STEFAN ABT

MOŻLIWOŚCI SYMULACJI PROCESÓW GOSPODARCZYCH NA ELEKTRONICZNYCH MASZYNACH CYFROWYCH

Wśród wielu różnorodnych zastosowań elektronicznych maszyn cyfrowych zaniedbane przez ekonomistów, jak też inżynierów-ekonomistów są badania, w których maszyny cyfrowe wykorzystuje się do symulacji procesów gospodarczych. Wobec rozbudowanych w ostatnich latach potężnych metod abstrakcji i idealizacji w matematyce — a więc metod najczęściej znanych pod zbiorczą nazwą „studiów symulacyjnych", stwierdzić trzeba coraz dalej idące rozszerzenie tego pojęcia w zastosowaniu do analizy ekonomicznej. Istotę symulacji stanowi, jak wiadomo, analogia w działaniu; przez analogię rozumiemy podobieństwo własności lub związków przyczynowych — jednak bez identyczności. Jeśli się okaże, że istnieją układy analogiczne, to próby i pomiary dokonane na jednym z nich mogą określić zachowanie innych.

W takim rozumieniu symulacji niewystarczające dla ekonomistów okaże się przedstawienie tego zagadnienia, jakie znajdujemy w popularyzującym maszyny cyfrowe opracowaniu K. Fiałkowskiego[1], które zresztą w dalszych częściach jest świetnym wprowadzeniem w zasady programowania maszyn. We wstępie czytamy: ..problemy symulacji rozwiązywane na maszynach cyfrowych odnoszą się do zagadnień zawierających element czasu" (str. 17), co następnie zostaje poparte przykładem, którego przytoczenie pozwoli nam wejść w problematykę, ale tylko ukazując jednostronne wykorzystanie maszyn liczących. Maszyna cyfrowa w tym przykładzie symuluje sytuację rynkową. Współpracujący z maszyną człowiek, lub grupa ludzi, podejmuje decyzje o charakterze ekonomicznym, przekazuje je do maszyny, a ta, po wykonaniu odpowiednich przeliczeń, podaje na zewnątrz rezultaty tych decyzji w odniesieniu do symulowanego rynku. Rezultaty te mogą być traktowane jako przybliżenie skutków decyzji rzeczywistych, o ile symulowany rynek jest dostatecznie dobrym przybliżeniem rzeczywistego. Symulacja może być dokonana w ten sposób, że jeden dzień pracy maszyny odpowiada np. okresowi pięciu lat, lub też innemu dowolnemu. Jeżeli dodatkowo przyjmie się

[1] K. Fiałkowski, *Autokody i programowanie maszyn cyfrowych,* Warszawa 1968.

założenie, że decyzje w rzeczywistości podejmowane są kwartalnie, to w ciągu jednego dnia pracy zespół decydujący dwudziestokrotnie musi podejmować decyzje, czyli ingerować w pracę maszyny tzn. symulowany rynek, przy czym przy podejmowaniu każdej następnej decyzji uwzględnia się skutki wywołane na symulowanym rynku poprzednimi decyzjami. Dodatkową korzyścią jest przy tym możliwość szkolenia zespołu podejmującego decyzje.

Obok tego, niewątpliwie niezwykle cennego typu symulacji, musimy pamiętać jednak o szerszym znaczeniu tego terminu, używanego zresztą jeszcze przed stosowaniem elektronicznych maszyn cyfrowych. W terminologii cybernetycznej przez symulację rozumie się reprezentację pewnych elementów obiektu, zjawiska, systemu lub otoczenia, umożliwiającą badanie obiektu[2]. W dziedzinie badań procesów gospodarczych będzie więc miała zastosowanie metoda symulacji we wszystkich sytuacjach decyzyjnych, gdy znajdujemy się w warunkach niepewności, czego tylko szczególnym przypadkiem, choć bardzo skomplikowanym, może być układanie prognoz gospodarczych. Badania symulacyjne mogą więc znaleźć zastosowanie w tzw. modelach probabilistycznych, a więc części badań operacyjnych, które obecnie wobec zwiększenia możliwości rachunkowych, dzięki EMC (elektronicznym maszynom cyfrowym), zdobywają sobie coraz większą popularność nie tylko w sytuacjach typu wojskowego, ale przede wszystkim do rozwiązywania trudnych sytuacji gospodarczych. Jak wiadomo, podstawową rolę w rozwiązywaniu modeli probabilistycznych odgrywa rachunek prawdopodobieństwa, przy pomocy którego możemy, znając prawdopodobieństwo jednej grupy zdarzeń, wyliczyć prawdopodobieństwa innych interesujących nas zdarzeń. W szczególności jeśli chodzi np. o zastosowanie teorii kolejek, wychodzimy ze znajomości rozkładu „przybyć" i rozkładu czasów obsługi i wyliczamy prawdopodobieństwo takiej czy innej długości ogonków. Niekiedy jednak tego rodzaju rachunki, to znaczy wyliczanie prawdopodobieństw jednych zdarzeń na podstawie znajomości prawdopodobieństw innych, stają się niezmiernie skomplikowane i uciążliwe. Między innymi może to mieć miejsce również w związku z zastosowaniami teorii kolejek. Przyjęcie, że rozkład przybyć jest inny niż rozkład Poissona, a rozkład czasów obsługi — inny niż rozkład wykładniczy, najczęściej prowadzi do niezmiernie uciążliwych rachunków. W tego rodzaju sytuacjach często rezygnujemy ze ścisłego rachunku na rzecz pewnych metod przybliżonych. W przypadkach modeli probabilistycznych posługujemy się często metodą zwaną Monte Carlo, której istota polega na tym, że rozważania analityczne (rachunkowe) zastępujemy eksperymentem.

Metoda prób statystycznych, zwana metodą Monte Carlo, znana już była w chwili pełnego rozwoju rachunku prawdopodobieństwa, jednak

[2] W. Głuszkow, *Wstęp do cybernetyki,* Warszawa 1967, s. 454.

dopiero rozwój elektronicznych maszyn cyfrowych stworzył możliwość szybkiej realizacji i interpretacji dużej liczby eksperymentów losowych, stwarzając warunki praktycznej opłacalności stosowania tej metody. Jest to bowiem sposób przybliżonego rozwiązywania zagadnień matematycznych za pomocą modelowania statystycznego. Modelowanie to polega na utworzeniu takiego ciągu liczb losowych, którego parametry statystyczne (np. wartość średnia, wariancja) odpowiadają niewiadomym rozpatrywanego zagadnienia. Wartości tych parametrów można wyznaczać z określonym prawdopodobieństwem drogą próbkowania — uzyskując probabilistyczne przybliżenie poszukiwanego rozwiązania. Tego rodzaju na pozór dziwne postępowanie daje jednak w pewnych przypadkach duże oszczędności rachunkowe, zwłaszcza gdy stosunkowo skomplikowane równania prowadzą do względnie prostego schematu losowania. Nazwa metody pochodzi od kryptonimu tajnych obliczeń atomowych, wykonywanych podczas drugiej wojny światowej w USA, sama zaś idea metod od S. Ulama i J. von Neumanna.

Rozważmy więc wpierw przykład prostego zagadnienia matematycznego rozwiązywanego metodą Monte Carlo, by właściwie ocenić jej przydatność, a także rolę EMC przy obliczeniu. W celu obliczenia całki oznaczonej w przedziale [0, 1] z funkcji $f(x)$ o wartościach z przedziału [0, M], zgodnie z metodą Monte Carlo, tworzy się n liczb losowych ξ_i w przedziale [0, 1] i tyleż liczb losowych η_i w przedziale [0, M] co obecnie wykonać można przy pomocy EMC. Jeżeli stwierdzono, że w k przypadkach zaszła nierówność $f(\xi_i) \geq \eta_i$, to przybliżoną wartością rozważanej całki jest liczba będąca iloczynem stosunku $k : n$ i wielkości przedziału tzn. M, zatem

$$\int_0^1 f(x)dx = \frac{k}{n} \cdot M \cdot$$

Tego rodzaju obliczanie pola, czyli wartości całki oznaczonej, może się wydawać nieco dziwne, tym bardziej, że dość trudno jest określić błąd, jakim wynik jest obarczony. Jednakże w przypadku obliczania całek bardziej skomplikowanych, jak np. całek wielokrotnych, gdy realizacja metod dokładnych (obliczanie węzłów i wag) jest utrudniona, wówczas wygodniej jest obliczyć je metodą mniej ścisłą, ale prostszą. Również szerokie zastosowanie znalazła sobie metoda prób statystycznych w różnych dziedzinach fizyki (szczególnie neutronowej) i techniki, a także, co powinno w pełni zainteresować ekonomistów, do analizy procesów masowej obsługi. Gałąź ta rozwijająca się w ostatnich latach, związana z modelowaniem złożonych układów regulacji oraz badaniem operacji, ma duże perspektywy w cybernetyce, a w szczególności w nowej nauce organizacji i zarządzania gospodarką planową.

Elektroniczne maszyny cyfrowe symulują nam wykonywanie eksperymentu, dając w ten sposób materiał liczbowy, z którego wyprowadzić możemy potrzebne oceny. Rozpatrzmy znów prosty przykład, choć nieco

sztuczny, ale tym razem już z dziedziny produkcji[3]. Na tokarce toczone są wałki o określonej średnicy. W rzeczywistości wałki mają zawsze nieco większą lub mniejszą średnicę niż wymiar żądany. Wiadomo, że rozkład obserwowanych różnic wymiaru żądanego i rzeczywistej średnicy jest rozkładem normalnym $N(0, 1)$. Jeśli różnica między żądanym a rzeczywistym wymiarem średnicy przekroczy 1,7, wałek nie nadaje się do celów, dla których jest produkowany, tzn. uznajemy go za zły. Przypuśćmy dalej, że musimy znać prawdopodobieństwo tego, że w partii 10 wałków będzie 2 lub więcej wałków złych. Rozwiązanie można stosunkowo łatwo znaleźć na drodze analitycznej, zastanówmy się jednak nad tym, jak wyglądałoby ono przy zastosowaniu metody symulacji. Należałoby wówczas skonstruować sztuczną zbiorowość o rozkładzie normalnym $N(0, 1)$ i z niej losować każdorazowo 10 elementów. W każdej takiej 10-elementowej próbie należałoby wyliczyć liczbę obserwacji przekraczających 1,7. Gdybyśmy takich prób wykonali dużo, np. 1 000, to w rezultacie zaobserwowalibyśmy pewne częstości, mianowicie określoną liczbę prób 10-elementowych, w których liczba złych wałków byłaby równa 0, pewną liczbę prób, w których liczba wałków złych byłaby równa 1 itd. Na tej podstawie nietrudno już wyliczyć częstość występowania prób o liczbie złych wałków równej 2 lub więcej. Tę ostatnią częstość można przyjąć jako oszacowanie szukanego prawdopodobieństwa.

W trakcie symulacji powstaje tu jeszcze szereg dodatkowych problemów, które trzeba rozwiązać. I tak np. musimy odpowiedzieć na pytanie, jak wielka musi być liczba eksperymentów, które należy przeprowadzić, co wiąże się, rzecz prosta, z wiarygodnością oszacowania prawdopodobieństwa, o które chodzi. Powstaje również problem konstrukcji „sztucznych" zbiorowości, z których dokonujemy losowań, problem samej techniki losowania, to jednak ułatwiają nam coraz to doskonalsze maszyny cyfrowe. Warto jednak w tym miejscu zwrócić uwagę na fakt, że skuteczność obliczeń metodą Monte Carlo na EMC określają dwa podstawowe czynniki: a. jakość źródła liczb losowych, b. dobór racjonalnego algorytmu obliczeń.

W celu zamodelowania jakiegokolwiek z góry zadanego procesu, należy mieć do dyspozycji ciąg liczb losowych odpowiadający pewnym ustalonym prawom rozkładu. Zauważmy, że do otrzymania wartości zmiennej losowej o zadanym rozkładzie wykorzystuje się zwykle jedną lub kilka wartości liczb losowych o rozkładzie równomiernym liczb losowych, który otrzymać można różnymi sposobami. Pierwszy sposób otrzymywania liczb losowych o rozkładzie równomiernym, obecnie najbardziej popularny, polega na tym, że liczby losowe otrzymane są w EMC przy użyciu programu opierającego się na następującej zależności rekurencyjnej: każda

[3] Przykład ten zaczerpnięto z książki W. Sadowskiego, *Teoria podejmowania decyzji,* Warszawa 1963, s. 214.

następna liczba a_{j+1} jest utworzona z poprzedniej a_j (lub z grupy poprzednich liczb) przy zastosowaniu pewnego algorytmu składającego się z arytmetycznych i logicznych operacji. Liczby w ten sposób utworzone noszą nazwę liczb pseudolosowych, gdyż nie są w pełni losowe, jednakże mogą spełniać różne statystyczne kryteria losowości. Do podstawowych zalet tego sposobu otrzymywania liczb losowych zaliczyć należy możliwość kontrolowania pracy maszyny przy ich tworzeniu oraz prostotę algorytmu, natomiast niedogodnością jest trudność uzyskania teoretycznej oceny ich własności statystycznych. Drugi sposób wytwarzania liczb losowych polega na wykorzystaniu urządzenia, zwanego generatorem liczb losowych dołączonego do EMC, które przekształci wyniki losowego procesu fizycznego na ciąg dwójkowych pozycji w maszynie, czyli utworzy w ten sposób zmienną losową. Wadą tej metody jest pewna niestabilność generatorów liczb losowych, które wymagają w związku z tym okresowego sprawdzania, a także brak możliwości dokładnego odtworzenia wyników obliczeń (nie może być przeprowadzone dwukrotne obliczanie na maszynie). Do rzadkości należy wprowadzanie tablic liczb losowych o rozkładzie równomiernym do pamięci operacyjnej EMC [4].

Widzimy więc, że wykorzystanie do obliczeń EMC powinno niezwykle zachęcić do stosowania metod Monte Carlo, co okazuje się niezwykle pożyteczne szczególnie w skomplikowanych procesach. Przykładów dostarcza stosunkowo młoda dziedzina zwana masowym obsługiwaniem. Charakterystyczną cechą tych zagadnień zachodzących najczęściej w telefonii, organizacji przedsiębiorstw, planowaniu, automatycznym sterowaniu złożonymi agregatami itp., jest obecność obsługującego układu, który pobudzany jest w losowym momencie czasu zgłoszeniami. Układ obsługujący posiada linie (kanały), wykonujące szereg operacji zwanych obsługiwaniem. Jako układ obsługujący można na przykład traktować stację benzynową, czy też stację obsługi samochodów. Zgłoszenia po obsługę występują wtedy, gdy do stacji przyjeżdża pojazd w celu uzupełnienia paliwa. Oddzielnymi liniami (kanałami) samoistnie zamykającymi cały cykl operacji związanych z obsługiwaniem zgłoszeń, są pompy benzynowe, za pomocą których następuje uzupełnienie paliwa pojazdów.

Przedmiotem rozważań teoretycznych masowego obsługiwania są te przedziały czasu, które występują w procesie obsługiwania strumienia zgłoszeń wpływających do układu. Strumień ten jest ciągiem zgłoszeń posiadających specjalną kolejność występowania w czasie. Jeżeli z punktu widzenia obsługi wszystkie zgłoszenia danego strumienia są równouprawnione, to rolę odgrywa tylko sam fakt wystąpienia lub niewystąpienia

[4] Szczegółowe omówienie tych sposobów tworzenia oraz przekształcania liczb losowych znaleźć można w pracy N. P. Buslenko i in., *Metoda Monte Carlo,* Warszawa 1967. Poświęcona jest ona opisowi metody Monte Carlo w zastosowaniu do różnych dziedzin nauki.

w danej chwili zdarzenia polegającego na pojawieniu się zgłoszenia. Takie strumienie, zwane strumieniami zdarzeń jednorodnych, są obecnie dobrze rozpracowane i posiadają wygodną matematyczną postać[5]. Zdarza się jednak, że przy rozwiązywaniu praktycznych zadań trzeba uwzględnić strumień zdarzeń niejednorodnych. Szczególnie w tych przypadkach nieocenione usługi przynosi symulacja, gdyż metody analityczne stają się zbyt skomplikowane. Metoda Monte Carlo pozwala w sposób pełniejszy w zestawieniu z metodami analitycznymi na scharakteryzowanie zależności wskaźnika jakości obsługi od parametrów strumienia zgłoszeń i systemu obsługującego. Wynika to z tego, że przy rozwiązywaniu zagadnień masowego obsługiwania metodą Monte Carlo może być wykorzystywana większa ilość informacji o procesie niż przy użyciu metody analitycznej. Na przykład, jeśli mamy do czynienia z układami, które mogą dać odmowę, to wzory teorii masowego obsługiwania dają tylko średnią wartość tych odmów. Za pomocą metody Monte Carlo można otrzymać ocenę nie tylko wartości odmów, lecz także ocenę dowolnego parametru prawa ich rozkładu. Przynosi ona też nieocenione usługi przy rozwiązywaniu wielofazowych układów i wielofazowych procesów obsługiwania, dla których metody analityczne nie są jeszcze w pełni wypracowane.

Dla ilustracji powyższych rozważań możemy się posłużyć przykładem dotyczącym stacji obsługi[6]. Rozpatrzmy stację o średniej intensywności przybywających, $n=30$ klientów dziennie, oraz średniej intensywności obsługi, $s=45$ klientów dzienne. Intensywność ruchu jest wówczas równa 2/3. Prawdopodobieństwo, że kolejka będzie miała długość m jednostek wyraża wzór (dla $\frac{n}{s}<1$) $P(m)=\left(\frac{n}{s}\right)^m\left(1-\frac{n}{s}\right)=\left(\frac{2}{3}\right)^m\left(1-\frac{2}{3}\right)$, a średnia długość kolejki $\bar{m}=\sum_0^\infty m\,P(m)=\sum_0^\infty m\left(\frac{n}{s}\right)\left(1-\frac{n}{s}\right)=\frac{\frac{n}{s}}{1-\frac{n}{s}}=\frac{\frac{2}{3}}{1-\frac{2}{3}}=2$. Dla dowolnej chwili prawdopodobieństwa odpowiadające liczbom 1, 2, ..., m czekających na obsługę wyniosą:

m	0	1	2	3	...
$P(m)$	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{9}$	$\frac{4}{27}$	$\frac{8}{81}$	...

Ponieważ zależność powyższa jest funkcją wykładniczą wyrażenia $(\frac{n}{s})$, to jest oczywiste, że dla wzrastających wartości intensywności ruchu dłu-

[5] Por. N. P. Buslenko i in., *Metoda...*, op. cit.

[6] Pełne rozwiązanie przedstawionego przykładu znaleźć można w pracy D. N. Chorafas, *Procesy statystyczne i niezawodność urządzeń,* Warszawa 1960.

gość danej kolejki znacznie wzrasta. Ogólnie biorąc średnia długość kolejki wzrasta istotnie i staje się nieskończenie wielka, gdy intensywność ruchu zbliża się do jedności. Sytuacja analizy procesu masowej obsługi komplikuje się w przypadku, gdy dokładne wartości wchodzących zmiennych nie są znane, a jednak musimy poznać wartości wyjściowe, np. po to, by odpowiednio zwiększyć lub zmniejszyć liczbę zaangażowanego personelu. Jako kontynuacja przykładu ze stacją benzynową posłużyć może przykład dotyczący optymalnej liczby personelu obsługującego (również zaczerpnięty z tej pracy). Kierownictwo jest zainteresowane w posiadaniu minimalnej liczby ludzi zdolnych podołać obowiązkom obsługi bez tworzenia nadmiernej kolejki, która odstraszałaby klientów ze względu na długi czas czekania. Zdolność obsługi powyżej optimum kosztowałaby przedsiębiorstwo, wskutek zatrudnienia ludzi i wyposażenia, które nie byłoby wykorzystane. Koszt ten byłby, większy niż koszt spowodowany odejściem klientów na skutek wzrastającego czasu czekania. Zdolności poniżej optymalnego poziomu spowodowałyby straty w sprzedaży usług.

Intensywność zgłaszających się nie jest znana, lecz za pomocą analizy statystycznej podobnych zgłoszeń, jesteśmy w stanie znaleźć ich wartość średnią i odchylenie średnie. Ponadto, może być zmierzona wartość intensywnej obsługi. Problem polega na tym, by dzięki symulacji na SMC ustalić koszt usług dodatkowych w kilku wersjach stałych pracowników i dodając do niego koszty stałe zatrudnionych, uzyskać w ten sposób łączny koszt — jako kryterium przy wyborze optymalnego wariantu [7].

Ta sama idea przyświeca wszystkim przykładom, w których uzależnieni jesteśmy od rozkładów wyjściowych np. gdy rozpatrujemy wydawanie posiłków w barze samoobsługowym lub gdy w punkcie skupu owoców chcemy ustalić optymalną liczbę kierowców i konwojentów, zakładając możliwość ich dodatkowego angażowania w przypadkach wyjątkowego plonu, czy też optymalną liczbę samochodów, które powinno mieć przedsiębiorstwo handlowe, aby dostarczyć zakupione towary przez klientów do domu (o ile wypożyczenie samochodu jest znacznie droższe w porównaniu z utrzymaniem własnego sprzętu) itp. W tego typu sytuacjach racjonalne gospodarowanie środkami wymaga przeprowadzenia rachunku efektywności, przy którym konieczne staje się symulowanie sytuacji wyjściowej i stosowanie metody Monte Carlo dla rozwiązania problemu.

Warto zwrócić uwagę na to, że metoda symulacji sytuacji rynkowej, czy też konkurencji w przemyśle, doprowadziła nawet do stwarzania fikcyjnych zespołów w postaci towarzystw (np. Towarzystwo Przemysłowe

[7] Podstawowe idee i niektóre metody teorii masowej obsługi zostały wyłożone w pracy W. Rozenberg, A. Prochorow *Teoria masowej obsługi,* Warszawa 1965, natomiast omówienie niektórych przykładów w tym zakresie, w ujęciu praktycznym znaleźć można w opracowaniach: *Badania operacyjne w zarządzaniu,* Warszawa 1964 i *Z praktyki badań operacyjnych,* Warszawa 1964.

Metropolii, Pacyfiku, Atlantyku itp.), które wytwarzają ten sam produkt i sprzedają go w tej samej strefie [8]. Znajdujemy tu charakterystykę zachowania się tych zespołów, ich grę, by uzyskać maksymalne efekty z punktu widzenia danego przedsiębiorstwa. Przytacza się nawet tematy zebrań tych fikcyjnych zespołów w poszczególnych okresach czasu, by ustalić możliwie najdokładniej ich przewidywaną działalność. Oczywiście tak dalece posunięta symulacja wymaga wyposażenia w duże EMC, a także, by gwarantować celowość przedsięwzięcia — prowadzący badanie muszą mieć możność ingerencji na tak wielką skalę, co w warunkach gospodarki socjalistycznej wydaje się wysoce prawdopodobne.

W większym stopniu domeną inżynierów niż ekonomistów jest symulacja procesu przemysłowego, ale i tu warto zwrócić uwagę na efekt ekonomiczny, a więc oszczędność, jaką uzyskujemy dzięki symulacji np. procesu przetopu surówki w wielkich piecach, czy cyklu produkcji wyrobów stalowych [9]. Symulacja prowadzona w EMC staje tutaj na usługach organizatorów procesu produkcji, wkracza w szersze kręgi zarządzania, w którym pojawia się dodatkowy istotny czynnik, jakim jest czas. Dochodzimy w ten sposób do klasycznych metod zarządzania dążących do skrócenia czasu przedsięwzięcia, a więc do metod analizy sieciowej (PERT), gdzie możemy mówić również w pewnym sensie o szeregu kolejnych symulacji przebiegu przedsięwzięcia, wykonywanych na modelu sieciowym [10]. Podobne próby podejmuje się przy symulowaniu systemu przewozów towarowych [11].

Problem czynnika czasu i jego skrócenia w procesie symulacji ujawnia się w dwóch niezmiernie istotnych zagadnieniach, jakimi są: odnowa (zwana renowacją) i, co jest z tym dość ściśle związane, problem niezawodności urządzeń. W skład systemu wchodzi bowiem pewna liczba elementów, które łącznie wykonują pewne zadania. Zazwyczaj system jest tak słaby, jak najsłabszy z jego elementów, jednak prawdopodobieństwo uszkodzenia systemu jest znacznie większe, niż prawdopodobieństwo uszkodzenia najsłabszego z jego elementów. Przyczyny zawodności elementów i systemów ugruntowane są w przemysłowych metodach konstruowania i produkcji, jak również w metodach zarządzania. Chcąc zapewnić wysoką jakość produkcji i niezawodności produktów, nieodzowne staje się przewidywanie niezawodności, wychodzące od pojedynczych ele-

[8] Przykład taki omawia D. N. Choralas w pracy *Nouvelles méthodes d'analyse économique,* Paris 1963, autor wcześniejszej pracy zawierającej szczegółowe omówienie badań symulacyjnych pt. *Operations Research for Industrial Management,* New York 1958 oraz późniejszej pt. La *simulation mathématique et ses applications,* Paris *1966.*

[9] Por. J. Bernard, Comprendre et organiser le *traitement automatique de l'information,* Paris 1967.

[10] Por. A. Idźkiewicz, PERT. Metody analizy sieciowej, Warszawa 1967.

[11] Por. np. W. P. Allman, *Ein Computer-Simulationsmodell für Eiseribahngüterverkehrssysteme,* Kybernetik 1967, nr 2.

mentów i przechodzenie do poszczególnych ich grup [12]. Sprawne działanie tych elementów jest określone odpowiednimi prawdopodobieństwami — toteż przewidywanie zachowania się produktu końcowego wykorzystać może metodą symulacyjną właśnie w sensie przytoczonym na wstępie, który nazwać można zmniejszeniem skali czasu.

Zmniejszenie skali czasu — tak powszechnie stosowane w rozwiązaniach inżynierskich — w dziedzinach ekonomicznych wytycza dopiero nowe ścieżki zastosowań. Szerokie możliwości przed tego rodzaju zastosowaniem EMC w symulacji procesów gospodarczych otworzą się dopiero przy zastosowaniu programowania dynamicznego. Obecne próby [13] typu podręcznikowego są niewątpliwie zwiastunami przyszłych badań prowadzonych na szeroką skalę, jednakże w chwili obecnej zasadniczą trudnością przy ich stosowaniu jest zarówno niepełne dopracowanie poszczególnych modeli, z drugiej strony brak informacji wyjściowych, lub posiadanie informacji nie w pełni odpowiednich do tak poważnych przedsięwzięć. Tego rodzaju badania trzeba jednak uznać jako następny etap naukowego kierowania rozwojem planowego gospodarowania. W takiej perspektywie trzeba widzieć jeszcze dalszy proces symulacji, który nazwać można symulacją człowiek-maszyna [14], a która stanie się nieodłączną częścią procesu podejmowania decyzji, świadomego kierowania wielkimi systemami przy pomocy EMC. Awangardę w tym procesie automatyzacji zarządzania będą stanowić organizatorzy z prawdziwego zdarzenia, wśród których oczywiście nie może zabraknąć ekonomistów.

W chwili obecnej nie możemy jednakże jeszcze oczekiwać w zarządzaniu na szczeblu makro- jak i mikroekonomiki stosowania precyzyjnych metod analitycznych. Zasadniczą trudnością jest tu zbudowanie odpowiedniego modelu cybernetycznego, a także zaprogramowanie odpowiednich maszyn elektronicznych. Tym bardziej więc wydaje się celowe propagowanie metod symulacyjnych, w których brak danych wyjściowych można niekiedy sztucznie zastąpić, co umożliwia dalszy rachunek. Warto w tym miejscu przytoczyć radę płynącą z ust ludzi doświadczonych na tym polu: „Problemy rzeczywiste dotyczą na ogół sytuacji o wiele bardziej skomplikowanych, stąd częste uciekanie się do symulacji. Pozwalamy sobie jednak radzić tym wszystkim, którzy stykają się z problemami tego rodzaju, aby badali je tak dalece, jak to będzie możliwe, metodami analitycznymi, nawet gdyby ostateczne obliczenia musieli przeprowadzić metodą symulacji. Dobra analiza matematyczna bowiem pozwoli im unik-

[12] Por. D. N. Chorafas, *Procesy...*, op. cit.

[13] Np. A. Kaufmann, *Méthodes et modèles de* la *recherche opérationnelle,* Paris 1959.

[14] Por. J. Ferrier, Statistiques *et* probabilités dans l'administration des entreprises, Paris 1967.

nąć wielu pułapek, które kryją się zazwyczaj w problemach operujących pojęciami prawdopodobieństwa i statystyki" [15].

Obok ukazania możliwości symulacji procesów gospodarczych na elektronicznych maszynach cyfrowych wspomnieć chociaż wypada o tzw. symulacji analogowej. Właściwa symulacja bowiem opiera się na stosowaniu urządzeń analogowych, a polega na analizie systemu i budowie równania opisującego jego zachowanie. Następnie konstruuje się obwód elektryczny, którego zachowanie określone jest przez identyczne równanie matematyczne. Obwód ten jest więc analogią systemu rzeczywistego, a wyniki eksperymentów poczynionych na takim modelu będą identyczne z tymi, które można by otrzymać w rzeczywistości. Jako zmienna niezależna może tutaj także wystąpić czas. Mimo, że koszt takich symulatorów, odpowiednich do poszczególnych zagadnień zarządzania, jest dużo mniejszy od uniwersalnych maszyn cyfrowych, a także z obsługą symulatorów i ich konserwacją jest o wiele mniej kłopotów, to jednak w tej chwili dla celów sterowania procesami gospodarczymi nie należy ich zbyt szybko oczekiwać. Wynika to w pierwszym rzędzie ze specyfiki funkcjonowania przedsiębiorstw w ustroju socjalistycznym, różnej od kapitalistycznego i stąd niemożność posłużenia się symulatorami produkcji kapitalistycznej. Rozwój natomiast przemysłu elektronicznego w obozie socjalistycznym, a w Polsce w szczególności, nie rokuje rychłych nadziei na taką produkcję. Wiąże się to ponadto jeszcze z problemem stale dyskutowanego modelu przedsiębiorstwa, w którym brak przede wszystkim sprawnie działającego systemu informacji ekonomicznej. Młoda kadra programistów nie zna się na ogół na subtelnościach problematyki zarządzania przedsiębiorstwem, natomiast potencjalni użytkownicy elektronicznych maszyn, wobec ich dużej różnorodności, nie znają się na ich możliwościach. Okres potrzebny na pokonanie tych trudności stawia więc szerokie możliwości właśnie przed symulacją procesów gospodarczych na elektronicznych maszynach cyfrowych.

POSSIBILITIES OF SIMULATION OF THE ECONOMICAL PROCESSES ON COMPUTERS

Summary

The aim of the article is to attract the attention of the economists to the neglected appliance of computers, that are exploited to simulation of the economic processes. Under the simulation we understand not only the investigations, whose aim is to reduce the scale of time but also representation of some elements of the object, phenomenon, system or surrounding that enables the examination of the object. It can take place in the case of solving different mathematical problems (as for

[15] Cytat pochodzi z książki: A. Kaufmann, R. Faure, *Badania operacyjne na co dzień,* Warszawa 1968, s. 230.

instance calculation of integrals), where in spite of analytical methods one uses Monte Carlo method and also in the examination of different economic processes. Different computers can be used as compositions that simulate the fate event or substitute the execution of the experiment. In the economical sciences it is a thing of great importance. The possibilities of simulation of the economical processes are presented in many examples from the problems of mass services, where for instance one describes the length of a queue or the optimal amount of staff across the simulation of behaviour of fictitious productive problems across the organizational systems, finishing with models that contain the factor of time. On the background of possibilities there are shown the perspectives of simulation of the economical processes.