formalne przekształcenie równania (8) w (9) może sugerować, że przez sam dobór C_t można (przy danym stanie X_t) wywołać pewien stan X_{t+1}, co nie jest prawdą.

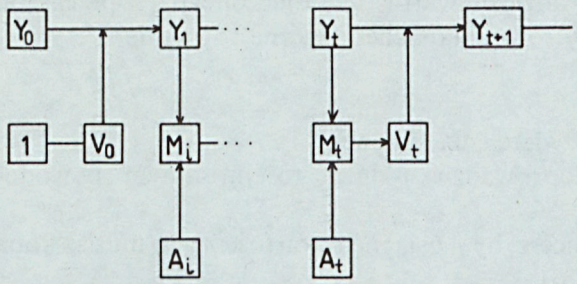
Uwzględnienie intencji, z jaką zapisywane są równania modelowe (co dla matematyka jes rzeczą obojętną) jest ważne dla sensownej interpretacji modeli mających opisywać badane obiekty i dla korzystania z wyników obliczeń (optymalizacyjnych, symulacyjnych) przeprowadzanych na podstawie tych modeli. Przedstawione wyżej rozróżnienie odpowiada rozróżnieniu dwóch typów modelowania, nazwanych przez Mesarovica causal modelling i goal modelling.[13] Odpowiada ono też przeciwstawieniu push-type models i pull-type models, wprowadzonemu przez Tsukui.[14] DML jest modelem typu pull-type, podczas gdy wiele modeli budowanych dla opisu systemów technicznych to modele push-type. (Takimi modelami są też modele ekonometryczne).

5. SPOJRZENIE NA GOSPODARKĘ OD STRONY DYNAMIKI SYSTEMÓW

Wśród spojrzeń na gospodarkę, które zasługują na miano cybernetycznych wymienić trzeba dynamikę systemów Forrestera[15], na której opiera się wiele modeli rozwoju mikro- i makrosystemów gospodarczych. Ogólną ideę tych modeli ilustruje rysunek 7.

---

[13] Zob. Masarovic [10].
[14] Zob. Tsukui [16], s. 57 i in.
[15] Zob. Forrester [2] i [3].



Rys. 7.

Foresterowska klasyfikacja modeli zmiennych jest zupełnie odmienna od poprzednich. Wyróżnia on POZIOMY (LEVELS), PRĘDKOŚCI (RATES)[16], MNOŻNIKI (MULTIPLIERS) i zmienne POMOCNICZE (AUXILIARIES). Dokładne przedstawienie równań dynamiki systemów wymagałoby wprowadzenia specjalnego języka dostosowanego do tej koncepcji badawczej[17]. Dla porównania podejścia forresterowskiego z innymi tu omawianymi wystarczy jednak podać układ równań sformułowany w "zwykłym" języku matematycznym, oddający samą istotę dynamiki systemów

$$Y_{t+1} = Y_t + V_t \Delta t, \tag{11}$$

$$V_{it} = V_{it-1} * \prod_{l \in Z_t} M_{lt} \tag{12}$$

$$M_{lt} = \varphi_l(Y_t, A_t), \tag{13}$$

Y_o dane, V_o *dane*, $M_{lo} = 1$.

System funkcjonujący zgodnie z dynamiką systemów rozwijałby się równomiernie, tj. ze stałymi prędkościami wzrostu zmiennych typu POZIOMY, gdyby nie to, że wraz ze zmianą POZIOMÓW następują zmiany w PRĘDKOŚCIACH wzrostu zmiennych tego typu. Zmiany te zachodzą za pośrednictwem MNOŻNIKÓW,[18] które znajdują się też pod wpływem pewnych zmiennych POMOCNIOCZYCH. Formalnie układ równań opisujący dynamikę systemu jest podobny do układu równań różnicowych, ale takiego układu, którego parametry zmieniają się, gdy zmieniają się wartości zmiennych.

---

[16] Angielskie słowo "rate" zwykle tłumaczone na polski przez "stopa" (wzrostu), w tłumaczeniach tekstów z zakresu dynamiki systemów powinno być tłumaczone przez "prędkość" (wzrostu) ponieważ tradycyjnie w języku polskim "stopa" oznacza przyrost względny $\frac{\Delta Y}{\Delta t}/Y$ podczas gdy "stopy" w dynamice systemów są wielkościami typu $\frac{\Delta Y}{\Delta t}$, a więc prędkościami.

[17] Język DYNAMO. Zob. Richardson i Pugh [11].

[18] Zwrócimy uwagę na to, że pojęcie "mnożnika" w dynamice systemów nie ma nic wspólnego z pojęciem "mnożnika" w ekonometrii.

Forresterowskie zmienne typu LEVELS przypominają ekonometryczne zmienne ENDO, a zmienne typu AUXILIARIES – ekonometryczne zmienne EGZO. Mogą wśród nich być i zmienne AUTONOMICZNE i STEROWALNE. W zależności od tego, czy i w jakiej proporcji występują jedne i drugie zmienne, system jest bardziej bezwładny lub baredziej sterowalny.[19] Zasadniczą różnicą między tą koncepcją systemu gospodarczego a wszystkimi poprzednimi jest nieustanna zmienność parametrów charakteryzujących system, których pewien układ zakładają wszystkie poprzednie spojrzenia na gospodarkę. Wprowadzenie zwrotnych sprzężeń między poziomami zmiennych i prędkościami ich zmian jest istotną nowością wniesioną przez dynamikę systemów. Czy sposób opisu tego sprzężenia poprzez MNOŻNIKI jest szczęśliwy – o tym można dyskutować. Zarzucano też Forresterowi, że jego funkcje określające zależność mnożników (a przez to prędkość) od osiągniętych zmiennych są dowolne.[20] Niemniej sama idea tego sprzężenia jest godna uwagi, gdyż, jak się wydaje, dobrze odpowiada temu, co dzieje się w ekonomicznej rzeczywistości. Gdy pewna zmienna osiąga zbyt wysoki lub niski poziom, zmianie ulega proces narastania innej zmiennej. Dojście zanieczyszczenia środowiska do wysokiego poziomu zmienia – przez pogorszenie stanu zdrowotności – procesy narodzeń i zgonów, a przez to prędkość wzrostu ludności.[21] Takie sprzężenie może działać, jak w podanym przykładzie, samoczynnie, a może działać za pośrednictwem decyzji podmiotów gospodarczych. Gdy zapasy nie sprzedanych towarów osiągną zbyt wysoki poziom, przedsiębiorca może zmienić tempo produkowania. Modele budowane według recepty dynamiki systemów zostawiają miejsce na oba typy sprzężeń. Im więcej sprzężeń drugiego typu, tym bardziej podatny jest system na sterowanie. Możliwość kształtowania MNOŻNIKÓW przez sternika systemu jest, obok możliwości manipulowania niektórymi zmiennymi POMOCNICZYMI, drugim źródłem umożliwiającym sterowanie systemem. Modele dynamiki systemów są więc dosyć "elastyczne" i pozwalają na uwzględnienie różnego stopnia sterowalności gospodarką[22]. Mimo tego – zastosowane głównie do budowania scenariuszy rozwoju gospodarki światowej – nie osiągnęły wielkich sukcesów choć było o nich głośno w latach siedemdziesiątych.[23]

---

[19] Stopień sterowalności systemem zależy od tego, czy mnożniki działają "samoczynnie", czy w wyniku decyzji. Zob. dalej.

[20] W sprawie ogólnej dyskusji nad osiągnięciami i niedostatkami dynamiki systemów i ekonometrii zob. Sommers [12].

[21] Wiele tego rodzaju sprzężeń opisanych jest w książce Forrestera [3].

[22] Wydaje się, że Forrester i jego współpracownicy przypisują większą rolę sprzężeniom "samoczynnym" w modelach makroukładów a sprzężeniom "decyzyjnym" w modelach mikroukładów. Model świata opisany w książce [3] jest dosyć bezwładny, natomiast w modelach przedsiębiorstw opisanych w książce [2] dużą rolę przypisuje się regułom decyzyjnym przyjmowanym przez przedsiębiorcę.

[23] Por. np. C. Meadows i D.H. Meadows [9].

6. ZAKOŃCZENIE

Pod firmą cybernetyki ekonomicznej kryje się bogaty zestaw spojrzeń na funkcjonowanie gospodarki. Są to spojrzenia posługujące się odmienną terminologią, ofiarowujące różne wizje "mechanizmu" rządzącego gospodarką. Główną słabością tych wszystkich spojrzeń, czyli modeli, jest ich aprioryzm. Obserwacja rzeczywistych procesów gospodarczych wydaje się mieć przy budowie modeli mniejsze znaczenie, niż zaprezentowanie formalnej konstrukcji, na której można przeprowadzać operacje znane z matematyki tradycyjnej (wyprowadzenie z przyjętych założeń wniosków o istnieniu i charakterze rozwiązań oraz o granicznych własnościach zachowania się systemu) lub komputerowe eksperymenty symulacyjne. Założenia modeli mających opisywać gospodarkę są przyjmowane często właściwie na tej tylko podstawie, że podobne układy założeń były przyjmowane przy badaniu innych obiektów. Ekonometria jest w dużej mierze "ekonomiczną biometrią", które przyjęła wiele założeń prawdziwych w odniesieniu do badań eksperymentalnych (w agrotechnice, medycynie), a wątpliwych w odniesieniu do gospodarki (możliwość powielania obserwacji w ustalonych przez eksperymentatora warunkach, możliwość w miarę obiektywnego rozróżnia wielkości egzogenicznych, endogenicznych i losowych). Modele wywodzące się z teorii systemów opierają się w dużej mierze na obserwacji systemów technicznych, charakteryzujących się dużym stopniem sterowalności i w których wyodrębnienie zmiennych za pomocą których systemem się steruje i tych, których wartości kształtują się niezależnie od nastawienia sterów nie nastręcza na ogół większych trudności. Niemałe znaczenie ma też dobieranie takich założeń modelu, by dało się wykorzystać już istniejące teorie matematyczne (teorię równań różniczkowych, teorię prawdopodobieństwa). Za mało jest refleksji nad tym, czy sfera zjawisk, do badania których dana jest teoria została zbudowana, jest dostatecznie podobna do tej sfery zjawisk, do której ma być ona zastosowana. Cybernetyka wyrządziła tu może nawet ekonomii pewną szkodę. Silnie podkreślając podobieństwa między różnymi obiektami: przyrodniczymi, technicznymi i społecznymi i traktując je wszystkie jako "systemy" zapomniała o ich odmiennościach.

Przedstawiając różne cybernetyczne modele funkcjonowania gospodarki, zwracaliśmy uwagę tylko na ich strukturę, pomijając pytanie, jakim tworzywem te struktury mają być wypełnione. Ograniczyliśmy się do rozważenia rodzajów zmiennych, jakie w tych modelach występują i kierunków wzajemnego oddziaływania na siebie klas zmiennych wyróżnionych w modelach, bez wnikania w to, skąd się biorą i czy dostatecznie znamy powiązania między konkretnymi zmiennymi. Obracamy się tu w sferze zjawisk społecznych, więc powiązania te – jeśli pominąć powiązania o charakterze technicznym, bo i takie w modelach gospodarki się pojawiają, gdyż technika jest substratem gospodarki – są

wynikiem zawiłego "splotu działań ludzkich" (O. Lange) będących rezultatem przeróżnych motywów, którymi ludzie się kierują. Nie są to w każdym razie powiązania tak proste, jak powiązania między wielkościami fizycznymi – temperaturę i ciśnienie, kątem padania i załamania światła itp. Powiązania między zmiennymi zakładane w cybernetycznych modelach gospodarki (funkcję popytu, funkcje produkcji, "macierze technologiczne", rozkłady opóźnień, itp.) są niesłychanie grubym przybliżeniem tego, co dzieje się w gospodarczej rzeczywistości. Parametry charakteryzujące te powiązania zmieniają się od próby do próby, zależą od wyboru metod szacowania i nie wykazują stabilności. Budowanie w takiej sytuacji modeli gospodarki przypomina budowanie prototypu samochodu bez znajomości współczynników rozszerzalności cieplnej, współczynników tarcia, mechanicznego równoważnika ciepła, słowem, bez znajomości stałych fizycznych znanych od lat z wielką dokładnością. Miano kiedyś nadzieję, że w miarę dokładne, uniwersalne i stabilne powiązania między wielkościami ekonomicznymi da się wykryć na drodze subtelnej statystycznej analizy masowych danych statystycznych. (Taka nadzieja przyświecała m. in. ekonometrii.) Tak się jednak nie stało. Statystyka rzadko kiedy może kategorycznie stwierdzić, że między badanymi wielkościami zachodzi powiązanie o określonej postaci i określonych wartościach parametrów, a wszelkie konkurencyjne hipotezy odrzucić. Przyjmuje się więc często dość arbitralne założenia o tych powiązaniach. Króluje założenie liniowości (ułatwiające obliczenia) i przypisywanie dużej roli zakłóceniom losowym, które niczego nie wyjaśniają, ale za to doskonale usprawiedliwiają błędne prognozy oparte na modelach. Jeżeli nie będziemy znali w miarę dokładnych, uniwersalnych i stabilnych (na kształt przyrodniczych i technicznych) powiązań między zmiennymi, modele będą mało użyteczne, nawet gdyby ich struktura odzwierciedlała strukturę systemu, tak jak mało użyteczny byłby sam architektoniczny projekt budynku, gdybyśmy nie wiedzieli, z jaką siłą zaprawa murarska wiąże cegły.

Jest kwestią filozoficzną, czy takich powiązań w sferze gospodarki nie ma, czy nie umieliśmy ich dotąd wykryć. Nie wydaje mi się w każdym razie, by się to mogło udać bez wniknięcia w humanistyczną stronę procesów gospodarczych. Człowiek nie jest bezmyślną cząsteczką łączącą się lub oddzielającą od innych zawsze jednakowo w danych warunkach, z czego wynikają względnie proste prawa chemii. Znajdując się w jakiejkolwiek sytuacji, człowiek tę sytuację obserwuje i ocenia ją w świetle własnej skali wartości. Ma pewne wyobrażenie o możliwości i skuteczności swoich działań. W jakiś sposób przewiduje też zachowanie się otoczenia, w którym żyje. To wszystko dopiero prowadzi go do podjęcia pewnego działania gospodarczego, z możliwością skorygowania go, gdy sytuacja ulegnie zmianie. Czy z tak zawiłego splotu ludzkich działań mogą się rodzić "na zasadzie prawa wielkich liczb" w miarę dokładne, uniwersalne i stabilne powiązania między zmiennymi, które wystarczy wmontować w model systemu, by odkryć jego przyszłość lub tą przyszłością

sterować? Sądzę, że istnieje wiele kwestii filozoficznych dotyczących cybernetycznego modelowania procesów ekonomicznych (i ogólniej społecznych), które trzeba jeszcze staranniej przemyśleć i że cybernetyczne myślenie trzeba będzie umiejętnie połączyć z humanistyczną analizą procesów gospodarczych, zanim cybernetyka ekonomiczna wyda dojrzałe owoce. Na razie jest ona luźnym zestawem pomysłów, nowych podejść do starych zagadnień oraz prób wykorzystania pojęć i metod stosowanych w innych naukach. Nie stanowi jeszcze samodzielnej dyscypliny o ustabilizowanych podstawach, dającej się wyraźnie wyodrębnić z zestwu dyscyplin zwanych naukami ekonomicznymi.

BIBLIOGRAFIA

[1] Allen R.G.D. – Ekonomia matematyczna. Tłum. z ang. – Warszawa: PWN 1961.
[2] Forrester J. – Industrial Dynamics. – London: The MIT Press 1965.
[3] Forrester J. – World Dynamics. – Cambrigde: Wright - Allen Press 1971.
[4] Kalman R.E. – Identifiability and problems of model selection in econometrics. Advances in Econometrics. Ed. by Wener Hildebrand. – Cambridge: The Cambridge University Press 1982.
[5] Kalman R., Falb. P., Arib M. – Očerki po matematičeskoj teorii system. Tłum. z ang. – Moskva: Mir 1971.
[6] Lange O. – Wstęp do cybernetyki ekonomicznej. – Warszawa: PWN 1965.
[7] Leontief W. – Studia nad strukturą gospodarki amerykańskiej. Tłum. z ang. – Warszawa: PWN 1963.
[8] Maciejewski W. – Zastosowanie ekonometrycznych modeli rozwoju gospodarki narodowej. – Warszawa: PWN 1976.
[9] Meadows C., Meadows D.H. – granice wzrostu. Tłum. z ang. Warszawa: PWE 1973.
[10] Mesarović M.D. – Methodological Issues in Global Modelling. – Laxenburg: IIASA 1981.
[11] Richardson G.P., Pugh L. – Introduction to System Dynamics Modelling with DYNAMO, – the MIT Press, Cambridge Mass 1981.
[12] Sommer M. – the Econometric Challenge to System Dynamics and vice versa. Technological Forecasting and Social Change 25. – New York: Elsevier Science Publishing Co. 1984.
[13] Stolarska E. – Dynamiczne modele ekonometryczne. – Warszawa: PWN 1987.
[14] Thiel H. – Zasady ekonometrii. Tłum. z ang. – Warszawa: PWN 1979.

[15] Tinbergen J. – On the Theory of Economic Policy. – Amsterdam: North Holland Publishing Co. 1952.

[16] Tsukui J., Murakami Y. – Turnpike Optimality in Input-output Systems. Theory and Application for Planning. Amsterdam: North Holland Publishing Co. 1979.