

IWAN P. ALDOHIN, KAZIMIERZ WAĆKOWSKI

SYMULACJA ZŁOŻONYCH SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH METODAMI MONTE CARLO

Z każdym rokiem wzrasta złożoność procesów produkcyjnych. Przedsiębiorstwa i ich wydziały, oddziały, odcinki produkcyjne, przekształcają się w złożone systemy produkcyjne. Powstaje problem nieprzydatności istniejących metod planowania, analizy, rozliczeń w stosunku do osiągniętego poziomu rozwoju i złożoności produkcji. Na przykład prac nowoczesnego złożonego wydziału produkcyjnego nie wolno analizować tylko częściami i dalej na podstawie badań oddzielnych elementów wyciągać wnioski o funkcjonowaniu całkowitego systemu. Wraz z dotychczas stosowanymi metodami potrzebne są i takie sposoby analizy, które pozwalałyby badać funkcjonowanie systemu w całości z uwzględnieniem wszystkich wzajemnych powiązań istniejących w produkcji. Do tej pory jednak metody takiej analizy rozpracowane są niedostatecznie, nie opracowano metodyki ich zastosowania w produkcji.

Na szczególne trudności natrafia się przy organizacji, planowaniu i analizie pracy wydziałów produkcyjnych, w funkcjonowaniu których napotyka się elementy nieregularności. Autorzy badali także złożone systemy produkcyjne typu dużych odcinków produkcyjnych, hal produkcyjnych, systemów przenośnikowych oraz przedsiębiorstwa w całości i proponują metodykę analizy ich pracy w celu określenia optymalnych stosunków (proporcji w rozmiarach ilościowych i innych parametrach) między oddzielnymi częściami samego systemu produkcyjnego czy między podstawowym systemem produkcyjnym i zabezpieczającymi jego pracę wydziałami pomocniczymi.

Dotychczas opracowano już wiele rodzajów modeli i sposobów modelowania. Do opisania rozpatrywanej klasy procesów produkcyjnych najbardziej nadaje się terminologia teorii masowej obsługi, ponieważ pracę jednej części systemu produkcyjnego prawie zawsze można zinterpretować jako zaspokojenie potrzeb innej półfabrykatami, detalami itp., niezbędnymi dla jej pracy. Oddziały pomocnicze w uproszczonym sensie obsługują wydziały produkcji podstawowej operacjami remontowymi, narzędziami, usługami transportowymi, operacjami kontroli itp. Jednak sam matematyczny aparat analitycznej teorii masowej obsługi dla analizy

pracy rozpatrywanych złożonych systemów produkcyjnych nie wystarcza, ponieważ proponowane tu rozwiązania nadają się tylko dla najprostszyc typów zadań, różniących się znacznie od warunków istniejących w praktyce. Dlatego w proponowanych metodach modelowania stosuje się terminologię teorii masowej obsługi, a jako aparat matematyczny wybrano metody modelowania statystycznego (metody Monte Carlo) uzupełnione graficznymi sposobami odtwarzania przebiegu procesu produkcyjnego i sposobami statystycznego i graficznego odtwarzania logicznych związków istniejących w produkcji.

Proponowaną metodykę zilustrujemy na przykładzie, którego warunki i rozmiary są zbliżone do normalnych, uproszczonego tylko na tyle, żeby zbyt nie komplikować ich drugoplanowymi faktami i pracochłonnymi obliczeniami. Wyjaśnienia przytacza się dla ręcznego przypadku rozwiązywania zagadnienia, chociaż opracowane metody zorientowane są także na wykorzystanie w procesie obliczeń elektronicznej maszyny cyfrowej. Ręczne rozwiązywanie zadania jest możliwe, ale jest praco- i czasochłonne. Na e.m.c. modele te realizuje się bez specjalnych kłopotów¹.

Przypuśćmy, że na hali produkcyjnej przedsiębiorstwa budowy maszyn pracuje $S^{\circ}=30^2$ podstawowych jednostek produkcyjnych. Mogą nimi być oddzielne obrabiarki, grupy obrabiarek czy jednostek aparatury, a mogą być także i oddzielne części dużego agregatu produkcyjnego, jeśli każda taka część jest w stanie kontynuować funkcjonowanie produkcyjne podczas awarii z jakiejś przyczyny innych części agregatu. Dla zabezpieczenia pracy wymienionych podstawowych jednostek produkcyjnych konieczne jest okresowo zaspokajanie nieregularnie powstających zapotrzebowań na: transport detali i półfabrykatów, usuwanie nieoczekiwanych awarii i rozregulowań urządzeń, na kontrolę i przyjmowanie gotowych detali. Dla wypełnienia tych operacji w hali produkcyjnej trzeba utrzymywać oddział transportowy A , zawierający 2 jednostki transportowe ($r^{\circ}_A=2$), służbę remontową B — 1 jednostkę ślusarzy remontowych ($r^{\circ}_B=1$) i służbę kontroli technicznej C — 3 kontrolerów jakości produkcji ($r^{\circ}_C=3$)³.

Analizę przeprowadza się w celu sprawdzenia, czy racjonalnie skoordynowane są możliwości oddziałów pomocniczych z potrzebami podstawowych jednostek produkcyjnych i wyjawienia dróg unowocześniania organizacji produkcji (tj. zmian ilości jednostek roboczych tak na pod-

¹ Zagadnienia realizacji rozpatrywanych metod modelowania są przedmiotem oddzielnego opracowania.

² Indeks o nad umownym oznaczeniem będzie określać taki czy inny wskaźnik odpowiadający istniejącemu wariantowi organizacji produkcji.

³ Liczbę jednostek roboczych w służbach pomocniczych zmniejszono dla uproszczenia. W przykładzie ograniczono się do trzech oddziałów pomocniczych, chociaż w realnych przypadkach jest ich więcej; należałoby uwzględnić jeszcze magazynierów, elektryków i nastawiaczy, oddzielnie rozpatrywać różne rodzaje transportu itd.

stawowych wydziałach produkcyjnych, jak i w służbach pomocniczych) dla podwyższenia jej efektywności. Trudność analizy polega na nieregularności powstawania zapotrzebowania na usługi służb pomocniczych. Niemożliwość stosowania opracowanych już metod modelowania, np. analitycznej teorii masowej obsługi, uzasadniona jest złożonością sytuacji, brakiem opracowanych modeli, które adekwatnie opisywałyby badany proces.

Modelowanie realizuje się etapami:

1) etap przygotowawczy: ustalenie parametrów modelu, zbieranie danych wyjściowych i ich wstępne opracowanie, wykrycie ilościowych prawidłowości i logicznych związków istniejących w procesach pojawiania się zapotrzebowań na usługi i ich zaspokajania;

2) konstruowanie modelu;

3) próbne badania modelu, odtwarzanie różnych możliwych wariantów organizacji pracy wszystkich podstawowych i pomocniczych wydziałów produkcyjnych i otrzymanie wskaźników jakości funkcjonowania systemu przy różnych wariantach jego organizacji⁴;

4) obliczanie wartości kryteriów ekonomicznych optymalności i wybór optymalnego (z punktu widzenia przyjętego kryterium) wariantu organizacji pracy systemu;

5) opracowanie przedsięwzięć w związku z realizacją w praktyce najlepszego optymalnego wariantu organizacji pracy systemu i uzasadnienie ekonomiczne celowości reorganizacji produkcji;

6) wdrożenie opracowanych i uzasadnionych w procesie przeprowadzania analizy przedsięwzięć w produkcję.

Danymi wyjściowymi są informacje o istniejących i wszystkich możliwych ilościach jednostek produkcji podstawowej i służb pomocniczych A , B i C , o kosztach O , związanych z utrzymaniem każdego z wymienionych obiektów, o wielkości produkcji W i nakładach produkcyjnych Z według pozycji asortymentowych, aby można było rozdzielić je (nakłady) na stałe M i zmienne V , a także informacja o częstości pojawiania się zapotrzebowań ze strony podstawowych jednostek produkcyjnych na usługi służb pomocniczych i długotrwałościach wykonywania operacji obsługi przez służby pomocnicze.

Informacje o istniejących ilościach jednostek roboczych podstawowego wydziału produkcji ($s^{\circ}=30$) i służb pomocniczych A , B i C ($r^{\circ}_A=2$, $r^{\circ}_B=1$, $r^{\circ}_C=3$) znane są z warunków przykładu. Inne ich ilości, które mogłyby być w przypadku zmiany organizacji pracy systemu, określa się wychodząc z warunków realnych, istniejących w przedsiębiorstwach, tj.

⁴ Przez wskaźniki jakości funkcjonowania systemu rozumie się także liczbowe charakterystyki, jak czas przestoju podstawowych jednostek produkcyjnych w oczekiwaniu na obsługę, czas przebywania w obsłudze, w obsłudze i oczekiwaniu na nią, czas zatrudnienia i niezatrudnienia jednostek roboczych służb pomocniczych, te same jednostki, ale odniesione do ogólnego czasu pracy itp.

wychodząc z możliwości z punktu widzenia techniki, technologii, istniejących przestrzeni itp.

Przypuśćmy, że na wydziale produkcji podstawowej można (nie naruszając potrzeb technologii) usunąć 1 jednostkę urządzeń czy wychodząc z istniejących przestrzeni produkcyjnych, postawić jeszcze 1 czy 2 jednostki, jeśli tylko dokaże się celowości tego. Kolejnymi możliwymi ilościami jednostek roboczych podstawowego wydziału produkcji będą: $s_1=29$, $s_2=31$ i $s_3=32$. Ilość jednostek transportowych można by powiększyć o 1 jednostkę, ilość ślusarzy remontowych — o 1 czy 2, kontrolerów — zmniejszyć lub powiększyć o jednego⁵. To znaczy możliwymi ilościami jednostek roboczych w oddziale *A* będzie $r_{A1}=3$, w oddziale *B* $r_{B1}=2$ i $r_{B2}=3$, w oddziale *C* $r_{C1}=2$ i $r_{C2}=4$.

Na tym etapie badań na podstawie danych rachunkowości i sprawozdawczości przy istniejących warunkach ($s^\circ=30$, $r^\circ_A=2$, $r^\circ_B=1$ i $r^\circ_C=3$) określa się osiągnięty poziom wielkości produkcji W° , sumaryczne nakłady na produkcję Z° z wydzieleniem części stałej M° i zmiennej V° . Oblicza się także wielkość kosztów utrzymania jednej jednostki roboczej podstawowego wydziału produkcji O i każdego z oddziałów pomocniczych — O_A , O_B i O_C . Nakłady te zawierają: a) płacę (włączając premie i inne rodzaje wynagrodzenia) wraz ze składkami ubezpieczeń społecznych, jeśli jednostkami roboczymi są ludzie, b) koszty utrzymania urządzeń (nakłady na remonty) i odpisy amortyzacyjne, jeśli jednostkami roboczymi są automatyczne urządzenia, c) jedno i drugie, jeśli jednostkami roboczymi są maszyny i ludzie.

Informacje o częstości pojawiania się zapotrzebowań na obsługę podstawowego wydziału produkcyjnego przez oddziały pomocnicze i o długo-trwałości obsługi otrzymuje się zazwyczaj na podstawie prowadzonych specjalnie obserwacji funkcjonowania produkcji. Rezultaty obserwacji wygodnie jest zapisywać w postaci tabeli 1. Obserwacje prowadzi się kolejno w stosunku do oddzielnych jednostek roboczych podstawowego wydziału produkcyjnego lub równolegle obserwuje się kilka jednostek jednocześnie, rezultaty obserwacji w tym przypadku zapisuje się w oddzielnych tabelach przygotowanych dla każdej obserwowanej jednostki. Rubryki 6 i 7 w tabeli 1 zapełnia się już w procesie opracowywania danych: liczby w 7 kolumnie otrzymuje się jako różnicę między liczbami w kolumnach 5 i 4 z tego samego wiersza, a liczby w kolumnie 6 otrzymuje się w wyniku odejmowania liczb w kolumnie 2 jednego wiersza i liczby w kolumnie 5 poprzedniego wiersza. Danych otrzymanych w czasie obserwacji powinno być dostatecznie dużo, aby wnioski robione na ich podstawie miały duże prawdopodobieństwo realizacji.

⁵ Granice możliwych zmian w tym przykładzie zawężono celowo, aby ograniczyć liczbę rozpatrywanych wariantów i dla uproszczenia. W praktyce możliwości zmian są znacznie większe.

Tabela 1

Forma zbioru danych o częstości pojawiania się zamówień na obsługę jednostek roboczych produkcji podstawowej przez jednostki oddziałów pomocniczych i o długości obsługi

Nr	Moment pojawienia się zapotrzebowania na usługę	Rodzaj zapotrzebowania (do jakiego oddz. adresowane)	Początek obsługi	Koniec obsługi	Okresy bezawaryjnej pracy między zapotrz. t_{bp}	Długość obsługi t_{ob}
1	2	3	4	5	6	7

Na podstawie danych z kolumny 6 określa się długość bezawaryjnej pracy (t_{bp}) jednostek podstawowego wydziału produkcji. W tym celu przeprowadza się grupowanie faktycznych danych w przedziałach, dobiera się pasujący teoretyczny rozkład wielkości przypadkowych, wyrównuje się empiryczny rozkład długości bezawaryjnej pracy jednostek roboczych według wybranego rozkładu teoretycznego, określa się parametry teoretycznej krzywej i ustala się za pomocą statystycznych kryteriów zgodności wybranej krzywej teoretycznej z rozkładem empirycznym. Przypuśćmy, że w rozpatrywanym przykładzie czas bezawaryjnej pracy okazał się wielkością podporządkowaną się prawu rozkładu normalnego, którego funkcja gęstości jest dana wzorem:

$$f(t_{bp}) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-\alpha)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

a dystrybuanta:

$$F(t_{bp}) = P(t_{bp} < t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-\alpha)^2}{2\sigma^2}} dt. \quad (2)$$

Dane z kolumny 7 wypisuje się oddzielnie według każdej spośród postaci zapotrzebowań (według każdego z oddziałów pomocniczych — A , B i C), a następnie opracowuje się je według tych samych zasad co i dane w kolumnie 6. Wykrywa się prawa rozkładu zdarzeń losowych, opisujące długość wypełniania prac przez oddzielne jednostki każdego z oddziałów pomocniczych. Dla oddziału A takim rozkładem może okazać się na przykład rozkład wykładniczy:

$$f(t_{obA}) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (3)$$

$$F(t_{obA}) = 1 - \lambda e^{-\lambda t}, \quad (4)$$

dla oddziału B — równomierny rozkład w przedziale od t_1 do t_2 :

$$f(t_{ob B}) = \begin{cases} \frac{1}{t_2 - t_1} & t_1 \leq t \leq t_2; \\ 0 & t < t_1 \quad \text{lub} \quad t > t_2, \end{cases} \quad (5)$$

$$F(t_{ob B}) = \begin{cases} 0 & t < t_1; \\ \frac{t - t_1}{t_2 - t_1} & t_1 \leq t \leq t_2; \\ 1 & t > t_2; \end{cases} \quad (6)$$

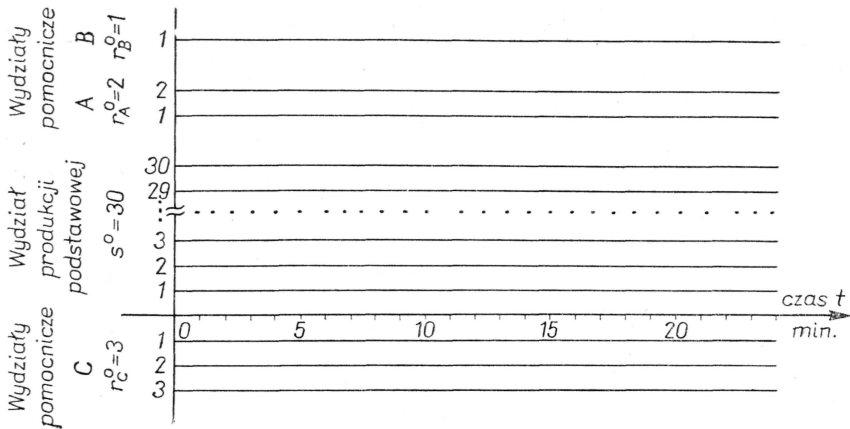
dla oddziału *C* — jeszcze jakiś inny spośród znanych teoretycznych rozkładów (rozkład — β , rozkład Rayleigha, rozkład Weibulla, itp.) lub powtórzy się jeden spośród już wymienionych wyżej. Typ prawa rozkładu w danych przypadkach nie odgrywa roli. Wymaga się tylko, żeby adekwatnie opisywał zebrane dane faktyczne i żeby można było nim operować, tj. według zadanych wartości funkcji (2), (4), (6) i innych dowolnym sposobem (analitycznie, według tabel metodą rozkładu w szereg itp.) znajdować wartości argumentów i odwrotnie. Proponowane metody modelowania pozwalają przeprowadzać analizę także i bez określania teoretycznych rozkładów, opisujących zaobserwowane dane faktyczne. W przypadku tym przy próbowaniu różnych wariantów organizacji systemu wykorzystuje się dane faktyczne, wybierane wielokrotnie w porządku losowym.

Na tym etapie zbierania danych wyjściowych określa się także prawidłowość, zgodnie z którą pojawia się zapotrzebowanie na wypełnienie prac przez oddziały pomocnicze; należy sprawdzić czy pojawiają się zupełnie przypadkowo, znaleźć stosunki między częstościami pojawiania się zapotrzebowań na prace różnych oddziałów itp.

W rozpatrywanym przykładzie kolejność była przypadkowa, zapotrzebowanie na usługi dowolnego oddziału mogło powstawać w dowolnej kolejności. Różniły się tylko częstości pojawiania się zapotrzebowań. Obserwacje pokazały, że w 37% przypadków zamawiane były usługi oddziału *A*, w 22% — oddziału *B*, w 41% — oddziału *C*.

Także na tym etapie bada się zachowanie jednostek roboczych podstawowego wydziału produkcji i oddziałów pomocniczych w przypadkach szczególnych; na przykład, jak zachowuje się jednostka robocza wydziału produkcji podstawowej, jeśli pojawia się zapotrzebowanie na usługę określonej postaci, a wszystkie jednostki robocze tego oddziału są w tym momencie zajęte lub jak zachowują się jednostki oddziałów pomocniczych, jeśli zapotrzebowania na ich usługi pojawiają się jednocześnie z wielu jednostek podstawowego wydziału produkcji itp.

Budowanie modelu polega na sporządzeniu wykresu (ryc. 1), na którym rysuje się, równoległe do osi czasu *t*, linie proste oddzielnie dla każ-



Ryc. 1. Fragment modelu, zbudowany w celu odtworzenia pracy analizowanego systemu produkcyjnego przy istniejącym wariancie jego organizacji: $s^o=30$, $r_A^o=2$, $r_B^o=1$, $r_C^o=3$

dej jednostki roboczej podstawowego wydziału produkcji i oddziałów pomocniczych, a na liniach w procesie modelowania za pomocą umownych oznaczeń w przyjętym okresie będą zaznaczane różne stany elementów rozpatrywanego systemu. Wykres konstruuje się dla każdego spośród możliwych wariantów organizacji pracy systemu.

Za nowy wariant uważa się taki, w którym chociażby jeden ze wskaźników ilości jednostek roboczych podstawowego wydziału produkcyjnego, czy oddziałów pomocniczych (s , r_A , r_B , r_C) różniły się od wartości tych wskaźników w innych wariantach. Dlatego ilość rozpatrywanych wariantów może być bardzo duża; nawet przy przyjętych ograniczeniach w rozpatrywanym przykładzie ilość możliwych wariantów wynosi 76. Wśród nich znajduje się również aktualnie istniejący w przedsiębiorstwie wariant organizacji $s^o=30$, $r_A^o=2$, $r_B^o=1$, $r_C^o=3$. Jeśli w praktyce którakolwiek z proporcji między ilościami jednostek roboczych podstawowego wydziału

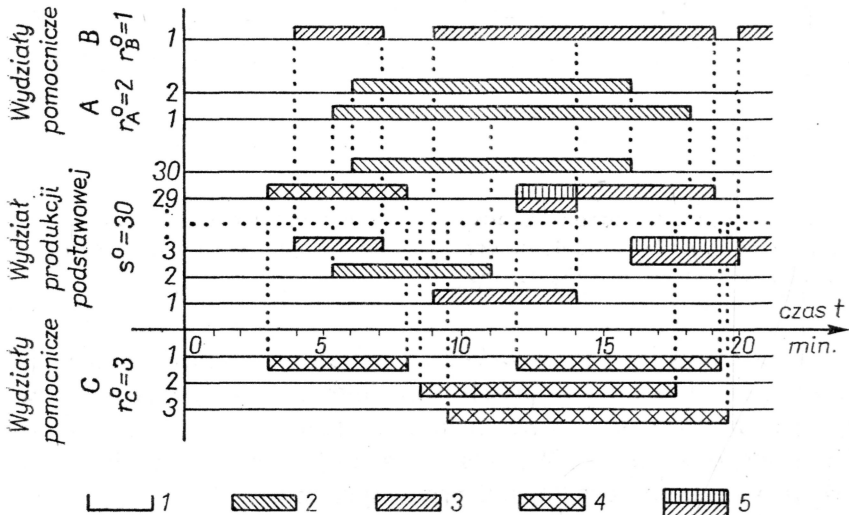
Tabela 2

Możliwe warianty organizacji pracy badanego systemu produkcyjnego

Wskaźniki, charakteryzujące warianty organ. syst., tj. l. jedn. roboczych	Numery porządkowe wariantów organizacji pracy systemu												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	72	
Na wydziale produkcji podst. s jed.					29							...	32
w oddziale A r_A jed.					2					3		...	3
w oddziale B r_B jed.		1			2			3		1		...	3
w oddziale C r_C jed.	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2		...	4

produkcyjnego i oddziałów pomocniczych jest nierealna czy nieinteresująca, to odpowiadający jej wariant nie jest rozpatrywany.

W procesie modelowania odtwarza się na wykresie (ryc. 2) prawdopodobny przebieg produkcji ze wszystkimi jego wzajemnymi powiązaniami. Długość każdego z realizowanych w produkcji procesów zaznacza się określonymi umownymi oznaczeniami. Za wyjściową uważa się taką sytuację, w której wszystkie jednostki robocze podstawowego



Ryc. 2. Fragment odtwarzania na skonstruowanym modelu procesu produkcyjnego w analizowanym systemie przy istniejącym wariantcie jego organizacji: $s^o=30$, $r_A^o=2$, $r_B^o=1$, $r_C^o=3$.

1 — jednostki robocze produkcji podstawowej pracują bezawaryjnie, nie zamawiając usług oddziałów pomocniczych, a robotnicy oddziałów pomocniczych czekają bez pracy z powodu braku zapotrzebowań na ich usługi;
 2 — jednostki robocze produkcji podstawowej są obsługiwane przez oddział pomocniczy A, a odpowiednia jednostka oddziału A jest zajęta tą pracą;
 3 — jednostki robocze produkcji podstawowej są obsługiwane przez oddział pomocniczy B, a odpowiednia jednostka oddziału B jest zajęta tą pracą;
 4 — jednostki robocze produkcji podstawowej są obsługiwane przez oddział pomocniczy C, a odpowiednia jednostka oddziału C jest zajęta tą pracą;
 5 — przestój jednostek roboczych produkcji podstawowej w oczekiwaniu na wykonanie usług, odpowiednio oddziału A, B i C z powodu tego, że jednostki robocze odpowiedniego oddziału są w tym czasie zajęte

wydziału produkcyjnego normalnie pracują, nie wymagając żadnych usług, a co za tym idzie, wszystkie jednostki robocze oddziałów pomocniczych są „wolne” (czekają na zatrudnienie). W tych warunkach określa się, jaka jest prawdopodobna długość bezawaryjnej pracy t_{bp} każdej spośród jednostek roboczych podstawowego wydziału produkcyjnego. W tym celu bierze się z tablic cyfr losowych liczbę (można także zastosować generator liczb losowych), podstawia się zamiast wartości dystrybucyjności $F(t_{bp})$ (2) i wylicza się (analitycznie według wykresu lub jeszcze innym sposobem) jej argument, który następnie zaznacza się na wykresie

(ryc. 2) jako czas pracy bezawaryjnej t_{bp} jednej spośród jednostek roboczych podstawowego wydziału produkcyjnego. Operacje te powtarza się się dla wszystkich s jednostek.

Następnie przechodzimy do cykli modelowania. Przegląda się wykresy wszystkich jednostek roboczych podstawowego wydziału produkcyjnego i wybiera się tę jednostkę, dla której czas bezawaryjnej pracy t_{bp} okazał się najmniejszy. Wybiera się nową liczbę losową, za pomocą której określa się prawdopodobną przyczynę zatrzymania się danej jednostki roboczej podstawowego wydziału produkcyjnego.

W tym celu cały przedział rozkładu liczb losowych np. od 0,00 do 0,99 dzieli się na podprzedziały proporcjonalnie do obserwowanych częstości pojawiania się zapotrzebowań różnych postaci i oblicza się; jeśli wybrana liczba należy do przedziału 0,00÷0,36, to rozpatrywana jednostka prosi o usługę oddział A , jeśli należy do przedziału 0,37÷0,58 — o usługę oddział B , jeśli do przedziału 0,59÷0,99 — oddział C . W ten sposób zapotrzebowania na usługi każdego z oddziałów będą odtwarzane na wykresie z taką częstością i w takim porządku losowym, który zaobserwowano w rzeczywistości. Następnie bierze się nową liczbę losową, podstawia się zamiast wartości dystrybuanty, opisującej rozkład długo-trwałości obsługi oddziału pomocniczego (np. dla funkcji (4), jeśli poprzednia liczba losowa była taka, że wskazywała na powstanie zapotrzebowania na usługę oddziału A), określa się wartość argumentu t . Wartość tę uważa się za możliwą długo-trwałość obsługi t_{ob} rozpatrywanej jednostki roboczej podstawowego wydziału produkcji, zaznacza się ją na wykresie tej jednostki i na wykresie jednej spośród jednostek roboczych tego oddziału, którego usługi potrzebne były w danym przypadku (tj. oddziału A). Z pomocą nowej liczby losowej według funkcji (2) określa się w wyżej opisany sposób nowy prawdopodobny okres bezawaryjnej pracy i zaznacza się na wykresie. Ponownie przegląda się wykresy pracy wszystkich jednostek podstawowego wydziału produkcji (biorąc pod uwagę także i tę jednostkę, którą już operowaliśmy), wybiera się tę, która pierwsza zamówiła obsługę i powtarza się cykl modelowania.

Jeśli w jakimś cyklu powstanie sytuacja, w której nowe zapotrzebowanie na pracę któregoś z oddziałów pomocniczych powstało w momencie, w którym wszystkie jednostki robocze tego oddziału są zajęte pracą na innych obiektach, to na wykresie jednostki roboczej, która wysłała zapotrzebowanie, zaznacza się przestój dopóty, dopóki któraś z jednostek roboczych wzywanego oddziału nie oswobodzi się. Następnie w wyżej opisany sposób określa się czas prawdopodobnej długo-trwałości wypełniania zamówionej pracy i odkłada się na wykresie po okresie przestoju. Modelowanie realizuje się w dostatecznie dużym okresie, aby otrzymane rezultaty były dostatecznie pewne.

Po zakończeniu odtwarzania przebiegu produkcji według wykresu określa się wskaźniki jakości funkcjonowania systemu, do których należą:

sumaryczny czas bezawaryjnej pracy jednostek podstawowego wydziału produkcji (T_{bp}), czas ich przestoju w oczekiwaniu na obsługę (T_{ocz}) i według każdej z przyczyn (tj. z winy każdego z oddziałów pomocniczych) — T_{oczA} , T_{oczB} , T_{oczC} ; czas przestoju ich podczas obsługi (T_{ob}) i według każdej z przyczyn — T_{obA} , T_{obB} , T_{obC} ; czas znajdowania się jednostek roboczych podstawowego wydziału produkcji w obsłudze i oczekiwaniu na nią w sumie i według przyczyn. Według każdego z oddziałów pomocniczych oblicza się czas pracy wszystkich jednostek roboczych danego oddziału i ich czas oczekiwania na pracę z powodu braku w oddzielnych okresach czasu zapotrzebowania na ich usługi. Jeśli każdą spośród otrzymanych w ten sposób wielkości podzielić przez sumaryczny czas pracy (czas, w którym realizuje się modelowanie) dla odpowiedniej grupy jednostek roboczych podstawowego wydziału produkcyjnego czy oddziałów pomocniczych, otrzyma się wielkości względne odpowiednich nakładów czasu pracy w analizowanym wariantcie organizacji pracy złożonego systemu produkcyjnego.

Proponowane metody modelowania pozwalają otrzymać pełny obraz funkcjonowania złożonego systemu produkcyjnego. Modelowanie powtarza się dla wszystkich możliwych wariantów organizacji systemu. Jednakże otrzymane wskaźniki nie pozwalają jeszcze na wyjawienie najlepszego, tj. optymalnego wariantu organizacji produkcji. Dlatego w celu zakończenia opracowywania metodyki, konieczne jest zaproponowanie ekonomicznych kryteriów optymalności funkcjonowania systemu.

Jako kryteria wyboru optymalnego wariantu organizacji systemu, w zależności od konkretnych warunków proponuje się kilka wskaźników. Jeśli na przykład, analizowany system jest „wąskim gardłem” w przedsiębiorstwie, nawet nieznaczne rozszerzenie go pozwoli znacznie polepszyć pracę całego przedsiębiorstwa, to w przedstawionej metodyce jako kryterium optymalności proponuje się maksymalną wielkość produkcji, która będzie oczywiście zmieniać się proporcjonalnie do zmian sumarycznego czasu pracy jednostek roboczych podstawowego wydziału produkcji:

$$W = W^0 \frac{T_{bp}}{T_{bp}^0} \rightarrow \max, \quad (7)$$

gdzie: T_{bp} i T_{bp}^0 — sumaryczne czasy bezawaryjnej pracy jednostek roboczych podstawowego wydziału produkcji, odpowiednio przy nowym wariantcie organizacji pracy systemu i przy istniejącym; W i W^0 — wielkość produkcji odpowiednio przy nowym wariantcie organizacji pracy systemu i przy istniejącym. Jeśli produkcja funkcjonuje w normalnych warunkach przy wyborze optymalnego wariantu organizacji pracy systemu racjonalnej jest uwzględnić wskaźniki wartościowe. Za kryterium optymalności można przyjąć minimalny koszt własny jednostki produkcji,

$$z = \frac{Z}{W} = \frac{V+M}{W} \rightarrow \min. \quad (8)$$

Zmienna część kosztów V w tym wzorze będzie zmieniać się tak, jak i wielkość produkcji W , tj. proporcjonalnie do zmian czasu pracy jednostek podstawowego wydziału produkcji

$$V = V^0 \frac{T_{bp}}{T_{bp}^0}. \quad (9)$$

Stałe nakłady M nie powinny się zmieniać. Ponieważ jednak koszty utrzymania jednostek roboczych produkcji pomocniczej O odnoszą się do stałych kosztów, liczba tych jednostek r w różnych wariantach zmienia się. W związku z tym zaobserwuje się zmiany w stałych nakładach, które można wyrazić wzorem:

$$M = M^0 + O_A(r_A - r_A^0) + O_B(r_B - r_B^0) + O_C(r_C - r_C^0) + \dots^6 \quad (10)$$

Dalej wzór (8) można zapisać w postaci:

$$z = \frac{Z}{W} = \frac{V + M}{W^0} + \frac{[M^0 + O_A(r_A - r_A^0) + O_B(r_B - r_B^0) + O_C(r_C - r_C^0) + \dots] T_{bp}^0}{W^0 T_{bp}}. \quad (11)$$

Jednym z możliwych ekonomicznych kryteriów optymalności może być także wskaźnik zmiany nakładów na 1 godzinę pożytecznej (tj. produkcyjnej, bezawaryjnej) pracy jednostek podstawowego wydziału produkcji. Ponieważ wielkość produkcji jest proporcjonalna do bezawaryjnego czasu pracy podstawowego wydziału produkcji, to rezultaty obliczeń według tego i wyżej rozpatrywanego kryterium z powinny być bliskie.

Po wyborze optymalnego (według przyjętego kryterium) wariantu organizacji pracy systemu opracowuje się przedsięwzięcia, konieczne do zrealizowania go w praktyce, oblicza się ekonomiczne wskaźniki celowości proponowanej reorganizacji, np. ekonomiczny efekt unowocześnienia organizacji, potrzeba jednoczesnych nakładów materialnych i niematerialnych, okres zwrotu nakładów i inne. Po przyjęciu decyzji w tym zakresie przeprowadza się realizację rozpracowanych i uzasadnionych przedsięwzięć.

Proponowane metody modelowania można stosować nie tylko dla analizy produkcji realizowanej, ale także przy techniczno-ekonomicznym projektowaniu nowej produkcji. Dane wyjściowe wówczas zbiera się w podobnych działających przedsiębiorstwach, a modelowanie przeprowadza się według możliwych wariantów organizacji projektowanego przedsiębiorstwa.

⁶ Kropki na końcu wzoru (10) oznaczają, że liczbę składników można powiększać w zależności od tego, ile oddziałów pomocniczych włączono do modelu i objęto analizą.

SIMULATION OF MULTIPRODUCTION SYSTEMS
BY MONTE-CARLO METHODS

Summary

A model and a complex analysis methodics of a multiple functioning of production systems are proposed in the paper. The model yields (with an assumed criterion) the optimum relations between elements of the system as well as between the basic production system and its auxiliary sections safeguarding its work. **The** method of Monte-Carlo and graphic methods of the reconstitution of the production process are adapted.