

HENRYK PONIKOWSKI

CHAOS DETERMINISTYCZNY W BADANIU DYNAMIKI ZMIAN ORGANIZACJI

1. WPROWADZENIE

W latach osiemdziesiątych XX wieku w badaniu zjawisk ekonomicznych pojawiła się teoria chaosu deterministycznego. Z punktu językowego termin ten jest oksymoronem, czyli metaforycznym zestawieniem wyrazów o przeciwnym, wykluczającym się wzajemnie znaczeniu. To prawda, że zwykle w badaniu zjawisk i organizacji gospodarczych czy społecznych skupiamy się na mechanizmach, które determinują określony porządek dynamiki zmian, porządek zaś kojarzony jest często z harmonią i rozwojem. Czy zatem badania naukowe ostatnich lat wskazują, że porządek i nieuporządkowanie mogą istnieć jednocześnie w tym samym układzie organizacyjnym? Chaos kojarzy się przecież z nieuporządkowaniem czy zachowaniem przypadkowym.

Pojawia się więc pytanie, czy każda organizacja jako pewien ściśle określony układ zależności, w którym „wszystko chodzi jak w zegarku”, może zachować się chaotycznie? Czy możliwe jest, by dowolny układ podlegający ścisłym regułom zachowywał się ze swej natury chaotycznie? A może jest tak, że każdy układ deterministyczny może zachowywać się losowo.

Czy porządek może więc rodzić chaos? Na pierwszy osąd wydaje się, że nie, ale po dalszych badaniach w wielu przypadkach możemy udzielić odpowiedzi twierdzącej. Przykładem mogą być obserwacje chaotycznego zachowania pogody, zaburzeń rytmu serca czy nieregularności notowań rynkowych. Podane przykłady wskazują, że nawet w najlepiej zorganizowanych układach

przyrodniczych, społecznych czy ekonomicznych mogą pojawić się nagłe załamania i zmiany kierunków rozwoju.

Determinizm dowolnego systemu można opisać za pomocą funkcji różnego typu. Jednak w wielu wypadkach opis deterministyczny nie pasuje do skomplikowanej natury badanej rzeczywistości. Budujemy więc modele ekonometryczne, które z dokładnością do składnika losowego opisują stochastyczną naturę systemu. Główny problem polega jednak na zidentyfikowaniu sposobu powiązań między elementami badanego układu deterministycznego.

Często przyjmujemy, że zależności przyczynowo-skutkowe kształtują się w sposób addytywny. Oznacza to liniowy mechanizm powiązań, czyli że w tych samych warunkach określona przyczyna wywołuje takie same skutki. Wydaje się, że w wielu rzeczywistych sytuacjach warunek ten trudny jest do spełnienia. Model liniowy nie zawsze dobrze przylega do badanej rzeczywistości, ale umożliwia łatwe sterowanie i przewidywanie przyszłych zachowań takiego układu przy określonych warunkach początkowych. Modele liniowe nie wyjaśniają więc w pełni efektów dynamiki zmian badanej rzeczywistości. Wynika to z faktu, że „bardzo niewiele realnie istniejących systemów jest w pełni i dokładnie liniowych. Liniowe są natomiast w większości przypadków modele matematyczne tych systemów, konstruowane na potrzeby badania ich dynamiki” [5, s. 39].

Chaos nie może więc być właściwością deterministycznych układów liniowych, które zakładają, że określona przyczyna wywołuje zawsze stały efekt zmian. Zachowanie chaotyczne jest zatem charakterystyczne jedynie dla układów multiplikatywnych, które generowane są przez nieliniowe reguły powiązań funkcyjnych czy organizacyjnych. Skoro otaczająca nas rzeczywistość w przeważającej mierze jest nieliniowa, to fakt ten upoważnia do stwierdzenia, że powszechną cechą badanych zjawisk są zachowania chaotyczne.

Chaos jako właściwość nieliniowych układów dynamicznych należy więc traktować jako jeden z czynników rozwoju organizacji. W tym kontekście R. Domański zaznacza, że „chaos nie ma negatywnej konotacji. Jest traktowany jako zjawisko neutralne lub nawet twórcze, bez którego nie mogłoby się dokonać przekształcenie wewnętrznej logiki systemu i jego powiązań ze zmieniającym się otoczeniem” [1, s. 146]. Ian Stewart podkreśla zaś, że wielkim odkryciem ostatnich lat jest stwierdzenie, że chaos jest tak samo powszechny jak tradycyjne zachowanie, takie jak stany stacjonarne i cykle periodyczne [4, s. 7].

2. WRAŻLIWOŚĆ NA ZMIANY

Następstwem wszelkich zmian jest zastąpienie jednego stanu systemu czy organizacji przez inny. Oczywiście jest, że każda zmiana w systemie lub oto-

czeniu sprawia, że dotychczasowy układ może stać się niestabilny. Powrót do nowego stanu równowagi zależy więc od szybkiej samoorganizacji nowej struktury. Istotne są zatem zdolności systemu do osiągnięcia stabilizacji po zmianie, wpływ zmian na dalsze losy funkcjonowania organizacji i scenariusze dalszego rozwoju.

Sposób reakcji na zmiany i możliwości dojścia do stanu równowagi wynikają zawsze z wewnętrznej natury danej organizacji. Należy podkreślić, że o ile zmiana może być impulsem pochodzącym z zewnątrz, o tyle reakcja systemu na zmianę wynika zawsze z reguł funkcjonowania całego układu. Reguły powiązań funkcyjnych czy organizacyjnych decydują o wrażliwości systemu na zmiany. Badania naukowe ostatnich lat wskazują, że chaotyczna reakcja na zmiany w układach deterministycznych wynika z nieliniowego sposobu powiązania zależności przyczynowo-skutkowych. Przyczyną chaotycznego zachowania każdego układu, a w szczególności deterministycznego, nie są więc niekorzystne uwarunkowania pochodzące z otoczenia tego układu ale właściwości systemu.

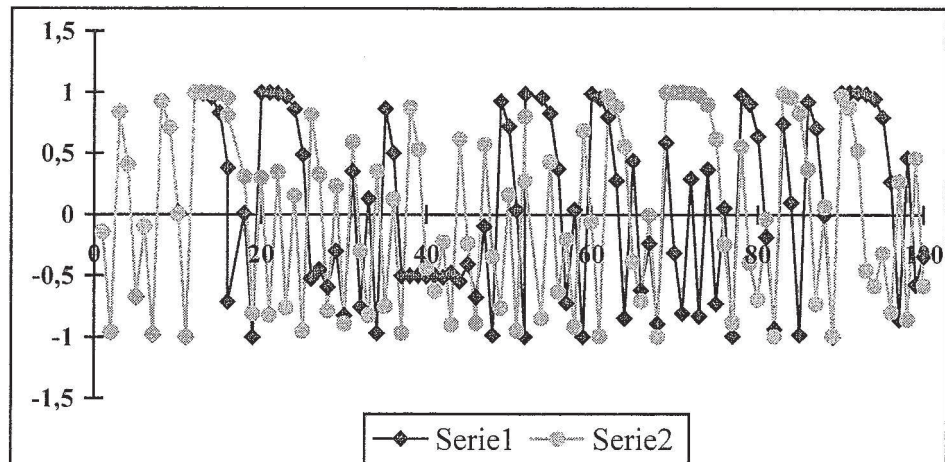
Chaos w układach deterministycznych rozpoznajemy więc nie po to, by eliminować to zjawisko, lecz by lepiej przewidywać przyszłe zachowania badanych systemów. Charakterystyczną cechą organizacji, w których występuje chaos deterministyczny, jest więc wysoka wrażliwość na zmiany. Ta wysoka podatność na zmiany warunków początkowych wynika z nieliniowego mechanizmu powiązań funkcyjnych i organizacyjnych. Dla zobrazowania chaosu deterministycznego i następstw wysokiej wrażliwości na zmianę warunków startu przyjmujemy nieliniową formułę generującą zachowanie systemu: (zob. [4, s. 30], [5, s. 33])

$$X_{t+1} = 2 X_t^2 - 1 \quad (1)$$

Przy wartości startowej $X_t = 0,65432$, dla stu kolejnych iteracji obserwujemy odwzorowanie reguły (1). Okazuje się, że ta nieliniowa zależność daje dla kolejnych iteracji dość przypadkowe wyniki. Jeszcze większe zdziwienie wywołuje fakt, że przy minimalnej zmianie wartości początkowej, o 0,00001 czyli przy $X_t = 0,65433$ już po piętnastu iteracjach dynamika układu rozbiega się, generując zupełnie inne wyniki.

Zachowanie systemu opisanego nieliniową formułą (1) oraz konsekwencje zmian wartości początkowej o 0,00001 w warunkach kwadratowego odwzorowania zachowania chaotycznego przedstawia wykres 1.

Wykres 1. Odwzorowanie kwadratowego zachowania chaotycznego dla iteracji 1-100 przy wartości startowej $X_t = 0,65432$. Seria 2 przy zmianie wartości początkowej o 0,00001.



Źródło: Opracowanie własne.

Wielokrotna iteracja symulująca dynamikę zmian układu opisanego przyjętą formułą nieliniową nie zmieniła zachowania systemu jedynie dla dwunastu pierwszych iteracji. Są one identyczne jak przed zmianą warunków startu. Zdecydowaną zmianę zachowania obserwujemy zaś dla iteracji siedemnastej gdzie przed zmianą warunków startu otrzymywaliśmy wartości ujemne a po zmianie już dodatnie. Taka diametralna i nagle zmiana sytuacji analizowanego układu nieliniowego wystąpiła jeszcze w 42 na 100 wygenerowanych zachowań.

Charakterystyczną cechą wszelkich zmian jest ich wymiar czasowy. Przyjęte iteracje obrazują więc zmienną czasową a stan systemu w kolejnych iteracjach może przedstawiać dynamikę zmian. Okazuje się, że reakcja systemu chaotycznego na zmianę może być w pełni przewidywalna jedynie w krótkich okresach czasu zaś prognozowanie zachowania w długim okresie czasu jest bardzo trudne. Przyczyny tych trudności tkwią w nieliniowych regułach funkcjonowania organizacji, które powodują dużą wrażliwość systemu na zmiany i ostatecznie generują zupełnie inną dynamikę rozwoju.

3. SCENARIUSZ ZMIAN

Badacza interesuje często nie tylko opis stanu równowagi rozwoju organizacji jako określonego układu deterministycznego, ale także scenariusz docho-

dzenia do tego stanu. W przypadku prostych (liniowych) zależności, zmiana zmiennej zależnej wywołuje zawsze proporcjonalne zmiany zmiennej niezależnej a siłę i kierunek tej zmiany wyznacza współczynnik regresji liniowej.

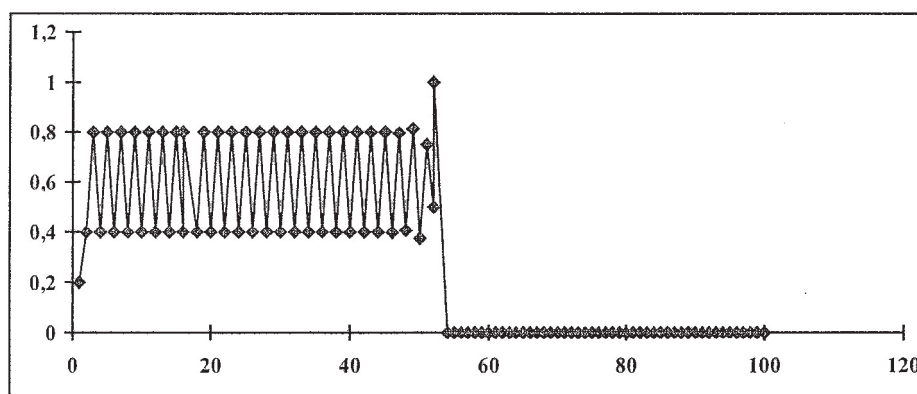
Sytuacja komplikuje się, gdy analizujemy układ deterministyczny, którego elementy powiązane są w sposób nieliniowy a dodatkowo system charakteryzuje się wysokim stopniem wrażliwości na każdą, nawet minimalną zmianę. Ta duża wrażliwość funkcjonowania systemu sprawia, że nawet niewielka zmiana warunków początkowych prowadzi do różnych scenariuszy rozwoju. Wprowadzanie innowacji dla takich systemów musi prowadzić do diametralnej zmiany ścieżki rozwoju.

Przykład chaotycznego zachowania systemu nieliniowego i różnych reakcji na zmiany przedstawiamy za pomocą odwzorowania trójkątnego: (zob. [5, s. 35]).

$$X_{t+1} = 1 + 2|X_t - 0,5|. \quad (2)$$

Dla danego punktu startowego, kolejne iteracje reguły generującej tworzą specyficzne scenariusze zmian. Wykres 2 przedstawia odwzorowanie zachowania dla formuły (2) przy wartości startowej $X_t = 0,10$. Okazuje się, że wielokrotna iteracja nieliniowej formuły generującej dla iteracji 2 – 50 skupia stan systemu wokół dwóch wartości 0,4 i 0,8. Chaotyczne zachowanie dla iteracji 51 – 53 sprawiło, że od 54 – 100 iteracji stan systemu osiągnął poziom 0.

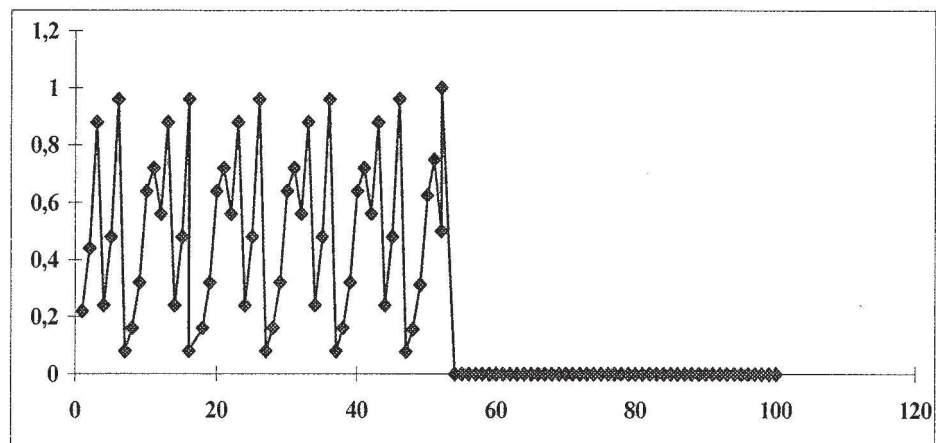
Wykres 2. Odwzorowanie trójkątnego zachowania chaotycznego dla iteracji 1 – 100 przy wartości startowej $X_t = 0,10$.



Źródło: Opracowanie własne.

Wykres 3 przedstawia zaś odwzorowanie zachowania systemu dla formuły (2) przy wartości startowej $X_t = 0,11$, czyli zmianie warunków startu w stosunku do poprzedniego zachowania o $0,01$. Ta niewielka zmiana wartości startowej przy wysokiej wrażliwości na zmianę wygenerowała zupełnie inny scenariusz 50 pierwszych iteracji. W tym przypadku jest aż 10 punktów stabilnych pierwszych 50 iteracji: 0,96; 0,88; 0,72; 0,64; 0,56; 0,48; 0,32; 0,24; 0,16; 0,08. Wzrost liczby punktów, wokół których skupiają się stany systemu świadczy o tym, że nieliniowa formuła (2) generuje zachowanie chaotyczne.

Wykres 3. Odwzorowanie trójkątnego zachowania chaotycznego dla iteracji 1 - 100 przy wartości startowej $X_t = 0,11$.



Źródło: Opracowanie własne.

Okazuje się, że scenariusz zmian zależy od stanu początkowego i reguł funkcjonowania układu. Dla tej samej formuły nieliniowej zmiana wartości startowej jedynie o $0,01$ wygenerowała tylko w trzech pierwszych iteracjach bardzo podobne stany zachowań. Pierwszą znaczącą zmianę zaobserwowano już dla czwartej iteracji. Zdecydowanie różny scenariusz zachowań utrzymywał się aż do 50 iteracji. Identyczne stany systemu wystąpiły od 51 iteracji, przy czym od 54 aż do 100 w obu przypadkach otrzymano zero. Należy więc stwierdzić, że wysoka wrażliwość na zmianę wartości startowej ujawniła zdecydowanie różne początkowe zachowania systemu, które doprowadziły w efekcie do identycznego stanu system w 50 końcowych iteracjach.

Kolejne iteracje odwzorowania nieliniowego układu dynamicznego dla danego punktu początkowego tworzą zatem specyficzną drogę rozwoju, zwaną w teorii chaosu deterministycznego trajektorią rozwoju. Analiza trajektorii rozwoju umożliwia więc ocenę wpływu zmian na funkcjonowanie organizacji, które mają złożoną strukturę i charakteryzują się nieliniowym mechanizmem powiązań.

W teorii chaosu deterministycznego zbiór punktów, do których dążą trajektorie danego deterministycznego układu dynamicznego, nazywany jest atraktorem. Inaczej mówiąc atraktor jest zbiorem, który przyciąga punkty leżące w jego otoczeniu. Zdarza się często, że atraktor tworzy taką specyficzną figurę geometryczną, w której każdy nawet najmniejszy fragment przypomina całość. Taka figura, która charakteryzuje się cechą samopodobieństwa, nazywana jest fraktalem. W teorii nieliniowych układów dynamicznych atraktor, który jest fraktalem, nazywa się dziwnym atraktorem. Jeśli w danym układzie występuje dziwny atraktor, to znaczy, że układ ten charakteryzuje się własnościami chaotycznymi (zob. [3, s. 99 i nast.]).

W badaniu dynamiki rozwoju układów deterministycznych, które zachowują się chaotycznie, czyli mają swój dziwny atraktor, ważne jest także określenie stabilności atraktora tego układu. Brak stabilności atraktora oznacza niestabilność strukturalną całego układu, a w konsekwencji problemy z prognozowaniem zachowań tego systemu. Okazuje się, że „w dynamice deterministycznych układów nieliniowych równowaga nie musi być punktem, tak jak w układach liniowych, może być zamkniętą krzywą, która przyciąga lub odpycha trajektorie. Krzywa ta nazywa się cyklem granicznym. Trajektorie układu stabilnego nawijają się na cykl graniczny, zaś układu niestabilnego rozwijają się z niego” [1, s. 147].

4. UWAGI KOŃCOWE

Mogłoby się wydawać, że każda organizacja jako uporządkowany układ zależności umożliwi zawsze ściśle przewidywanie zachowania się tego układu. Jednak powszechnie istnieją takie układy deterministyczne, które zachowują się chaotycznie. Problem dotyczy nieliniowych systemów deterministycznych. Szczególną własnością takich układów jest wysoka wrażliwość na zmiany, która zwykle generuje różne trajektorie rozwoju.

Dynamika zmian nieliniowych układów deterministycznych wskazuje, że zmiana jest specyficznym czynnikiem rozwoju. Nieliniowa dynamika zmian kierunków rozwoju może przyczynić się do regresu lub gwałtownego wzrostu.

Wysoka wrażliwość na zmiany z jednej strony może prowadzić do nagłych załamania, a z drugiej może zapewniać szybką samoorganizację nowych struktur. Nowe struktury mogą zaś dążyć do rozwoju zrównoważonego lub generować punkty zwrotne, które po chwilowym wytrąceniu z równowagi zapewniają ponowny powrót do stabilizacji.

Punkty zwrotne mogą też wskazywać na zupełnie nowy kierunek rozwoju. Szybki skok na inny poziom rozwoju z pominięciem etapów pośrednich zapewniają punkty bifurkacji (rozwidlenia), w których układ wchodzi na nową trajektorię i zmienia swe własności i kierunek rozwoju [1, s. 136]. Wysoka wrażliwość na zmiany charakterystyczna dla układów nieliniowych, może sprawić że trajektorie rozwoju układu chaotycznego łatwo mogą przejść do innego zbioru przyciągania. Stanowi to poważny problem przy prognozowaniu dynamiki zmian układów chaotycznych.

Reasumując należy więc stwierdzić, że zmiana zawsze wytrąca każdy układ ze stanu równowagi, ale w systemach nieliniowych droga powrotu do stabilizacji może być trudna do przewidzenia. Konsekwencją zmian jest więc w pierwszej fazie rozwoju niestabilność układu, następnie samoorganizacja struktur, a w efekcie nowe trajektorie rozwoju. Zwrot ku nowym trajektoriom następuje zaś w punktach bifurkacji nieliniowych układów dynamicznych. Różnorodność trajektorii rozwoju wynika więc z różnego sposobu generowania zmian określonego przez mechanizm funkcjonowania układu deterministycznego.

Chaos jako nieodłączny element uporządkowania układów nieliniowych nie może być oddzielony od całego układu, Stanowi więc specyficzny czynnik rozwoju. Mechanizm chaosu rozpoznajemy więc nie po to, by eliminować to zjawisko, ale by skutecznie zarządzać układami chaotycznymi, a w konsekwencji przewidywać zachowanie nieliniowych układów deterministycznych. Jak dotychczas w badaniach ekonomicznych teoria chaosu deterministycznego jest wykorzystywana głównie do badania rynków kapitałowych (zob. [2], [3]).

BIBLIOGRAFIA

- [1] D o m a ń s k i R., Przemysłowa transformacja gospodarki, Warszawa: PWN 1997.
- [2] D r a b i k E., Zastosowania teorii gier do inwestowania w papiery wartościowe, Białystok: Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku 2000.
- [3] S i e m i e n i u k N., Fraktalne własności polskiego rynku kapitałowego, Białystok: Wydawnictwo Uniwersytetu w Białymstoku 2001.
- [4] S t e w a r t I., Czy Bóg gra w kości. Nowa matematyka chaosu, Warszawa: PWN 2001.

-
- [5] Wołoszyn J., Elementy teorii chaosu deterministycznego w badaniu systemów ekonomicznych, „Zeszyty Naukowe Akademii Ekonomicznej w Krakowie” 2000, nr 551, Prace z zakresu informatyki i jej zastosowań.

DETERMINISTIC CHAOS IN STUDYING THE DYNAMICS OF ORGANIZATION CHANGES

S u m m a r y

The article presents an analysis of the dynamics of changes on the grounds of the deterministic chaos theory. In studying the dynamics of organization changes as ordered systems of deterministic dependencies certain phenomena may appear that are difficult to predict, which cause chaotic behavior of the system. The behavior results from a non-linear mechanism of functional and organizational ties. Non-linearity of the ties generates a high sensibility of the organization to changes, and in consequence a deterministic chaos.

Słowa kluczowe: modele liniowe i nieliniowe, wrażliwość na zmiany, chaos deterministyczny, dynamika zmian, scenariusze zmian.

Key words: linear and non-linear models, sensibility to changes, deterministic chaos, dynamics of changes, scenarios of changes.