

Magdalena TOROŃSKA-ŁUCZYŃSKA
Politechnika Śląska

HARMONOGRAMOWANIE PROCESU KUCIA METODĄ SYMULACJI CYFROWEJ

Streszczenie. W referacie przedstawia się model procesu kucia matrycowego wykorzystywany przy rozwiązywaniu problemu harmonogramowania procesu metodą symulacji cyfrowej.

1. CHARAKTERYSTYKA PROCESU KUCIA

Proces kucia matrycowego jest technologicznym procesem produkcyjnym, którego produktami końcowymi są odkuwki różnych asortymentów (różnych kształtów, wymiarów i właściwości materiałowych).

Wytwarzanie odkuwek odbywa się w ramach zadań produkcyjnych, wynikających z planów na kolejne przedziały czasu. Pojedyncze zadania produkcyjne determinuje: zbiór asortymentów odkuwek, które należy wytworzyć, liczbę sztuk odkuwek (porcję podstawową) każdego asortymentu oraz pożądane terminy zakończenia wykonywania porcji podstawowych, odkuwek poszczególnych asortymentów.

Wytworzenie pojedynczej odkuwki polega na uzyskaniu dla jednostki surowca w określonym porządku technologicznym, zbioru odpowiednich przemian częściowych. Przemiana częściowa materiału jest rozumiana jako nadanie jednej z cech, charakteryzujących materiał - wartości, odpowiedniej dla asortymentu odkuwek, na który przeznaczony jest materiał. Przemiana częściowa materiału następuje w efekcie trwającego skończony czas i nieprzerwanego zadziaływania pojedynczego urządzenia, znajdującego się w czasie oddziaływania na materiał w odpowiednim stanie technologicznym. Stan technologiczny urządzenia wyznaczony jest narzędziem założonym na urządzenie lub nastawami określonych regulatorów, będącymi miarą energii doprowadzanej do urządzenia.

W ramach nieprzerwanego zadziaływania urządzenia wykonywana jest jedna tylko przemiana częściowa dla wielu jednostek materiału (tzw. porcji elementarnej). Wielkość tej porcji podlega ustaleniu.

Dla każdej przemiany częściowej określone są dwa typy urządzeń (podstawowy i zastępczy), na których może być wykonywana oraz typ narzędzia, które może być wykorzystane do realizacji danej przemiany częściowej na urządzeniu określonego typu.

Urządzenia poszczególnych typów są na ogół przeznaczone do realizacji różnych przemian częściowych.

Porządek technologiczny osiągania przemian częściowych materiału przeznaczanego na odkuwki pojedynczego asortymentu określa jedna dopuszczalna kolejność ich realizacji oraz takie następstwo czasowe; zgodnie z którą chwila rozpoczęcia kolejnej przemiany częściowej nie może być wcześniejsza od chwili zakończenia przemiany częściowej bezpośrednio ją poprzedzającej.

Materiał, który w danej chwili trwania procesu nie podlega przemianie lub transportowi jest przechowywany w magazynach.

Za względu na realizację zadania produkcyjnego, dodatkowymi, charakterystycznymi cechami procesu kucia są:

1° ograniczona w czasie dostępność surowców przeznaczonych na zadanie produkcyjne (znana w postaci harmonogramów dostaw surowców),

2° ograniczona w czasie dostępność narzędzi, której przyznanymi są: ograniczona w czasie dostępność narzędzi nowych (znana w postaci harmonogramów dostaw narzędzi) oraz obowiązująca w procesie kucia - zasada gospodarki narzędziami, zakładająca, że:

- a) równocześnie może być wykorzystywane tylko jedno narzędzie każdego typu,
- b) użycie nowego narzędzia danego typu może nastąpić tylko pod warunkiem całkowitego zużycia narzędzia już wykorzystywanego,

3° ograniczona w czasie dostępność urządzeń (znana w postaci harmonogramów postojów planowanych),

4° niedopuszczalność postojów urządzeń w przypadku, gdy możliwa jest realizacja przemiany częściowej materiału.

Jednym z zadań, które występują przy rozwiązywaniu problemu optymalizacji sterowania rozpatrywanym procesem kucia, jest zadanie harmonogramowania produkcji. Zadanie to formuluje się tak: "należy wyznaczyć takie rozmieszczenie na urządzeniach i w czasie realizacji przemian częściowych materiału przeznaczanego na zadanie produkcyjne, aby wytworzone zostały we wszystkich odkuwki objęte zadaniem produkcyjnym w sposób zgodny z technologią i ograniczeniami w minimalnym czasie i pod warunkiem nieprzekroczenia zadanej wartości kosztu kar umownych płaconych za nieterminowe wykonanie odkuwek poszczególnych asortymentów".

Uwzględniając właściwości procesu kucia, przedstawione zadanie można zaliczyć do zadań optymalizacji dyskretnej typu "harmonogramowanie z rozdziałem zasobów". Złożoność procesu kucia spowodowała, że zadanie harmonogramowania procesu kucia nie udało się sprowadzić do postaci rozwiązywalnej metodami dokładnymi. W związku z tym zdecydowano wykorzystać metodę przeglądu częściowego opartą na symulacji procesu. Zastosowanie tej metody nie daje pewności, że uzyskane rozwiązanie jest optymalne. Metodę tę można będzie jednak uznać za użyteczną, jeżeli umożliwi ona znajdowanie

takiego harmonogramu produkcji, który będzie lepszy w sensie kryterium od harmonogramu wyznaczanego w sposób konwencjonalny (aktualnie stosowany).

Algorytm rozwiązywania zadania harmonogramowania procesu kucia w oparciu o przyjętą metodę utworzono w postaci dwu współdziałających algorytmów reprezentujących odpowiednio:

1^o model procesu kucia, służący do wyznaczania pojedynczego rozwiązania zadania harmonogramowania produkcji,

2^o strategię przeszukiwania zbioru rozwiązań dopuszczalnych i wyboru rozwiązania suboptymalnego.

Model procesu kucia utworzono jako model procesu odbywającego się na bieżąco w pewnym przedziale czasu. Przyjęto, że model ten obejmuje:

1^o model działania dyspozytora procesu w zakresie podejmowania decyzji dotyczących kolejnych zadziałań urządzeń w chwilach, w których kończy się poprzednio określone zadziaływanie (model ten jest w praktyce formalizacją heurystycznych reguł sterowania procesem),

2^o model procesu przemian materiału odbywających się na obiekcie, pod wpływem decyzji dyspozytora procesu.

Przeszukiwanie zbioru rozwiązań dopuszczalnych zadania harmonogramowania produkcji realizuje się poprzez takie szeregowe generowanie rozwiązań, że:

1^o każde kolejne rozwiązanie jest uzyskiwane przez modyfikację reguły sterowania,

2^o modyfikację reguły sterowania przeprowadza się na podstawie oceny przebiegu procesu uzyskanego z symulacji,

3^o modyfikacja reguły sterowania polega na przyspieszaniu realizacji odkuwek tych asortymentów, które w największym stopniu wpływają na czas realizacji zadania produkcyjnego lub na koszt kar umownych,

W referacie niniejszym przedstawia się model symulacyjny procesu kucia.

2. ZAŁOŻENIA BUDOWY MODELU SYMULACYJNEGO PROCESU KUCIA

Model symulacyjny procesu kucia utworzono przy następujących założeniach i ustaleniach, wynikających z rozpoznania procesu:

a) Znany jest zbiór $A = \{1, \dots, a, \dots, \bar{A}\}$ asortymentów odkuwek, które należy wytworzyć w ramach zadania produkcyjnego.

b) Dany jest zbiór wszystkich przemian częściowych, których osiągnięcie musi nastąpić na obiekcie, aby wytworzone zostały asortymenty odkuwek objęte zadaniem produkcyjnym. Zbiór tych przemian przedstawia tablica $R = [(a, b)]_{a \in A, b \in B^a}$, gdzie: (a, b) - kod przemiany częściowej, oznaczającej osiągnięcie przez cechę $b \in B^a$ - wartości odpowiedniej dla materiału przeznaczanego na odkuwki o asortymencie $a \in A$; B^a - zbiór ko-

dów tych cech charakteryzujących materiał, których wartości muszą ulec zmianie przy wytwarzaniu odkuwek o asortymencie $a \in A$.

- c) Znany jest zbiór $M = \{1, \dots, m, \dots, \bar{M}\}$ urządzeń obiektu.
- d) Znany jest zbiór $C = \{1, \dots, c, \dots, \bar{C}\}$ typów urządzeń obiektu.
- e) Dana jest tablica $G = [c_m]_{m \in M}$ - typów poszczególnych urządzeń, gdzie: c_m - typ urządzenia $m \in M$.
- f) Dana jest tablica $S = [s_c]_{c \in C}$, której każdy element określony jest tak: $s_c = 1$ - jeżeli stan technologiczny pracy urządzenia typu $c \in C$ wyznaczony jest narzędziem lub $s_c = 0$ - jeżeli stan technologiczny urządzeń typu $c \in C$ wyznaczony jest nastawami regulatorów.
- g) Dana jest tablica $\tilde{T} = [\tilde{t}^c]_{c \in C}$ - czasów przebrojeń (zmian narzędzi lub nastaw regulatorów) urządzeń poszczególnych typów $\tilde{t}^c \in N$ - czas przebrojenia urządzeń typu $c \in C$, (N - zbiór liczb naturalnych).
- h) Dane są tablice: $E = [e^{a,b}]_{(a,b) \in R}$ - podstawowych typów urządzeń i $F = [f^{a,b}]_{(a,b) \in R}$ - zastępczych typów urządzeń, na których można realizować poszczególne przemiany częściowe; $e^{a,b} \in C$, $f^{a,b} \in CU\{0\}$ - typ urządzenia podstawowego i zastępczego, na których można realizować przemianę częściową $(a,b) \in R$. $f^{a,b} = 0$ oznacza, że do realizacji przemiany częściowej $(a,b) \in R$ służą urządzenia tylko jednego typu.
- i) Dane są tablice $R^C = [r^{a,b}]_{a \in A, b \in B^a, (c \in C)}$ przemian częściowych możliwych do realizacji na urządzeniach poszczególnych typów $c \in C$. $(a,b) \in R^C$ - kod przemiany częściowej możliwej do realizacji na urządzeniach typu $c \in C$.
- j) Przed urządzeniami każdego typu znajduje się magazyn elementarny materiału. Przechowuje się w nim materiał o takim stopniu przetworzenia, że przemiana częściowa, którą należy wykonać w najbliższej kolejności, może być wykonana na urządzeniu tego typu, przed którym magazyn jest usytuowany. Magazyn elementarny materiału oznacza się kodem (numerem) typu urządzeń $c \in C$, przed którym występuje, a stopień przetworzenia materiału oznacza się kodem przemiany częściowej $(a,b) \in R^C$, którą należy wykonać.
Zakłada się, że pomiędzy kolejnymi przemianami materiał musi być złożony do magazynu.
- k) Przed urządzeniami każdego z tych typów, których warunki technologiczne wyznaczone są narzędziem ($s_c = 1$), znajduje się magazyn elementarny narzędzi. Przechowuje się w nim narzędzia tych typów, które muszą być wykorzystane przy realizacji przemian częściowych materiału, wykonywanych na urządzeniach tego typu, przed którym znajduje się magazyn. Magazyny elementarne narzędzi oznacza się kodem typu $c \in C$ urządzeń, przed którymi jest usytuowany, a typy narzędzi kodem przemiany częściowej $(a,b) \in R^C$, przy wykonywaniu której muszą być użyte.

Przyjęte oznaczenie typów narzędzi jest dopuszczalnym uproszczeniem, gdy znany jest kod magazynu elementarnego. W przeciwnym wypadku kod typu narzędzia określa trójkę (a, b, c) .

- l) Dane są tablice $\tau^c = [\tau^{a,b,c}]_{(a,b) \in R^c}$, $(c \in C)$ - czasów trwania przemian częściowych jednostki materiału na urządzeniach poszczególnych typów. $\tau^{a,b,c} \in \mathbb{N}$ - czas trwania przemiany częściowej $(a, b) \in R^c$ jednostki materiału na urządzeniu typu $c \in C$.
- ł) Dane są tablice $\bar{\tau}^c = [\bar{\tau}^{a,b,c}]_{(a,b) \in R^c}$, $(c \in C)$ - czasów transportu. $\bar{\tau}^{a,b,c} \in \mathbb{N}$ - czas transportu materiału o stopniu przetworzenia (a, b) , uzyskanym na urządzeniu typu $c \in C$ do odpowiedniego magazynu.
Uwaga: Wartości czasów $\bar{\tau}^{a,b,c}$ równe są w rzeczywistości czasom transportu materiału pomiędzy urządzeniami, na których wykonywane są kolejne przemiany częściowe. W związku z tym pomija się w modelu czas transportu materiału z magazynu elementarnego na urządzenie.
- m) Dane są tablice $\tilde{g}^c = [\tilde{g}^{a,b,c}]_{(a,b) \in R^c}$, $(c \in C)$ - żywotności nominalnych narzędzi poszczególnych typów, gdy $s_c = 1$ lub maksymalnych pojemności urządzeń, gdy $s_c = 0$. $\tilde{g}^{a,b,c} \in \mathbb{N}$ - żywotność nominalna narzędzi typu $(a, b) \in R^c$ (mierzona liczbą jednostek materiału, dla których można wykonać daną przemianę częściową przy użyciu jednego narzędzia danego typu) lub pojemność urządzenia typu $c \in C$ dla materiału o stopniu przetworzenia $(a, b) \in R^c$ (mierzone liczbą jednostek materiału, które mogą być równocześnie wprowadzone na urządzenie).
- n) Znany jest porządek technologiczny realizacji przemian częściowych. W modelu procesu jest on dany w postaci dwu tablic: tablicy R - kodów przemian częściowych i tablicy następników $P = [(p_1, p_2)^{a,b}]_{(a,b) \in R}$, gdzie: $(p_1, p_2)^{a,b} \in \mathbb{R} \cup \{(0,0)\}$ - kod przemiany częściowej, która jako następna ma być wykonana po przemianie $(a, b) \in R$. Jeżeli $(a, b) \in R$ jest ostatnią przemianą częściową, którą należy wykonać przy wytwarzaniu odkuwek o asortymencie $a \in A$, to $(p_1, p_2)^{a,b} = (0,0)$.
- o) Znany jest zbiór uporządkowany chwil czasu $T = \{t_0, t_1, \dots, t_k\}$, w których następuje realizacja przemian materiału przeznaczonego na zadanie produkcyjne.
- p) Dane są pożądane terminy t^a , $(a \in A)$ - wytworzenia odkuwek poszczególnych asortymentów.
- q) Dane są współczynniki d^a , $(a \in A)$ - kosztu kar umownych, płaconych za przekroczenie pożądanych terminów wytworzenia odkuwek poszczególnych asortymentów o jednostkę czasu.
- r) Znane są wielkości porcji podstawowych, dla których należy wykonać poszczególne przemiany częściowe, aby zrealizowane zostało zadanie produkcyjne. W modelu procesu dane są one w postaci tablic $Z^c(t_0) = [z^{a,b,c}(t_0)]_{(a,b) \in R^c}$, $(c \in C)$, których elementy $z^{a,b,c}(t_0) \in \mathbb{N} \cup \{0\}$ -

oznaczają liczbę jednostek materiału, dla których nie zrealizowano przemiany częściowej $(a,b) \in R^C$, na urządzeniu typu $c \in C$, do chwili $t_0 \in T$.

- s) Znany jest stan procesu w chwili $t_0 \in T$ początkującej realizację zadania produkcyjnego.
- t) Znane są postoje planowane urządzeń. W modelu procesu przedstawiono się one za pomocą 'tablicy' $\Gamma = [\bar{\Gamma}^m]_{m \in M}$, gdzie: $\bar{\Gamma}^m \in \text{Nu}\{0\}$ - indeks ostatniego w kolejności postoju planowanego urządzenia $m \in M$ oraz tablic postojów planowanych $H^m = [(h_1^m, \bar{\tau}, h_2^m, \bar{\tau})]_{\bar{\tau} \in \Gamma^m}$, $(m \in M^h)$, $M^h = \{m \in M: \bar{\Gamma}^m > 0\}$; $h_1^m, \bar{\tau}, h_2^m, \bar{\tau} \in T$ - chwile początku i końca $\bar{\tau}$ -tego postoju planowanego urządzenia $m \in M$.
- u) Ograniczenie dostępności surowców i narzędzi nowych uwzględnia się w modelu procesu poprzez transport. Ich brak w magazynie interpretuje się koniecznością przetransportowania do magazynu, przy czym przewidywaną chwilę dostawy utożsamia się z chwilą zakończenia transportu.
- v) Znana jest reguła działania dyspozytora procesu w zakresie ustalania kolejnego zadziałania urządzenia.

3. ZMIENNE PROCESOWE

Do opisu procesu przemian materiału przeznaczonego na zadanie produkcyjne wykorzystuje się zespół zmiennych, obejmujący: zmienne stanu, zmienne sterujące i zmienne wyjściowe.

a) Zmienne stanu

Stan procesu kucia w poszczególnych chwilach jego trwania wyznaczony jest stanem procesu na urządzeniach, stanem procesu w magazynach elementarnych materiału i narzędzi, stanem procesu transportowego materiału i narzędzi. Odmiennosc procesów poszczególnych grup elementów struktury wymaga odpowiedniego zdefiniowania stanu dla każdej grupy elementów.

Stan procesu na urządzeniach

Stan procesu na wszystkich urządzeniach obiektu, w każdej chwili $t \in T$, wyraża tablica $X(t) = [x^m(t)]_{m \in M}$. Każdy element tej tablicy $x^m(t)$ przedstawia stan procesu na pojedynczym urządzeniu $m \in M$. Stan ten ma postać ciągu liczbowego $x^m(t) = (x_1^m(t), x_2^m(t), x_3^m(t), x_4^m(t))$, $(m \in M)$. Poszczególne składowe tego ciągu oznaczają:

$i^0 x_1^m(t) \in C_{+,0}$ - czas, który pozostał od danej chwili $t \in T$ do chwili zakończenia aktualnie trwającego działania urządzenia typu "realizacji przemiany częściowej" lub "postój planowany urządzenia" - jeżeli $x_1^m(t) > 0$ bądź czas postoju nieplanowanego, tzn. czas, który upłynął od chwili za-

kończenia zadziałania typu "realizacja przemiany częściowej" lub "postój planowany" do danej chwili $t \in T$, jeżeli $x_1^m(t) \leq 0$,

2° $(x_2^m(t), x_3^m(t)) \in R^{CMU}\{(0,0)\}$ - typ narzędzia założonego na urządzenie (albo nastaw regulatorów), jeżeli $(x_2^m(t), x_3^m(t)) \in R^{CM}$ lub oznaczenie braku narzędzia na urządzeniu, jeżeli $(x_2^m(t), x_3^m(t)) = (0,0)$,

3° $x_4^m(t) \in Nu\{0\}$ - liczba sztuk jednostek materiału, znajdujących się na urządzeniu (podlegających przemianie) w chwili $t \in T$, (C_{+-0} - zbiór liczb całkowitych).

Stan procesu w magazynach elementarnych materiału

Stan procesu we wszystkich magazynach elementarnych materiału wyraża tablica $\bar{X}(t) = [\bar{X}^c(t)]_{c \in C}$. Każdy element tej tablicy przedstawia stan procesu w pojedynczym magazynie: $\bar{X}^c(t) = [\bar{x}^{a,b,c}(t)]_{(a,b) \in R^C}$, ($c \in C$).

$\bar{x}^{a,b,c}(t) \in Nu\{0\}$ - oznacza liczbę jednostek materiału o stopniu przetworzenia (a,b) , znajdujących się w magazynie elementarnym $c \in C$, w chwili $t \in T$.

Stan procesu w magazynach elementarnych narzędzi

Stan procesu we wszystkich magazynach elementarnych narzędzi wyraża tablica $\bar{X}(t) = [\bar{X}^c(t)]_{c \in C^f}$. Każdy element tej tablicy przedstawia stan procesu w pojedynczym magazynie: $\bar{X}^c(t) = [\bar{x}^{a,b,c}(t)]_{(a,b) \in R^C}$, ($c \in C^f$), gdzie:

$C^f = \{c \in C : s_c = 1\}$ - zbiór indeksów magazynów elementarnych narzędzi; $\bar{x}^{a,b,c}(t)$ - stan procesu magazynowania narzędzi typu (a,b) w magazynie $c \in C^f$, w chwili $t \in T$. Stan $\bar{x}^{a,b,c}(t)$ ma postać ciągu liczbowego:

$\bar{x}^{a,b,c}(t) = (\bar{x}_1^{a,b,c}(t), \bar{x}_2^{a,b,c}(t), \bar{x}_3^{a,b,c}(t))$, którego poszczególne składowe oznaczają odpowiednio:

1° $\bar{x}_1^{a,b,c}(t) \in Nu\{0\}$ - żywotność aktualną narzędzia "pierwszego" (tzn. dopuszczalnego do wykorzystywania), typu (a,b) , z magazynu $c \in C^f$,

2° $\bar{x}_2^{a,b,c}(t) \in Nu\{0\}$ - liczbę narzędzi nowych (tzn. dopuszczalnych do wykorzystania dopiero po zużyciu narzędzia pierwszego), typu (a,b) , znajdujących się w magazynie $c \in C^f$, w chwili $t \in T$,

3° $\bar{x}_3^{a,b,c}(t) \in Mu\{0\}$ - kod urządzenia, na którym założone jest narzędzie pierwsze typu (a,b) w chwili $t \in T$, jeżeli $\bar{x}_3^{a,b,c}(t) \in M$ lub oznaczenie, że narzędzie pierwsze znajduje się w magazynie, jeżeli $\bar{x}_3^{a,b,c}(t) = 0$.

Stan procesu transportu materiału

Stan procesu transportu materiału określony jest następująco: $\bar{X}(t) = [\bar{x}^j(t)]_{j \in J(t)}$, gdzie: $J(t)$ - zbiór indeksów porcji materiałowych, transportowanych w chwili $t \in T$; $\bar{x}^j(t)$ - stan procesu transportowego j-tej porcji materiału. Stan $\bar{x}^j(t)$ ma postać ciągu liczbowego: $\bar{x}^j(t) = (\bar{x}_1^j(t), \bar{x}_2^j(t), \bar{x}_3^j(t), \bar{x}_4^j(t))$, którego poszczególne składowe oznaczają odpowiednio:

1° $\bar{x}_1^j(t) \in N$ - czas, jaki pozostał do zakończenia transportu j-tej porcji materiału, od danej chwili $t \in T$,

2° $(\bar{x}_2^j(t), \bar{x}_3^j(t)) \in R$ - stopień przetworzenia materiału transportowanego w ramach j-tej pozycji, w chwili $t \in T$,

3° $\bar{x}_4^j(t) \in N$ - liczba jednostek materiału tworzących j-tą porcję.

Stan procesu transportu narzędzi

Stan procesu transportu narzędzi określony jest następująco: $\bar{X}(t) = [\bar{x}^i(t)]_{i \in I(t)}$, gdzie: $I(t)$ - zbiór indeksów porcji narzędzi transportowanych w chwili $t \in T$, $\bar{x}^i(t)$ - stan procesu transportowego i-tej porcji narzędzi. Stan $\bar{x}^i(t)$ ma postać ciągu liczbowego: $\bar{x}^i(t) = (\bar{x}_1^i(t), \bar{x}_2^i(t), \bar{x}_3^i(t), \bar{x}_4^i(t), \bar{x}_5^i(t))$, którego poszczególne składowe oznaczają odpowiednio:

1° $\bar{x}_1^i(t) \in N$ - czas jaki pozostał do zakończenia transportu i-tej porcji narzędzi od chwili $t \in T$,

2° $(\bar{x}_2^i(t), \bar{x}_3^i(t), \bar{x}_4^i(t)) \in R \times C^f$ - kod typu narzędzi transportowych w chwili $t \in T$ w ramach i-tej porcji,

3° $\bar{x}_5^i(t) \in N$ - liczba narzędzi nowych tworzących i-tą porcję.

b) Zmienne sterujące i zmienne wyjściowe

Sterowanie procesem przemian materiału przeznaczonego na zadanie produkcyjne wyraża wektor: $U = [U^m]_{m \in M}$, gdzie $U = u(t) |_{t \in T}$ - przebieg zmiennej sterującej procesem w przedziale czasu T ; $U^m = u^m(t) |_{t \in T}$ - m-ta składowa wektora U - reprezentująca sterowanie procesem na pojedynczym urządzeniu $m \in M$ w przedziale czasu T . Sterowanie U^m ma postać ciągu $U^m = (u_1^m)_{1 \in L^m}$, ($m \in M$), którego każdy wyraz $u_1^m = u^m(t_1^m)$ oznacza decyzję dyspozytorską skierowaną do urządzenia $m \in M$ w chwili $t_1^m \in T^m$, gdzie: $T^m = \{t_1^m\}_{1 \in L^m}$ jest zbiorem uporządkowanym chwil, w których rozpoczyna się zadziałanie urządzenia $m \in M$ podczas realizacji na nim przemian materiału przeznaczonego na zadanie produkcyjne. Pojedynczą decyzję dyspozytorską $u^m(t)$, ($t \in T^m$, $m \in M$) przedstawia się w postaci ciągu: $u^m(t) = (u_1^m(t), u_2^m(t), u_3^m(t))$, którego składowe oznaczają:

1° (kod przemiany częściowej; wielkość porcji elementarnej, dla której tę przemianę należy wykonać), jeżeli $(u_1^m(t), u_2^m(t)) \in R^{C^m} \wedge u_3^m(t) \in N$ lub

2° (kod postoju urządzenia, czas postoju planowanego), jeżeli $(u_1^m(t), u_2^m(t)) = (0, 0) \wedge u_3^m(t) \in N$ lub

3° (kod postoju urządzenia, nieokreślony czas postoju nieplanowanego urządzenia) jeżeli $(u_1^m(t), u_2^m(t)) = (0, 0) \wedge u_3^m(t) = -1$.

Uwaga: W przypadku 3° wartość nadawana zmiennej $u_3^m(t)$ ma tylko sens formalny.

Ponieważ chwile $t_1^m \in I^m$ nie są znane przed rozpoczęciem realizacji zadania produkcyjnego, wyznaczenie sterowania procesem sprowadza się do wyznaczenia ciągów decyzji dyspozytorskich U oraz chwil rozpoczęcia działania urządzeń określonych tymi decyzjami. Uwzględniając sens decyzji dyspozytorskich wyznaczenie sterowania procesem można utożsamiać z wyznaczeniem harmonogramów działania poszczególnych urządzeń: $\bar{U} = \left[(t_1^m, (u_1^m(t_1^m), u_2^m(t_1^m), u_3^m(t_1^m))) \right]_{1 \in L^m, m \in M}$.

Z uwagi na cel budowy modelu procesu istotne znaczenie ma znajomość przebiegu w czasie dostaw do magazynu końcowego porcji wytworzonych odkuwek (zakłada się, że chwila złożenia porcji materiału do magazynu końcowego równa jest chwili zakończenia ostatniej przemiany częściowej tej porcji). Wyznaczenie przebiegu tej zmiennej w przedziale czasu równym czasowi realizacji zadania produkcyjnego sprowadza się do wyznaczenia harmonogramu $Y = (t^V, (y_1^V, y_2^V))_{v \in V}$ - dostaw odkuwek do magazynu końcowego. $y_1^V = y_1(t^V) \in A$ oznacza kod asortymentu odkuwek porcji złożonej do magazynu w chwili $t^V \in T^V$; $y_2^V = y_2(t^V) \in N$ - oznacza wielkość porcji złożonej do magazynu końcowego w chwili $t^V \in T^V$; $T^V = \{t^V\}_{v \in V}$ - zbiór uporządkowany chwil, w których dostarcza się do magazynu końcowego porcje odkuwek składających się na zadanie produkcyjne.

4. MODEL PROCESU KUCIA

a) Model działania dyspozytora procesu

Działanie dyspozytora procesu polega na wyznaczeniu kolejnych zadań urządzeń. Jest ono inicjowane zakończeniem wcześniej określonego zadania przynajmniej jednego urządzenia, trwa nieskończenie krótko (nie łączy się z upływem czasu modelowego) i obejmuje:

- 1° ustalenie zbioru decyzji dopuszczalnych do podjęcia w chwili $t \in T$ względem pojedynczego urządzenia,
- 2° ocenę i wybór jednej decyzji ze zbioru.

Ustalenie zbioru decyzji dopuszczalnych

Niech $t \in T^m$ oznacza chwilę, w której ma się rozpocząć kolejne zadanie urządzenia $m \in M$ typu $c_m = c \in C$, a $U^m(t) = \{u^{m\gamma}(t)\}_{\gamma \in \Gamma^m(t)}$ oznacza zbiór decyzji dopuszczalnych do podjęcia w chwili $t \in T^m$ względem urządzenia $m \in M$. Zbiór $U^m(t)$ określa się na podstawie stanu procesu w chwili $t \in T$ stopnia niezrealizowania zadania produkcyjnego i harmonogramów postojów planowanych urządzeń według następującej reguły:

$$1^{\circ} \text{ jeżeli } \exists_{(a,b) \in R^C} \left\{ \min(\bar{x}^{a,b,c}(t), z^{a,b,c}(t), \alpha^{a,b,c}(t), \beta^{a,b,c}(t)) > 0 \right\}$$

$$\text{to } U^m(t) = \left\{ ((a,b), \min(\bar{x}^{a,b,c}(t), z^{a,b,c}(t), \alpha^{a,b,c}(t), \beta^{a,b,c}(t))) \in R^C \cup \{(0,0)\} \times C_{+ \rightarrow 0} : (a,b) \in R^C \wedge \min(\bar{x}^{a,b,c}(t), z^{a,b,c}(t), \alpha^{a,b,c}(t), \beta^{a,b,c}(t)) > 0 \right\}$$

gdzie: $\alpha^{a,b,c}(t)$ - żywotność aktualna narzędzia, które ma być użyte do realizacji przemiany częściowej (a,b) , na urządzeniu typu $c \in C$, w chwili $t \in T$ (lub pojemność urządzenia):

$$\alpha^{a,b,c}(t) = \begin{cases} \bar{x}_1^{a,b,c}(t) & - \text{ jeżeli } (s_c = 1) \wedge (\bar{x}_1^{a,b,c}(t) > 0) \wedge (\bar{x}_3^{a,b,c}(t) = (0 \vee m)) \\ \bar{g}^{a,b,c} & - \text{ jeżeli } (s_c = 1) \wedge (\bar{x}_1^{a,b,c}(t) = 0) \wedge (\bar{x}_2^{a,b,c}(t) > 0) \wedge \\ & \wedge (\bar{x}_3^{a,b,c}(t) = (0 \vee m)) \vee (s_c = 0) \\ 0 & - \text{ w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

$\beta^{a,b,c}(t)$ - liczba jednostek materiału, dla których można zrealizować przemianę częściową (a,b) na urządzeniu $m \in M$, typu $c \in C$, począwszy od chwili $t \in T$ do najbliższego postoju planowanego urządzenia:

$$\beta^{a,b,c}(t) = \begin{cases} (\min_{\tau \in \Gamma^m} \{h_1^m, \tau \geq t\} - t - \tau_k^{a,b,c}(t)) / \tau^{a,b,c} & - \text{ jeżeli } (\bar{\Gamma}^m > 0) \wedge \\ & \wedge (\exists_{\tau \in \Gamma^m} \{h_1^m, \tau \geq t\}) \\ \bar{g}^{a,b,c} & - \text{ w pozostałych przypadkach.} \end{cases}$$

$\tau_k^{a,b,c}(t)$ - współczynnik korygujący czas dostępności urządzenia $m \in M$, typu $c \in C$ do realizacji przemiany częściowej (a,b) z uwagi na przebrojenie urządzenia:

$$\tau_k^{a,b,c}(t) = \begin{cases} 0 & - \text{ jeżeli } (((x_2^m(t), x_3^m(t)) = (a,b)) \wedge ((s_c = 0) \vee ((s_c = 1) \wedge \\ & \wedge (\bar{x}_1^{a,b,c}(t) > 0))) \\ \bar{t}^c & - \text{ w pozostałych przypadkach} \end{cases}$$

$$2^{\circ} \text{ jeżeli: } \left(\bigvee_{(a,b) \in R^C} \left\{ \min(\bar{x}^{a,b,c}(t), z^{a,b,c}(t), \alpha^{a,b,c}(t), \beta^{a,b,c}(t)) \leq 0 \right\} \wedge \right. \\ \left. \wedge \left(\bigexists_{(a,b) \in R^C} \left\{ \min(\bar{x}^{a,b,c}(t), z^{a,b,c}(t), \alpha^{a,b,c}(t)) > 0 \right\} \right) \right)$$

to:

$$U^m(t) = \left\{ ((0,0), h_2^m, \bar{t}^* - t) \right\}$$

gdzie: $\bar{t}^* \in \Gamma^m$ jest indeksem końca chwili tego postoju planowanego urządzenia, dla którego: $h_1^m, \bar{t}^* = \min_{\bar{t} \in \Gamma^m} \{ h_1^m, \bar{t} \geq t \}$.

$$3^{\circ} \text{ jeżeli: } \bigvee_{(a,b) \in R^C} \left\{ (\min(\bar{x}^{a,b,c}(t), z^{a,b,c}(t), \alpha^{a,b,c}(t), \beta^{a,b,c}(t)) \leq 0) \wedge \right. \\ \left. \wedge (\min(\bar{x}^{a,b,c}(t), z^{a,b,c}(t), \alpha^{a,b,c}(t)) = 0) \right\}$$

to:

$$U^m(t) = \left\{ ((0,0), -1) \right\}.$$

Ocena i wybór decyzji z zbioru decyzji dopuszczalnych

Nietrywialne działanie dyspozytora procesu w zakresie oceny decyzji ze zbioru $U^m(t)$ i wyboru jednej z nich następuje tylko w przypadku 1° i to pod warunkiem, że moc tego zbioru jest większa od jedności.

W budowanym modelu symulacyjnym ocenę i wybór decyzji wprowadzono do optymalizacji lokalnej opartej na funkcjach priorytetu. Przyjęto, że każda z pięciu wyróżnionych funkcji przyporządkowuje poszczególnym decyzjom ze zbioru $U^m(t)$ wartość zero lub jeden według następującej reguły: "jeżeli decyzja $u^{m,\lambda}(t)$ poleca realizację takiej przemiany, że:

1° przemiana ta występuje przy wytwarzaniu odkuwek przeznaczonych dla odbiorcy o istotnym znaczeniu dla gospodarki;

2° realizacja przemiany odbywa się w sposób zgodny z technologią podstawową (nie zastępczą);

3° przemiana ta występuje przy wytwarzaniu odkuwek takiego asortymentu, który wymaga uzyskania wielu przemian częściowych materiału;

4° wykonanie tej przemiany nie będzie przyczyniać do postojów nieplanowanych urządzeń;

5° przemianę tę realizuje się dla porcji ekonomicznie uzasadnionej - to każda z wyróżnionych funkcji priorytetu przyjmuje dla tej decyzji wartość jeden. W przypadku gdy dla decyzji pewne z warunków nie są spełnione - odpowiednie funkcje przyjmują dla tej decyzji wartość zero. Podstawą oceny każdej decyzji jest suma ważona wartości funkcji priorytetów. Decy-

zję, którą podejmuje dyspozytor jest ta, dla której suma ważona jest największa.

b) Model procesu przemian materiału pod wpływem decyzji dyspozytora

Pojawienie się decyzji na wejściu urządzenia inicjuje jego kolejne, zgodne z decyzją, zadziałanie. W ujęciu formalnym rozpoczęcie zadziałania urządzenia oznacza zmianę stanu procesu. Zakłada się, że zmiana ta trwa nieskończenie krótko.

Różne jakościowo sytuacje występujące w procesie kucia - wynikające z różnych fizykalnie decyzji i różnych fizykalnie stanów procesu w chwilach pojawienia się tych decyzji - powodują, że zmiany stanu procesu pod wpływem pojedynczej decyzji opisuje się różnymi regułami. Ze względu na to, że nie jest możliwe zaprezentowanie wszystkich reguł zmian stanu przedstawia się poniżej regułę opisującą jeden z bardziej interesujących przypadków:

1° decyzja dyspozytorska skierowana w chwili $t \in T$ do urządzenia $m \in M$, typu $c_m = c \in C$, którego stan technologiczny wyznacza narzędzie ($s_c = 1$), poleca realizację przemiany częściowej ($u^m(t) \in R^C \times N$), której wykonanie jest możliwe tylko na urządzeniach typu $c \in C$ ($f_{u_1^m(t), u_2^m(t)} = 0$);

2° stan $x^m(t)$ procesu na urządzeniu $m \in M$ w chwili $t \in T$ charakteryzuje się tym, że narzędzie założone na tym urządzeniu nie jest odpowiednie do realizacji przemiany polecanej przez decyzję ($x_2^m(t), x_3^m(t) \neq (u_1^m(t), u_2^m(t))$);

3° stan (w chwili $t \in T$) narzędzi tego typu, z których jedno znajduje się na urządzeniu $m \in M$, charakteryzuje się tym, że narzędzie pierwsze jest zużyte, ale istnieją narzędzia nowe ($x_1^m(t), x_3^m(t), c(t) = 0 \wedge x_2^m(t), x_3^m(t), c(t) \in N$).

Oznaczając przez $t_+ \in T$ chwilę tuż po pojawieniu się decyzji, stan procesu w tej chwili wyznacza się tak:

$$1^\circ \bar{x}_1^m(t), u_2^m(t), c(t_+) := \bar{x}_1^m(t), u_2^m(t), c(t) - u_3^m(t)$$

$$2^\circ x_1^m(t_+) := \bar{x}_1^m(t), u_2^m(t), c \cdot u_3^m(t) + \frac{c}{g} c; (x_2^m(t_+), x_3^m(t_+)) :=$$

$$(u_1^m(t), u_2^m(t)); x_4^m(t_+) := u_3^m(t)$$

$$3^\circ \bar{x}_1^m(t), x_3^m(t), c(t_+) := \bar{x}_1^m(t), x_3^m(t), c; \bar{x}_2^m(t), x_3^m(t), c(t_+) :=$$

$$\bar{x}_2^m(t), x_3^m(t), c(t) - 1; \bar{x}_3^m(t), x_3^m(t), c(t_+) := 0$$

$$4^{\circ} \bar{x}_1^m(t), u_2^m(t), c(t_+) := \bar{x}_1^m(t), u_2^m(t), c(t) - u_3^m(t); \bar{x}_2^m(t), u_2^m(t), c(t_+) :=$$

$$\bar{x}_2^m(t), u_2^m(t), c(t); \bar{x}_3^m(t), u_2^m(t), c(t_+) := m.$$

Zainicjowane w chwili $t \in T$ decyzją $u^m(t)$ zadziałanie urządzenia trwa do chwili $t' = t + x_1^m(t_+)$. W modelu przyjmuje się, że chwila ta jest kolejną chwilą, w której ulega zmianie stan procesu pod wpływem decyzji $u^m(t)$ - nie zmieniający się (z uwagi na tę decyzję) w przedziale czasu $[t_+, t']$. Poniżej przedstawia się jedną z reguł zmian stanu procesu w chwili $t' \in T$, dotyczącą następującego przypadku:

1^o stan procesu na urządzeniu $m \in M$ w chwili $t' \in T$ opisuje realizację przemiany częściowej materiału $(x_4^m(t') \in N)$;

2^o przemiana częściowa $(x_2^m(t'), x_3^m(t'))$, wykonywana w chwili $t' \in T$ nie jest ostaną $(p_1, p_2) x_2^m(t'), x_3^m(t') \neq (0, 0)$.

Oznaczając przez $t'_+ \in T$ chwilę tuż po zakończeniu zadziałania urządzenia, stan procesu w chwili $t'_+ \in T$ wyznacza się tak:

$$1^{\circ} x_1^m(t'_+) := 0; (x_2^m(t'_+), x_3^m(t'_+)) := (x_2^m(t'), x_3^m(t')); x_4^m(t'_+) := 0$$

$$2^{\circ} J(t'_+) := J(t') + 1; \bar{x}_1^J(t'_+)(t'_+) := \bar{v}(p_1, p_2) x_2^m(t'), x_3^m(t'), c;$$

$$(\bar{x}_2^J(t'_+)(t'_+), \bar{x}_3^J(t'_+)(t'_+)) := (p_1, p_2) x_2^m(t'), x_3^m(t'); \bar{x}_4^J(t'_+)(t'_+) := x_4^m(t')$$

Kolejna zmiana stanu procesu, będąca konsekwencją decyzji $u^m(t)$, następuje w chwili $t'' : t' + \bar{x}_1^J(t'_+)$, w której porcja materiału zostaje złożona z urządzenia transportowego do odpowiedniego magazynu $j \in J(t'')$ - jest indeksem (w chwili $t'' \in T$) tej porcji materiału, której transport z urządzenia $m \in M$ rozpoczął się w chwili $t' \in T$. Poniżej przedstawia się jedną z reguł zmian stanu procesu w chwili $t'' \in T$, dotyczącą następującego przypadku:

1^o miejscem złożenia transportowanej porcji materiału jest magazyn elementarny $c'' = e_{\bar{x}_2^J(t'')(t''), \bar{x}_3^J(t'')(t'')}$,

2^o wśród urządzeń typu $c'' \in C$ istnieje takie urządzenie $m'' \in M$, którego stan technologiczny w chwili $t'' \in T$, bezpośrednio poprzedzającej zakończenie transportu j -tej porcji materiału, opisuje postój nieplanowany tego urządzenia $(x_1^{m''}(t'') < 0)$;

3^o postój nieplanowany urządzenia $m'' \in M$ jest spowodowany brakiem w magazynie elementarnym materiału, dla którego można by realizować przemianę częściową na tym urządzeniu. Oznaczając przez $t''_+ \in T$ - chwilę tuż po złożeniu materiału do magazynu elementarnego c'' - stan procesu w chwili $t''_+ \in T$ wyznacza się tak:

$$1^{\circ} J(t''_+) := J(t'') - 1; \bar{x}^j(t''_+) := \bar{x}^j(t''); (j' := j, J(t'') - 1; \\ ; j'' := j + 1, J(t''))$$

$$2^{\circ} \bar{x}_2^1(t''), \bar{x}_3^1(t''), c''(t''_+) := \bar{x}_2^1(t''), \bar{x}_3^1(t''), c''(t'') + \bar{x}_4^j(t'')$$

$$3^{\circ} x_1^m(t''_+) := 0; (x_2^m(t''_+), x_3^m(t''_+)) := (x_2^m(t''), x_3^m(t'')); x_4^m(t''_+) := x_4^m(t'')$$

c) Algorytm symulacyjny

W oparciu o model działania dyspozytora procesu i model procesu przemian materiału pod wpływem decyzji dyspozytora utworzono algorytm symulacyjny, umożliwiający wyznaczenie przebiegu procesu przemian materiału składającego się na zadanie produkcyjne. Idea budowy tego algorytmu jest następująca:

1^o ustala się stan początkowy procesu i rozpoczyna obliczanie upływu czasu modelowego $t := t_0$;

2^o wyznacza się chwile, najbliższych po chwili $t \in T$, zmian stanu procesu spowodowanych: złożeniem materiału do magazynu (\bar{t}), złożeniem narzędzi do magazynu (\bar{t}), zakończeniem działania przynajmniej jednego z urządzeń (t^*);

3^o wyznacza się $t = \min(\bar{t}, \bar{t}, t^*)$;

4^o sprawdza się, czy $t = \bar{t}$. Jeżeli tak - to 5, jeżeli nie - to 8;

5^o dla każdej porcji materiału, która ma być złożona w chwili $t \in T$, przeprowadza się:

a) identyfikację miejsca złożenia,

b) wyznacza się nowy stan procesu, spowodowany złożeniem tej porcji (w oparciu o regułę dobraną w zależności od a));

6^o wyznacza się chwilę \bar{t} , najbliższej po chwili $t \in T$ zmiany stanu procesu spowodowanej złożeniem materiału;

7^o sprawdza się, czy zmiana stanu (określona w 5b) objęła zmianę stanu urządzenia. Jeżeli tak - to przyjmuje się $t^* := t$ i przechodzi do 3, jeżeli nie - to 3;

8^o sprawdza się, czy $t = \bar{t}$. Jeżeli tak - to 9^o, jeżeli nie - to 12,

9^o dla każdej porcji narzędzi, która ma być złożona w chwili $t \in T$, przeprowadza się:

- a) identyfikację stanu procesu w magazynie narzędzi,
 b) wyznacza się nowy stan procesu, spowodowany złożeniem tej porcji (w oparciu o regułę, dobraną w zależności od a));

10° wyznacza się chwilę \tilde{t} (najbliższej po chwili $t \in T$) zmiany stanu procesu, spowodowanej złożeniem narzędzi;

11° sprawdza się, czy zmiana stanu określona w 9b objęła zmianę stanu urządzenia. Jeżeli tak - to przyjmuje się $t^* := t$ i przechodzi do 3, jeżeli nie - to 3;

12° dla każdego urządzenia, które w chwili $t \in T$ kończy działanie, przeprowadza się:

- a) identyfikację procesu w chwili poprzedzającej zakończenie zadziałania urządzenia,
 b) określa się nowy stan procesu spowodowany zakończeniem zadziałania urządzenia (w oparciu o regułę dobraną w zależności od a)),
 c) wyznacza się decyzję określającą kolejne zadziałanie urządzenia,
 d) identyfikuje się decyzję i stan procesu w chwili pojawienia się decyzji,
 e) określa się nowy stan procesu w chwili tuż po pojawieniu się decyzji (w oparciu o regułę, dobraną w zależności od d));

13° wyznacza się chwilę t^* (najbliższej po chwili $t \in T$) zmiany stanu procesu, spowodowanej zakończeniem zadziałania przynajmniej jednego z urządzeń i przechodzi do kroku 3.

Obliczenia algorytmu trwają tak długo, dopóki nie zostaną zrealizowane wszystkie przemiany częściowe materiału przeznaczanego na zadanie produkcyjne.

5. UWAGI KOŃCOWE

Właściwości przedstawionego modelu procesu kucia należy rozpatrywać pod kątem jego użyteczności przy rozwiązywaniu zadania optymalizacji harmonogramowania produkcji procesu kucia przyjętą metodą.

W tym aspekcie szczególne znaczenie ma struktura procesu w modelu. Jej elementami są zespoły utworzone przez: zbiór urządzeń jednego typu, magazyn elementarny materiału i magazyn elementarny narzędzi.

Magazyny elementarne materiału i narzędzi występujące w tych zespołach nie są bezpośrednimi odpowiednikami magazynów materiału i narzędzi obiektu. Są one tworcami formalnymi utworzonymi pod kątem modelu procesu, które można interpretować jako efekt dekompozycji magazynów obiektu - polegającej na pogrupowaniu, w sposób podany w referacie, materiału i narzędzi oraz na odpowiednim oznaczeniu każdej grupy.

Wprowadzenie magazynów elementarnych umożliwiło takie zdefiniowanie zmiennych charakteryzujących proces, że poszczególne z nich opisują różne wielkości fizyczne. Dzięki ograniczeniu liczby zmiennych formalizują-

cych proces realizacja programowa algorytmu symulacyjnego wymaga stosunkowo małej pamięci e.m.c.

Przyjęta w modelu struktura procesu i przeprowadzona na jej podstawie formalizacja procesu jest również korzystna z uwagi na to, że w realizacji programowej algorytmu pozwala w praktyce sprowadzić problem określenia wszystkich danych technologicznych i bieżących (charakteryzujących wykonanie pojedynczej przemiany częściowej) do określenia wiersza odpowiedniej tablicy R^C lub tablicy R , w których zapisany jest kod przemiany. Znajomość tego wiersza umożliwia bowiem uzyskanie potrzebnych danych poprzez "odczytanie" ich z odpowiednich tablic. Uwzględniając, że przy obliczeniach algorytmu symulacyjnego w każdym kroku obliczeń zachodzi potrzeba (często wielokrotnego) odwołania się do danych charakteryzujących wykonywanie przemian częściowych, uniknięcie długotrwałego przeszukiwania zbiorów skraca czas obliczeń.

Należy podkreślić, że minimalizacja czasu obliczeń algorytmu symulacyjnego jest bardzo ważna przy rozwiązywaniu zadania optymalizacji harmonogramowania przyjętą metodą. Tylko w jednym bowiem przypadku można w jednej symulacji procesu uzyskać rozwiązanie (i to optymalne) zadania. Ma to miejsce wówczas, gdy każde zadziałanie urządzenia określone harmonogramem było jedynym zadziałaniem technologicznie dopuszczalnym. W praktyce przypadek taki występuje niezwykle rzadko, a dla wyznaczenia harmonogramu suboptymalnego zachodzi na ogół potrzeba wielokrotnego powtórzenia obliczeń symulacyjnych.

Opracowany model symulacyjny procesu służy nie tylko do generowania pojedynczego rozwiązania zadania optymalizacji harmonogramowania produkcji, ale jest wykorzystywany również do wyznaczania takich wielkości charakteryzujących proces, które umożliwiają ocenę rozwiązania lub są podstawą modyfikacji reguł sterowania przeprowadzanej w celu uzyskania poprawy rozwiązania w kolejnej symulacji.

Podstawowe znaczenie ma w tym zakresie harmonogram dostaw do magazynu końcowego, na podstawie którego można obliczyć:

- wartość Q wskaźnika jakości (czyli czasu realizacji zadania produkcyjnego: $Q = \max_{v \in V} \{t^v\}$,

- łączny koszt kar umownych k , płaconych za nieterminowe wykonanie odkuwek poszczególnych asortymentów: $k = \sum_{a \in A} k^a d^a$, gdzie d^a - czas opóź-

nienia wykonania odkuwek asortymentu $a \in A$ - określony tak: $d^a = 0$, jeżeli $\bar{t}^a \leq \bar{t}^a$ lub $d^a = \bar{t}^a - \bar{t}^a$, jeżeli $\bar{t}^a > \bar{t}^a$, przy czym $t^a = \max_{v \in V} \{t^v : y_1^v = a\}$, ($a \in A$).

Harmonogram ten umożliwia również wyznaczenie pozostałych wielkości wymaganych przez algorytm przeszukiwania zbioru rozwiązań dopuszczalnych zadania optymalizacji, wykorzystywanych do modyfikacji reguł sterowania.

LITERATURA

- [1] NIEDERLIŃSKI A.: Harmonogramowanie produkcji a wielopoziomowe, wielowymiarowe dyskretne układy regulacji nadążnej. ZN Pol. Śl. s. Automatyka, z. 55, Gliwice 1980.
- [2] TOROŃSKA-ŁUCZYŃSKA M.: Wykorzystanie modelowania cyfrowego do sterowania procesem kucia. ZN Pol. Śl. s. Automatyka, z. 43, Gliwice 1978.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Andrzej GOŚCIŃSKI

Wpłynęło do Redakcji 15.05.1982 r.

СОСТАВЛЕНИЕ ГРАФИКОВ РАБОТ ПРОЦЕССА МАТРИЧНОЙ КОВКИ МЕТОДОМ
ЦИФРОВОЙ ИМИТАЦИИ

Р е з ю м е

В работе описана модель процесса матричнойковки. Модель эта в дальнейшей используется для составления графиков работковки применяя метод цифровой имитации.

SCHEDULING OF THE MATRIX FORGING PROCESS

S u m m a r y

We present a model of the matrix forging process. The method of digital simulation is used for solving the scheduling problem of this process.