

Marek Melaniuk*

WYBRANE PROBLEMY METODOLOGII PROJEKTOWANIA
KOMPUTEROWYCH SYSTEMÓW SYMULACYJNYCH
(NA PRZYKŁADZIE SYSTEMÓW MASOWEJ OBSŁUGI)

1. Uwagi wstępne

Artykuł omawia niektóre problemy związane z metodologią projektowania komputerowych systemów symulacyjnych. Zagadnienia te zostały przedstawione na przykładzie jednofazowego, wielostanowiskowego systemu masowej obsługi.

Celem artykułu jest określenie zasadniczych problemów metodologii projektowania komputerowych systemów symulacyjnych w porównaniu z metodologią projektowania systemów elektronicznego przetwarzania danych w przedsiębiorstwach przemysłowych.

Prezentowana została jedna z koncepcji dotyczących sporządzania dokumentacji i określenia etapów budowy systemu symulacyjnego przy wykorzystaniu EMC oraz metoda tworzenia modelu konceptualnego i sieci działań dla modelu symulacyjnego. Modele symulacyjne budowane są zwłaszcza dla systemów stochastycznych, toteż omówiony został problem generowania danych wejściowych w warunkach występowania losowości zjawisk. W zakończeniu przedstawiono sposoby użytkowania komputerowych systemów symulacyjnych.

* Dr, adiunkt w Katedrze Informatyki UL.

2. Dokumentacja etapów budowy komputerowego modelu symulacyjnego

Symulacja jest techniką numeryczną służącą do odwzorowania zmian zachodzących w stanach modelu systemu rzeczywistego. Celem eksperymentów symulacyjnych jest imitacja takiego zachowania się modelu systemu, aby badane zmienne tego modelu osiągnęły wartości optymalne z punktu widzenia przyjętego kryterium. Osiąga się to przez zmianę wielkości wejściowych i (lub) reguł działania.

W obszerniej już obecnie literaturze z zakresu symulacji liczni autorzy w różny sposób określają etapy budowy komputerowych modeli symulujących działanie systemów rzeczywistych¹. W jednej z koncepcji, dotyczącej dokumentacji projektowania komputerowych systemów symulacyjnych, zaproponowanej przez J. McLeoda² i opisanej przez W. Rzońcę³, zawarte są następujące elementy:

- 1) informacja o przedsięwzięciu:
 - a) nazwa przedsięwzięcia;
 - b) organizacja odpowiedzialna za przedsięwzięcie;
 - c) możliwość kontaktu z tą organizacją;
 - d) cel przedsięwzięcia;
 - e) czas trwania przedsięwzięcia;
 - f) finansowanie:
 - źródło finansowania,
 - kwota,
 - okres finansowania;
- 2) informacja o przebiegu budowy modelu:
 - a) nazwa modelu;

¹ Polecamy się zwłaszcza trzy pozycje z tego zakresu: G. F i e h m a n, Concepts and Methods in Discrete Event Digital Simulation, London 1971 (ukazało się też wydanie polskie tej pozycji); F. M a r t i n, Wstęp do modelowania cyfrowego, Warszawa 1976; T. H a y l e r, Modelowanie cyfrowe systemów ekonomicznych, Warszawa 1975.

² J. M c L e o d, Simulation: From art to science for society. Simulation Today. Simulation, December 1973.

³ W. R z o ń c a, Uwagi o standaryzacji symulacji, [w:] Szkole symulacji systemów gospodarczych (Trzbiechów 1981), Wrocław-Gliwice 1981, s. 124-125.

- b) nazwiska autorów;
- c) cel budowy modelu:
 - szczegółowy,
 - ogólny;
- d) wykorzystywane dyscypliny naukowe:
 - podstawowe,
 - pomocnicze;
- e) wymagania w odniesieniu do danych wejściowych;
- f) metoda budowy modelu;
- g) założenia;
- h) koszt budowy modelu;
- i) dostępność modelu:
 - dla autorów modelu,
 - dla innych;
- j) kompatybilność modelu:
 - system komputerowy wykorzystywany przy opracowywaniu modelu,
 - inne wykorzystywane systemy,
 - język (języki) programowania;
- h) zakres, w którym model może być użyty:
 - przez autora,
 - przez innych;
- 3) opis modelu:
 - a) klasyfikacja modelu:
 - podstawowe dziedziny, w których model może być wykorzystany,
 - modelowany obiekt,
 - przeznaczenie modelu;
 - b) schemat modelowego systemu (blokowy);
 - c) schemat blokowy programu lub schemat powiązań elementów modelu;
 - d) notacja, zgodnie z którą opracowano model;
 - e) zasadność modelu;
 - f) informacje dodatkowe (wydruk komputerowy programu oraz wyniki przebiegów kontrolnych);
 - g) cechy charakterystyczne modelu (różnica w stosunku do podobnych modeli, ograniczenia modelu);
 - h) wcześniejsze modele;

- 1) aktualne podobne modele;
- 4) badania symulacyjne:
 - a) nazwa badań symulacyjnych;
 - b) cel badań;
 - c) założenia;
 - d) plan eksperymentu;
 - e) wymagania dotyczące danych wejściowych;
 - f) wykorzystane dane wejściowe;
 - g) czas trwania obliczeń dla jednego przebiegu;
 - h) koszt obliczeń dla jednego przebiegu;
 - i) wyniki obliczeń;
 - j) uzasadnienie założeń;
 - k) analiza wyników;
- 5) Dyskusja:
 - a) komentarz;
 - b) wnioski.

K. Koleśnik, Z. Huzar i Z. Fryźlewicz⁴ przedstawiają dokumentację projektową składającą się z trzech części wynikających z trzech następujących etapów komputerowych badań symulacyjnych:

- opracowanie koncepcji modelu,
- realizacja komputerowa modelu,
- przeprowadzenie badań na modelu i ocena uzyskanych wyników.

Treść merytoryczna tej koncepcji wykazuje duże podobieństwo do koncepcji J. McLeoda, mimo innego podziału etapów prac projektowych. Należy zwrócić uwagę na zbieżność obu propozycji z diagnostyczną metodą projektowania systemów elektronicznego przetwarzania danych, w której punktem wyjścia jest analiza danego obiektu. Jednak występuje istotna różnica przy projektowaniu systemów symulacyjnych w porównaniu z systemami EPD. Jest ona związana z problemem modelowania systemów, a więc opracowania modelu symulującego system rzeczywisty, oceny jego adekwatności i przeprowadzenia na tym modelu określonej ilości eksperymentów symulacyjnych. Utworzenie modelu symulacyjnego powinno być poprzedzone opracowaniem tzw. modelu konceptualnego.

⁴ K. Koleśnik, Z. Huzar, Z. Fryźlewicz, Symulacja komputerowa, Wrocław 1976.

3. Model konceptualny systemu masowej obsługi

Utworzenie logicznej sieci działań dla modelu symulacyjnego, a następnie jego oprogramowanie wymagają uprzedniego określenia powiązań istniejących między elementami badanego systemu rzeczywistego. Powiązania takie, ewentualne równania lub opis słowny są treścią skonstruowanego modelu konceptualnego.

Założmy, że badanym wycinkiem systemu rzeczywistego jest system działalności produkcyjnej przedsiębiorstwa przemysłu maszynowego. Analizowana jest praca jednego wydziału produkcyjnego polegająca na obróbce technologicznej detali. Detale podlegają obróbce na urządzeniu (np. na frezarce). Założmy, że w skład jednego stanowiska pracy wchodzi jedno urządzenie. Na danym wydziale znajduje się określona liczba stanowisk. Detale nadchodzą z innych wydziałów produkcyjnych do wydziału analizowanego i tutaj tworzona jest kolejka detali czekających na obróbkę. Przedziały czasu między nadejściami detali oraz czasy ich obróbki są zmiennymi losowymi o znanym rozkładzie prawdopodobieństwa i znanych parametrach tego rozkładu. Detal uważany jest za obrobiony wtedy, gdy poddany zostanie procesowi technologicznemu na jednym z istniejących urządzeń. Celem analizy procesu produkcyjnego jest ustalenie optymalnej liczby stanowisk pracy (urządzeń) - takiej, aby w wymaganym czasie pracy wydziału nie tworzyła się kolejka detali czekających na obróbkę i aby obrobione zostały wszystkie detale.

Opisany tu proces technologiczny obróbki detali może być przedstawiony w kategoriach systemów masowej obsługi. Charakterystyka modelu systemu masowej obsługi obejmuje:

1. Etapowość obsługi. Jest to system jednoetapowy (jednofazowy), ponieważ detal podlega procesowi obróbki tylko na jednym z urządzeń.

2. Elementy modelu. Elementami modelu są obiekty nadchodzące do obsługi (tj. detale podlegające obróbce) i stanowiska obsługi (urządzenia). Każdy z elementów ma atrybuty:

a) stanu

- dla obiektów - stan "kolejka" oznacza obiekt czekający na obsługę, stan "obsługa" - obiekt podlegający procesowi obsługi

(tj. obróbki technologicznej dla naszego przykładu):

- dla stanowisk - stan "wolne" oznacza stanowisko (urządzenie) nie pracujące, tj. czekające na nadejście obiektu, stan "zajęte" oznacza stanowisko, na którym obiekt jest obsługiwany;

b) czasu

- dla obiektów - czas równy zeru oznacza moment nadejścia obiektu do systemu, czas większy od zera - za tyle jednostek czasowych obiekt nadejdzie do systemu, czas mniejszy od zera - wartość bezwzględna z tej wielkości określa ilość jednostek czasu oczekiwania obiektu w kolejce na obsługę;

- dla stanowisk - czas równy zeru oznacza moment rozpoczęcia obsługi przez stanowisko, czas większy od zera - przez taką ilość jednostek czasu stanowisko będzie jeszcze obsługiwało dany obiekt, czas mniejszy od zera - czas bezczynności, oczekiwanie stanowiska na obsługę obiektu.

3. Strukturę sprzężeń między elementami. Obiekty połączone są w sposób szeregowy, stanowiska - w sposób równoległy.

4. Reguły działania (decyzyjne) występujące w modelu. W systemach masowej obsługi są nimi reguły priorytetów wyboru obiektów z kolejki oraz obsługi obiektów przez poszczególne stanowiska. Najczęściej występujące reguły priorytetów dla obiektów:

a) FIFO (first in - first out) - obiekty obsługiwane są w kolejności pojawiania się ich w systemie;

b) LIFO (last in - first out) - obiekty obsługiwane są w odwrotnej kolejności pojawiania się ich w systemie;

c) SJF (shortest job first) - reguła z uprzywilejowaniem krótkich zadań; priorytet przyjmuje wielkość równą wielkości czasu wykonania obsługi; z kolejki obiektów oczekujących na obsługę wybierany jest obiekt o najkrótszym czasie obsługi; priorytet ten pozwala na osiągnięcie stosunkowo wysokiego stopnia wykorzystania stanowisk roboczych;

d) reguła priorytetu dla największej wartości - preferuje obróbkę detali o największej wartości, a zatem oddziałuje korzystnie na zmniejszenie kosztów z tytułu zamrożenia zapasów produkcji w toku.

Reguły wyboru stanowisk do obsługi obiektów zasadniczo zależą od celu przeprowadzania eksperymentów symulacyjnych na modelu systemu. W naszym przypadku - ustalenie optymalnej ilości

stanowisk, co prowadzi do maksymalizacji stopnia ich wykorzystania - największy priorytet do rozpoczęcia obsługi uzyskują stanowiska o największym kolejnym numerze spośród stanowisk znajdujących się aktualnie w stanie "wolne".

4. Metodyka budowy modelu symulacyjnego

Podstawą działania każdego modelu symulacyjnego jest procedura sterowania upływem czasu (zwana zegarem symulacyjnym, mechanizmem synchronizacji itp.). Funkcją jej jest przesunięcie czasu symulacji o odpowiednią wielkość, co zawsze prowadzi do wyboru określonej ścieżki logicznej w modelu symulacyjnym.

Metodyka budowy modeli symulacyjnych związana jest z istnieniem następujących pojęć: zdarzenie, działanie, proces. Zdarzenie oznacza zmianę stanu elementu systemu. Działanie jest zbiorem operacji, które przekształcają stan systemu. Proces jest uporządkowanym w czasie zbiorem zdarzeń. W związku z tym wyróżniamy metody:

- przeglądania działań (activity scanning);
- planowania zdarzeń (event scheduling);
- interakcji procesowej (process interaction).

W metodzie przeglądania działań dane działanie jest wykonywane, jeżeli spełnione zostaną wszystkie warunki kontrolne dotyczące tego działania. Warunki te sprawdzają, czy mogła nastąpić zmiana stanu systemu w każdym cyklu czasowym. Natomiast w metodzie planowania zdarzeń dane zdarzenie jest wykonywane tylko podczas odpowiedniej zmiany stanu systemu. Metoda interakcji procesowej zawiera elementy dwóch poprzednich metod, ponieważ występujące instrukcje uzależnione od czasu, takie jak np. "opóźnij", "czekaj", wykonywane są metodą planowania zdarzeń, natomiast do instrukcji uzależnionych od spełnienia określonych warunków, np. "czekaj do", stosowana jest metoda interakcji procesowej, która zmniejsza liczbę ogólnych instrukcji. Szczegółowy opis tych metod przedstawiony jest zwłaszcza w pracy G. Fishmana⁵.

⁵ G. F i s h m a n, op. cit.

Obecnie przedstawiony zostanie sposób budowy modelu symulacyjnego na podstawie metody przeglądania działań. Metoda ta jest efektywna zwłaszcza w przypadku, gdy system charakteryzuje się większą liczbą działań przy mniejszej liczbie obiektów wejściowych. Budowa modelu symulacyjnego metodą przeglądania działań realizowana jest w następujących etapach:

- wyspecyfikowanie zachodzących działań;
- ustawienie działań w wymaganej logicznej kolejności;
- określenie warunków zajęcia każdego z działań;
- umieszczenie w modelu zegara symulacyjnego.

Pozzczególne działania, warunki ich spełnienia i zachodzące zdarzenia⁶ przedstawia rys. 1. Model składa się z modułów (procedur), każdy z nich określa jedno działanie. Jeżeli warunki wykonania danego działania nie zostaną spełnione, sterowanie w modelu przechodzi do następnego działania lub do zegara symulacyjnego.

Procedura sterująca upływem czasu rzeczywistego dokonuje przeglądu atrybutów czasu wszystkich elementów systemu w celu znalezienia najmniejszej dodatniej wartości tego atrybutu. Po jej znalezieniu atrybuty czasu każdego elementu zostają pomniejszone o tę wartość. Jednocześnie wartość specjalnej zmiennej (nazwijmy ją CLOCK) zostanie zwiększona o ten najmniejszy przyrost czasu. Zmienna CLOCK pełni rolę zegara symulującego upływ czasu rzeczywistego.

Oczywisty w tym przypadku staje się fakt, że model symulacyjny naśladuje dynamikę zachowania się systemu rzeczywistego w poszczególnych momentach czasu. System przetwarzania danych odzwierciedla jedynie strukturę statyczną badanej rzeczywistości.

5. Generowanie danych wejściowych w symulacyjnych modelach systemów stochastycznych

Systemy produkcyjne w rzeczywistości często charakteryzują się losowością działania. W modelach symulujących działanie sy-

⁶ M. M e l a n i u k, Wykorzystanie modelu symulacyjnego do sterowania systemem ekonomicznym, [w:] Materiały Infogryf '80, Informatyka w dydaktyce, cz. 2, Kołobrzeg 1980, s. 167.

stemów rzeczywistych jest możliwe uwzględnienie stochastyczności zjawisk. Z opisu modelu konceptualnego wynika, że przedziały czasu między nadejściami detali oraz czasy ich obróbki są zmiennymi losowymi o znanym rozkładzie prawdopodobieństwa. Problem otrzymywania charakterystyk losowych rozwiązuje się za pomocą wykorzystania generatorów liczb losowych.

W komputerowych modelach symulacyjnych generatory liczb losowych występują w postaci procedur zakodowanych w określonym języku programowania. Działanie generatorów o dowolnym rozkładzie prawdopodobieństwa odbywa się w dwu etapach:

- generowanie liczb losowych o rozkładzie równomiernym na przedziale (0,1);
- przekształcanie tak wygenerowanych liczb na rozkład inny niż równomierny według określonego algorytmu.

Istnieją różne sposoby otrzymywania liczb losowych o rozkładzie równomiernym⁷. Obecnie w praktyce stosowane są kongruencyjne generatory multiplikatywne. Generator taki w postaci procedury zakodowanej w języku PL/1-F dla EMC JS/Riad może wyglądać następująco:

```
(NOFOFL):RANDOM:PROC;  
DCL (RAND FLOAT, FIRST FIXED(31))BIN EXT;  
FIRST=FIRST*1220703125;  
RAND=FLOAT (FIRST)*.4656613E-9;  
END RANDOM;
```

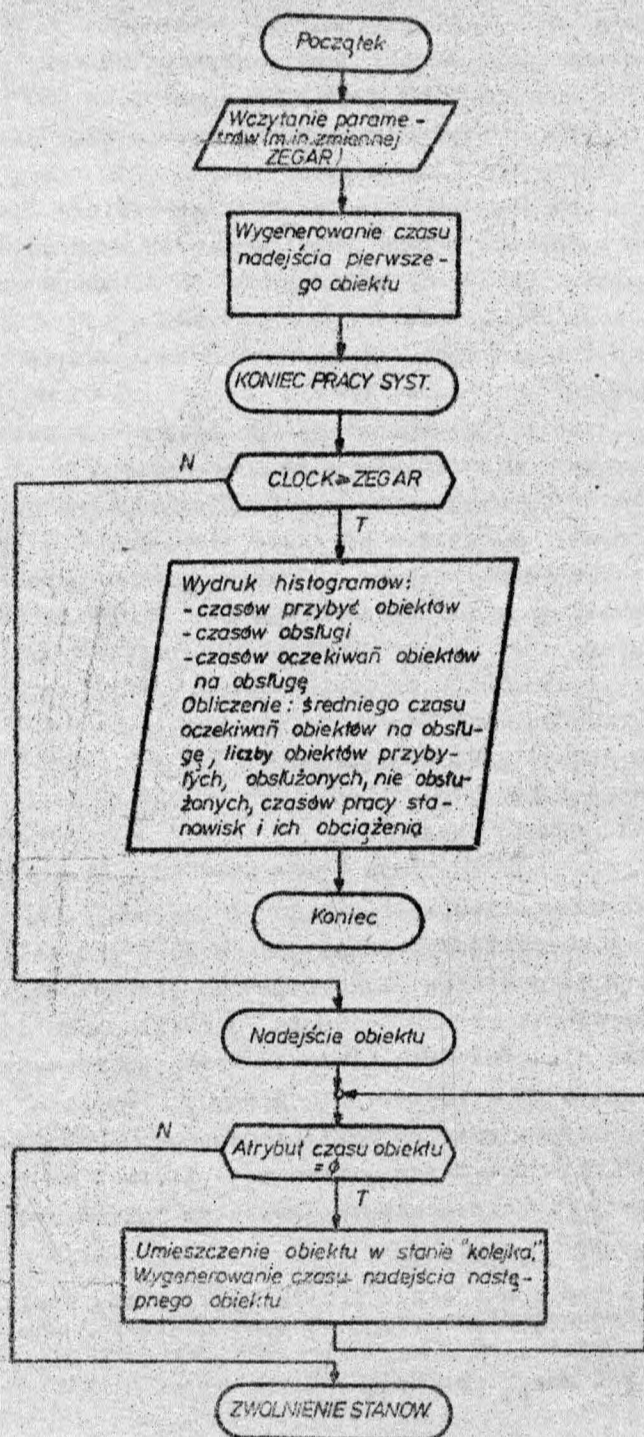
W wyniku działania procedury RANDOM w zmiennej RAND otrzymamy liczbę losową o rozkładzie równomiernym na przedziale (0,1). Zmienna FIRST zawiera liczbę początkową dla generatora.

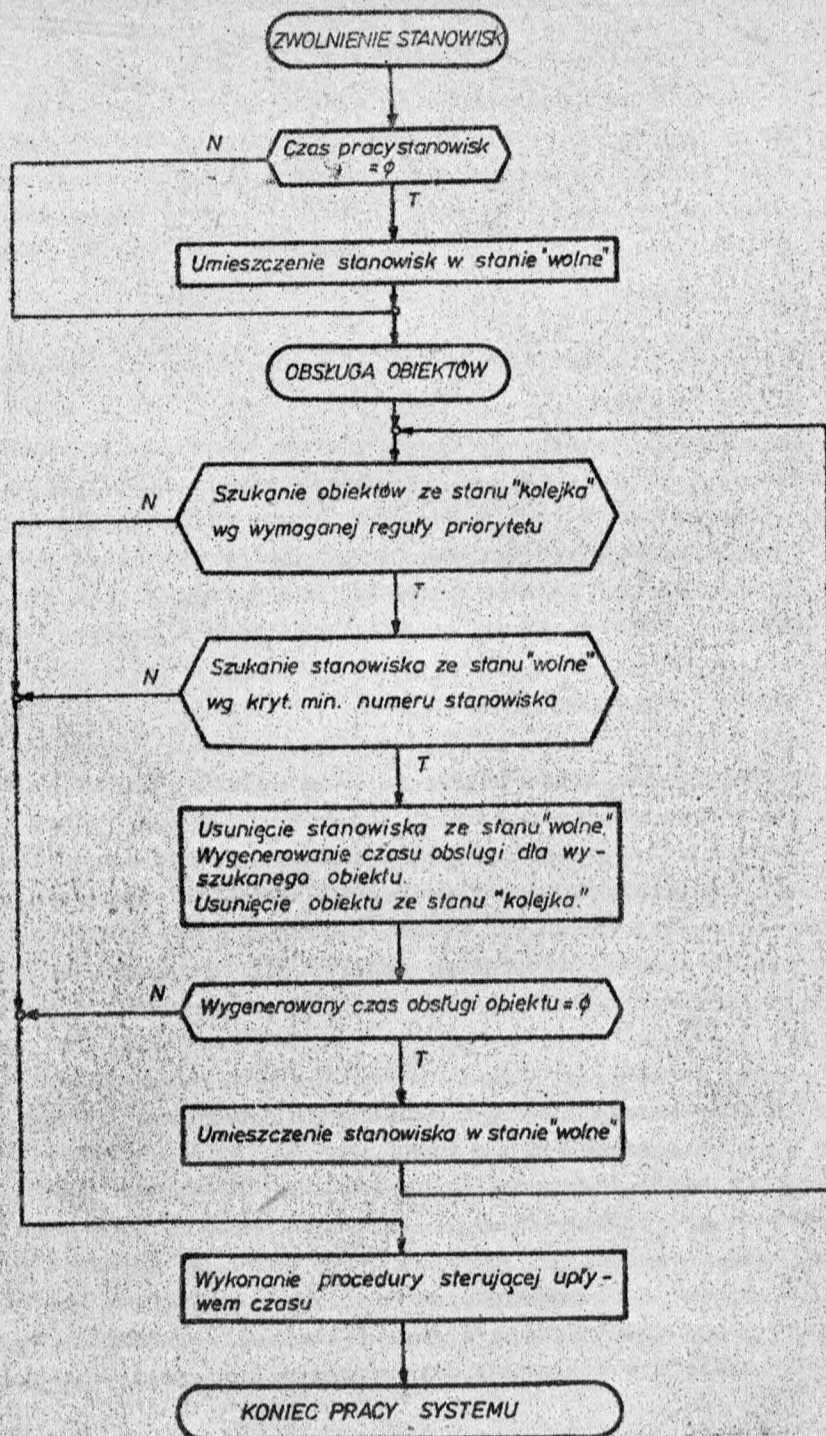
Metody generowania liczb losowych o rozkładach innych niż równomierny wraz z odpowiednimi podprogramami zakodowanymi w języku Fortran zostały przedstawił w pracy T. Naylora⁸.

Przykładowo podane zostaną dwie procedury funkcyjne - również w języku PL/1 - dotyczące generowania liczb o rozkładzie normalnym (GAUSS) wykorzystującym centralne twierdzenie grani-

⁷ B. F i l i p o w i c z, Symulacyjne metody analizy systemów obsługi masowej, "Zeszyty Naukowe AGH" 1977, Automatyka, z. 18.

⁸ T. N a y l o r, op. cit.





Rys. 1. Algorytm modelu symulującego system masowej obsługi

czne i o rozkładzie wykładniczym (EXPON) z ujemnym wykładnikiem potęgi. Rozkład ten otrzymuje się metodą odwracania dystrybucyj.

```
GAUSS:PROC(MEAN,DEVI) RETURNS (BIN FLOAT);
DCL (RAND FLOAT, FIRST FIXED (31)) BIN EXT,
    ((S INIT(0), MEAN,DEVI) FLOAT, I FIXED (31)) BIN;
DO I=1 TO 12;
CALL RANDOM;
S=S+RAND;
END;
RETURN (DEVI*(S-6.) + MEAN);
END GAUSS;
```

Parametrami wejściowym są średnia (MEAN) i odchylenie standardowe (DEVI).

```
EXPON: PROC (MEAN) RETURNS (BIN FLOAT);
DCL (RAND FLOAT, FIRST FIXED (31)) BIN EXT,
    MEAN BIN FLOAT;
CALL RANDOM;
RETURN (-MEAN*LOG (RAND));
END EXPON;
```

Parametrem wejściowym jest średnia rozkładu (MEAN).

W praktyce często przybycia obiektów do systemu albo czasy ich obsługi przez poszczególne stanowiska podlegają takiemu rozkładowi, który trudno jest przybliżyć rozkładem o znanej postaci funkcyjnej lub też możemy popełnić zbyt duży błąd w momencie aproksymacji. Wówczas należy dokonać generowania z rozkładu empirycznego. Algorytm takiego generowania jest dość prosty:

- utworzenie dystrybucyj z rozkładu empirycznego;
- wygenerowanie liczby o rozkładzie równomiernym (np. za pomocą procedury RANDOM);
- otrzymanie liczby z utworzonej dystrybucyj rozkładu empirycznego na podstawie wygenerowanej liczby z rozkładu równomiernego.

Jak wynika z powyższych rozważań, dane wejściowe do modelu symulacyjnego uwzględniają zjawisko stochastyczności. Rozkłady prawdopodobieństw powinny być tworzone na podstawie odpowiednio

dłuższego okresu działalności danego przedsiębiorstwa lub innego, o zbliżonym profilu produkcji i warunkach działania. Dane wejściowe do modelu symulacyjnego są już – jak widać – wstępnie przetworzone. Takiego przetworzenia powinien dokonać system EPD lub odpowiednie programy systemu symulacyjnego, wykorzystując do tego celu istniejącą bazę danych.

6. Sposób użytkowania komputerowych systemów symulacyjnych

Sposób użytkowania komputerowego systemu symulacyjnego wiąże się ściśle z celem, jaki został postawiony przed jego utworzeniem. Z opisu modelu konceptualnego w pkt. 3 wynika, że celem modelu symulującego działanie procesu produkcyjnego jest ustalenie optymalnej ilości stanowisk pracy. Można to osiągnąć przez analizę obciążenia poszczególnych stanowisk rozumianego jako stosunek czasu pracy stanowiska do założonego czasu pracy całego systemu.

W systemach symulacyjnych dużą rolę odgrywają nie tylko wyniki analityczne ich działania; w wielu przypadkach ważniejsze bywają informacje diagnostyczne przedstawiające zachowanie się modelu danego systemu w poszczególnych momentach. Istotne jest stosowanie zmian w danych wejściowych i regułach decyzyjnych oraz analiza ich wpływu na zachowanie się systemu.

Użytkownik utworzonego modelu symulacyjnego ma możliwość dokonania prognozy symulacyjnej pracy poszczególnych stanowisk obsługi (w przypadku badania systemu masowej obsługi) z uwzględnieniem wpływu czynników losowych.

Najbardziej efektywnym sposobem wykorzystania komputerowego systemu symulacyjnego jest współdziałanie konwersacyjne na zasadzie interakcji człowiek – model z wykorzystaniem komputera. Pozwala to na przeprowadzenie gry symulacyjnej, a model taki można zastosować do celów dydaktycznych lub do doskonalenia umiejętności podejmowania decyzji przez kadrę kierowniczą. Taki sposób użytkowania powinien prowadzić w rezultacie do optymalnego sterowania pracą systemu rzeczywistego.

Marek Melaniuk

SELECTED PROBLEMS IN METHODOLOGY OF DESIGNING
COMPUTER SIMULATION SYSTEMS (CASE STUDY OF MASS SERVICE SYSTEMS)

The article discusses certain selected problems connected with methodology of designing computer simulation systems. There was shown one of concepts concerning documentation of stages in construction of a computer simulation model in comparison with methodology of designing electronic data processing system at the level of an industrial enterprise. The author discussed the way of creating a conceptual model for the mass service system, network of operations of a model simulating behaviour of this system, and the problem of generating input data in conditions of appearance of randomness of phenomena. Finally, attention is focussed on the way of using computer simulation systems.