

Mirosław Zaborowski

Politechnika Śląska

## STEROWANIE NADAJĄCE OBCIĄŻENIEM CHWILOWYM AGREGATÓW O PROCESACH TECHNOLOGICZNYCH DYSKRETYCH\*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono algorytm rozstrzygający w każdym okresie próbkowania sterownika, czy zainicjować obróbkę kolejnego detalu lub zespołu w danym agregacie, czy nie. Celem sterowania jest nadawanie dyskretnych przebiegów rzeczywistych natężeń przepływu materiałów za ciągłymi przebiegami ich wartości zadanych.

1. Zmienne decyzyjne

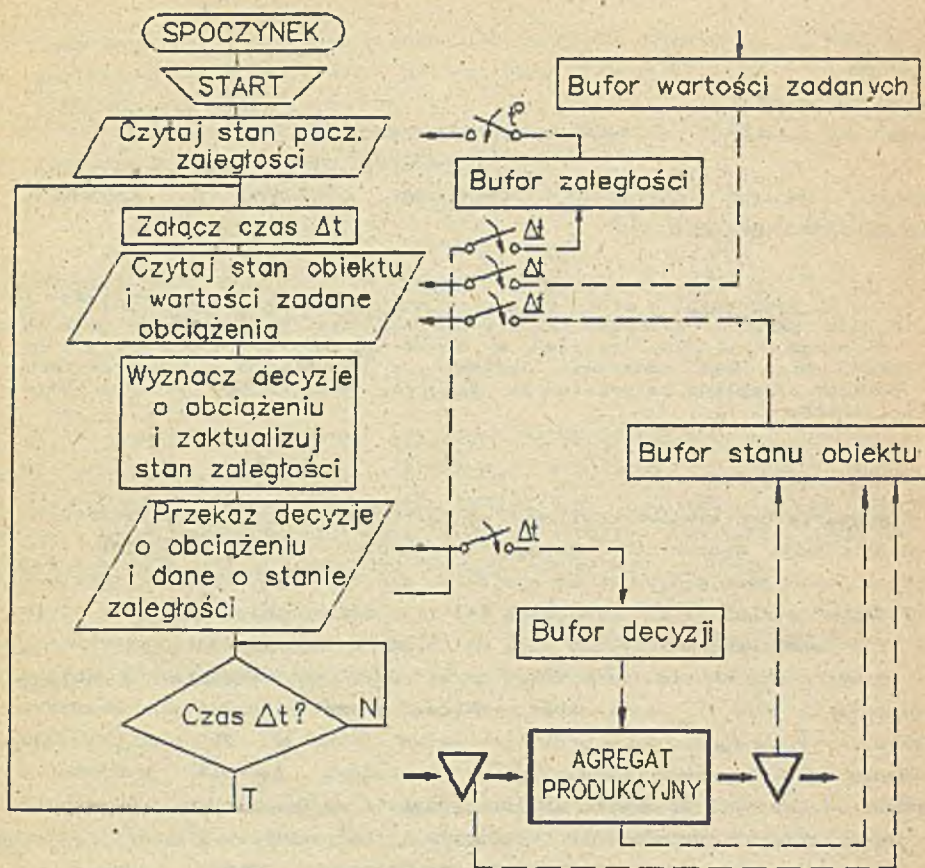
Sterowanie obciążeniem chwilowym agregatów produkcyjnych o procesach technologicznych dyskretnych polega na bieżącym wyznaczaniu chwil, w których możliwy jest dopływ do agregatów kolejnych detali lub podzespółów z ich wiodących strumieni materiałowych [4] i na decydowaniu w każdej z tych chwil, czy detale wprowadzić, czy nie. W przypadku zastosowania sterownika mikrokomputerowego chwile te można określić z dokładnością do okresu próbkowania  $\Delta t$  (rys.1). Jeśli okres próbkowania jest wielokrotnie mniejszy od taktu pracy agregatu, co w praktyce łatwo osiągnąć, to tego rodzaju sterowanie można nazwać quasi-ciągłym. W każdym okresie próbkowania zmiennymi decyzyjnymi algorytmu są liczby detali wprowadzanych jednorazowo do agregatu w jego strumieniach wiodących -  $w_j^l$ ,  $j=1, \dots, I^v$ , przy czym  $I^v$  - liczba strumieni wiodących. Wielkości te są prawie zawsze równe 0, a tylko w chwilach wyróżnionych przyjmują niezerowe wartości  $w_j^{ln}$ , dla większości agregatów równe 1.

Dla agregatów zorganizowanych w potok synchroniczny z wymuszonym aktem, w tym potoku zautomatyzowanym, występuje dodatkowa, ciągła zmienna decyzyjna  $w^l$ , która narzuca takt produkcji zgodnie z równaniem

$$\frac{dx^l}{dt} = \frac{w^l}{w_j^{ln}} \quad (1)$$

gdzie  $x^l$  - stan zaawansowania bieżącego taktu pracy agregatu. Takt pracy kończy się, gdy  $x^l=1$ . W tym momencie rozpoczyna się takt następny i  $x^l$  zaczyna narastać od 0 (rys.2). Przykładem wielkości  $w^l$  jest prędkość przesuwu linii montażowej, mierzona w sztukach montowanych zespołów na jednostkę czasu.

\*Praca była częściowo finansowana przez RP.I.02 "Teoria sterowania i optymalizacji ciągłych układów dynamicznych i procesów dyskretnych".



Rys.1. Struktura funkcjonalna układu sterowania obciążeniem chwilowym agregatu produkcyjnego

Fig.1. The functional structure of the actual load control system for a manufacturing aggregate

W równaniu (1) pominięto indeks strumieni wiodących, ponieważ agregat zorganizowany w potok synchroniczny z wymuszonym taktem ma tylko jeden strumień wiodący. Również dla większości agregatów o prostszych formach organizacji produkcji jest  $I^v=1$ , a indeksację strumieni wiodących wprowadzono tutaj dla zwiększenia ogólności rozważań [5].

## 2. Zaległości w przepływie materiałów

Celem sterowania obciążeniem agregatu jest zapewnienie nadszycia rzeczywistych natężeń przepływu w jego strumieniach wiodących za

wartościami zadanymi, obliczonymi np. na podstawie harmonogramów produkcji. Miarą jakości nadawania są zaległości w przepływie materiałów, czyli całki z różnic między zadanymi i rzeczywistymi natężeniami przepływu [5].

Zasadą przedstawionego dalej algorytmu sterowania jest inicjowanie obróbki kolejnych detali, jeśli zaległości te są dodatnie lub równe zero. Dla potrzeb sterowania oddzielnie obliczane są zaległości  $w_j^0, w_j^1$  wynikające odpowiednio z zakłóceń ciągłości produkcji i z nieciągłości rzeczywistych natężeń przepływu [5]. W obliczeniach tych korzysta się z informacji o aktualnych wartościach zadanych  $w_j^p$  i o ostatnio podjętych decyzjach  $w_j^1$  (rys. 1).

### 3. Stan obiektu

Z punktu widzenia sterowania obciążeniem współrzędnymi stanu agregatu i współpracujących z nim magazynów są te wszystkie wielkości, które trzeba sprawdzić, aby określić bieżące wartości zmiennych decyzyjnych. W przypadku potoku synchronicznego z wymuszonym taktiem są to:

- $x^1$  - stan zaawansowania aktualnego taktu pracy, ponieważ zainicjowanie obróbki kolejnego detalu lub podzespołu jest możliwe tylko w chwili kończącej poprzedni takt pracy, a  $w_i^1 \geq 1$ , gdy  $x^1 = 1$ ,
- $v^v = v_1^u$  - stan zapasów materiałów dopływających do agregatu w strumieniu wiodącym, ponieważ zainicjowanie kolejnego ciągu operacji technologicznych nie jest możliwe, gdy  $v^v < w^j$ ,
- $v_1^u$  - stan zapasów materiałów dopływających do agregatu w strumieniach zależnych,  $i=2, \dots, I^u$ , oraz
- $v_1^y$  - stan zapasów materiałów odpływających z agregatu,  $i=1, \dots, I^y$ , ponieważ wyczerpanie magazynów na wejściu lub przepełnienie magazynów na wyjściu agregatu powinno spowodować jego zatrzymanie ( $w^1=0$ ),
- $w^m$  - ograniczenie na obciążenie agregatu określające jego aktualną zdolność produkcyjną.

Kontrolując stan zapasów na wyjściu agregatu należy je porównywać z pojemnościami magazynów pomniejszonymi o liczbę sztuk dopływających do nich jednorazowo  $v_1^m - y_1^{jn}$ ,  $i=1, \dots, I^y$ . Analogicznie przy kontroli zapasów wejściowych należy uwzględnić liczbę sztuk pobieranych z nich jednorazowo  $u_1^{jn}$ ,  $i=1, \dots, I^u$ , przy czym  $u_1^{jn} = w^m$ .

Dla prostszych form organizacji produkcji współrzędnymi stanu obiektu są:

- $s_j$  - stan zajętości agregatu,  $j=1, \dots, I^v$ , przy czym  $s_j=0$ , jeśli stanowisko robocze, do którego dopływa  $j$ -ty strumień wiodący, jest zwolnione, a  $s_j=1$ , jeśli jest zajęte,
- $v_j^v$  - stan zapasów materiałów dopływających w strumieniach wiodących,  $j=1, \dots, I^v$ ,
- $w_j^m$  - aktualne ograniczenia na obciążenie agregatu,  $j=1, \dots, I^v$ .

#### 4. Algorytm sterowania w wersji 1

Algorytm sterowania obciążeniem chwilowym agregatu można przedstawić w postaci procedury obliczeniowej, wykonywanej w każdym okresie próbkowania sterownika (rys.1). Dla agregatów zorganizowanych w potok synchroniczny z wymuszonymi taktem proponuje się następującą wersję 1 algorytmu:

$$w^i = w^m$$

$$w^i = 0$$

Jeśli  $\bigwedge_{i=2, \dots, I^u} v_i^u \geq u_i^m$  oraz  $\bigwedge_{i=1, \dots, I^v} v_i^v \leq v_i^m - \gamma_i^m$ , idź do 1°.

$$w^i = 0$$

$$1^\circ \quad w^a = \begin{cases} \text{Min}(w^p, w^i), & \text{gdy } w^p \leq 0 \\ w^i, & \text{gdy } w^p > 0 \end{cases}$$

Jeśli  $v^v \geq w^m$  lub  $w^i < 0$ , idź do 2°.

$$w^a = 0$$

2° Jeśli  $x^i < 1$ , idź do 3°.

Jeśli  $v^v < w^m$  lub  $w^i < 0$ , idź do 3°.

$$w^i = w^m$$

$$w^i = w^i - w^m$$

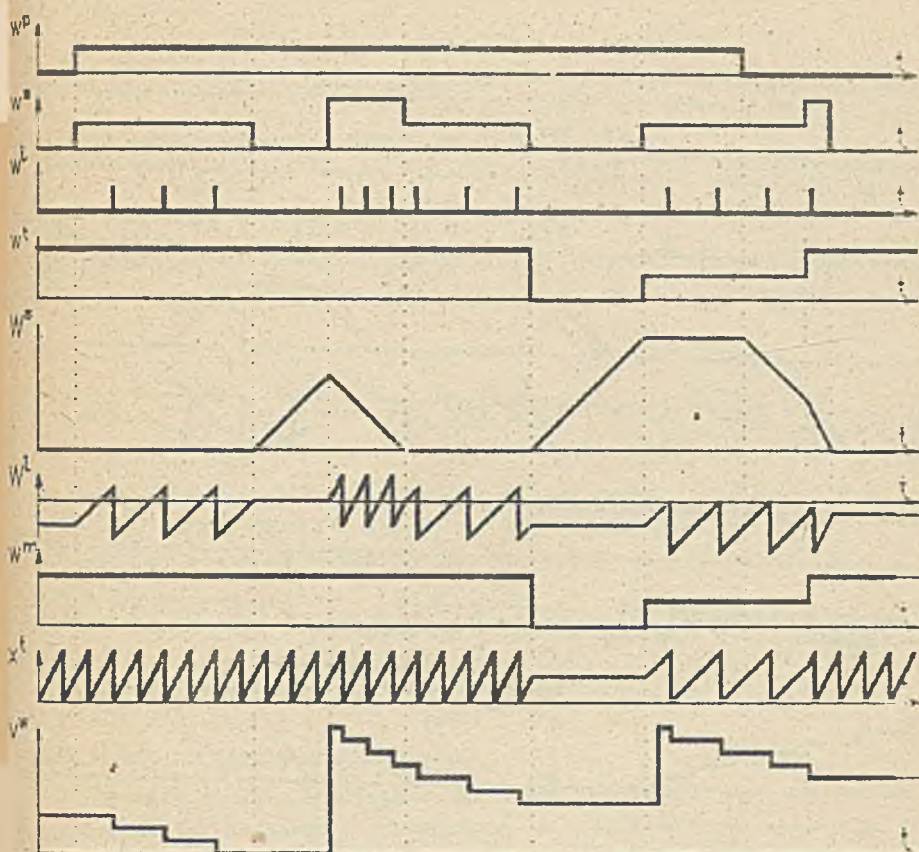
3°  $w^a = w^a + (w^p - w^a) \Delta t$

$$w^i = w^i + w^a \Delta t$$

Występująca w algorytmie wielkość  $w^a$  jest obciążeniem agregatu wyznaczonym z uwzględnieniem jego aktualnej zdolności produkcyjnej oraz stanu zapasów we współpracujących z nim magazynach. Jest to jednak zmienna ciągła, podobnie jak jej wartość zadana  $w^p$ , i można ją uważać tylko za wartość zadaną dla rzeczywistego obciążenia  $w^i$ , które jest zmienną dyskretną.

Na rys.2 pokazano reakcję algorytmu na typowe zakłócenia ciągłości produkcji - najpierw brak zapasu w strumieniu wiodącym, a następnie przejściowy spadek zdolności produkcyjnej. W przedziale czasowym przedstawionym na rys.2 nie występują zakłócenia od stanu zapasów związanych ze strumieniami zależnymi agregatu.

Dla linii potokowych nie będących liniami montażowymi nie występują zależne wejściowe strumienie materiałowe,  $I^u = I^v = 1$ . Dla większości linii potokowych, w tym linii montażowych, jest tylko jeden wyjściowy strumień



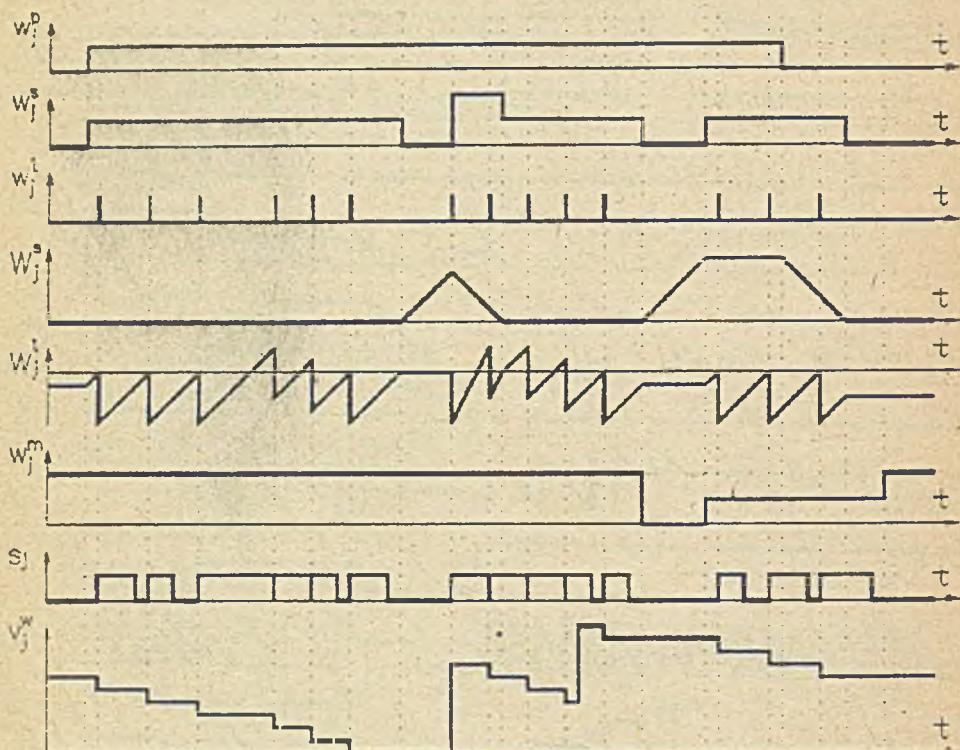
Rys.2. Wykresy czasowe ilustrujące 1 wersję algorytmu sterowania obciążeniem agregatu

Fig.2. Time-diagrams illustrating the 1 version of the load control algorithm for a manufacturing aggregate

materiałowy,  $I^Y=1$ . W takich przypadkach kontrolę stanu zapasów w magazynach współpracujących z agregatem można sformalizować odpowiednio prościej.

### 5. Algorytm sterowania w wersji 2

W przypadku potoku synchronicznego z niewymuszonymi taktem sterowanie przepływem materiałów przez poszczególne stanowiska robocze agregatu jest bardziej niezależne. Stan zapasów w poszczególnych magazynach ma



Rys.3. Wykresy czasowe ilustrujące 2 wersję algorytmu sterowania obciążeniem agregatu

Fig.3. Time-diagrams illustrating the 2 version of the load control algorithm for a manufacturing aggregate

bezpośredni wpływ tylko na przepływ materiałów przez stanowiska robocze, z którymi te magazyny współpracują [6]. Zatem kontrola zapasów należy do sterowania bezpośredniego, a nie do sterowania obciążeniem agregatu jako całości. Powoduje to odpowiednie uproszczenie algorytmu sterowania obciążeniem. Inną zmianą w stosunku do wersji 1 jest zastąpienie stanu zaawansowania taktu pracy  $x^i$  przez stan zajętości agregatu  $s_j$ ,  $j=1, \dots, 1^V$ . Po uwzględnieniu tych zmian otrzymujemy następującą wersję 2 algorytmu:

Dla  $j=1, \dots, I^V$  wykonaj następujące obliczenia:

$$w_j^l := 0$$

$$w_j^s := \begin{cases} \text{Min}(w_j^p, w_j^m), & \text{gdy } w_j^s \leq 0 \\ w_j^m, & \text{gdy } w_j^s > 0 \end{cases}$$

Jeśli  $v_j^v \geq w_j^{jn}$  lub  $w_j^l < 0$ , idź do 1°.

$$w_j^s := 0$$

1° Jeśli  $s_j = 1$ , idź do 2°.

Jeśli  $v_j^v < w_j^{jn}$  lub  $w_j^l < 0$ , idź do 2°.

$$w_j^l := w_j^{jn}$$

$$w_j^s := w_j^l - w_j^{jn}$$

2°  $w_j^s := w_j^s + (w_j^p - w_j^s) \Delta t$

$$w_j^l := w_j^l + w_j^s \Delta t$$

Działanie wersji 2 algorytmu ilustruje rys.3. Pokazano tam reakcję algorytmu na zakłócenia ciągłości produkcji analogiczne do przedstawionych na rys.2, a ponadto reakcję na przypadkowe zmiany czasów wykonania operacji.

Wersja 2 algorytmu jest odpowiednia także wtedy, gdy agregat składa się z pojedynczego stanowiska roboczego, a więc w przypadku potoku asynchronicznego lub produkcji niepotokowej.

## 6. Problem ograniczonej zależności

Zgodnie z nazwą, algorytm nadążnego sterowania obciążeniem agregatu przeciwdziała narastaniu zależności w nadążaniu za wartością zadaną obciążenia (rys.2,3). Jednak samo działanie algorytmu nie gwarantuje ograniczonej zależności w nieskończonym horyzoncie czasowym. W przypadku silnych zakłóceń i braku korekt zadań produkcyjnych zależności muszą narastać i żaden algorytm nie jest w stanie temu zapobiec. Korekty nadrzędnych planów i harmonogramów produkcji są wypracowywane w wyższych warstwach systemu sterowania produkcją m.in. na podstawie danych o zależnościach w przepływie materiałów [7]. W chwilach aktywizacji sprzężeń zwrotnych operatywnego planowania produkcji, gdy zależności są niejako przenoszone na konto warstw wyższych, w warstwie sterowania obciążeniem chwilowym są one formalnie zerowane. Dotyczy to zarówno zależności  $w^s$  wynikających z zakłóceń ciągłości produkcji, jak i zależności  $w^l$  wynikających z nieciągłości przepływu materiałów. Dopiero dzięki temu można być pewnym ich ograniczonej w nieskończonym horyzoncie obserwacji, ponieważ w żadnym okresie między kolejnymi chwilami aktywizacji sprzężeń

zwrotnych nie mogą one osiągnąć wartości granicznych, określonych przez długość tego okresu i maksymalne natężenia przepływu.

#### LITERATURA

- [1] Gordon G.: Symulacja systemów. WNT, Warszawa 1974.
- [2] Kowalowski H. i inni: Automatyzacja dyskretnych procesów przemysłowych. WNT, Warszawa 1984.
- [3] Lis S.: Organizacja i ekonomika procesów produkcyjnych w przemyśle maszynowym. PWN, Warszawa 1984.
- [4] Zaborowski M.: Agregacja stanowisk roboczych dla potrzeb sterowania dyskretnymi procesami produkcji. ZN Pol.Śl., s. Automatyka, z. 85, Gliwice 1986.
- [5] Zaborowski M.: Modele przepływu materiałów przez agregaty o procesach technologicznych dyskretnych. ZN Pol.Śl., s. Automatyka, z. 94, Gliwice 1988.
- [6] Zaborowski M.: Quasiciągła symulacja przepływu materiałów w dyskretnych procesach technologicznych. ZN Pol.Śl., s. Automatyka, z. 95, Gliwice 1988.
- [7] Zaborowski M.: Sterowanie operatywne dyskretnymi procesami produkcji. Sprawozdania z I i II etapu prac w ramach programu badań podstawowych RP.I.02. Gliwice 1986, 1987. Niepublikowane.

Recenzent: Doc.dr hab.inż.K.Wala

Wpłynęło do Redakcji do 1988-04-30.

#### СМЕНЛИВЕ УПРАВЛЕНИЕ МНОГОВЕЩНОЙ ЧАПУСКОЙ АГРЕГАТОВ С ДИСКРЕТНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМИ

#### Резюме

В работе представлен алгоритм для каждого периода квантования управляемого устройства, решающий начать или нет обработку следующей детали в данном агрегате. Целью управления является установление последовательности дискретных пробегов действительных материальных потоков за непрерывными пробегими их заданных значений.



**FLOW-UP CONTROL OF THE ACTUAL LOAD OF MANUFACTURING AGGREGATES WITH DISCRETE TECHNOLOGICAL PROCESSES****S u m m a r y**

The algorithm presented in this paper is intended to decide in each sampling period of the controller whether or not to start working the next detail in a manufacturing aggregate. The control purpose is that discrete courses of real flow rates follow continuous courses of their required values.