

Bogusław Filipowicz  
Anna Hebda-Borek  
Witold Rakoczy  
Akademia Górniczo-Hutnicza

## STEROWANIE HUTNICZYM CIĄGIEM PRODUKCYJNYM W OPARCIU O HEURYSTYCZNE ALGORYTMY OPEROWANIA NA HARMONOGRAMACH

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono heurystyczny algorytm określający decyzje sterujące przepływem materiału w linii produkcyjnej stalownia konwertorowa - walcownia slabing, bazujący na analizie materiału do kolejnych operacji technologicznych. Algorytm ten zestawia zbiór najlepszych decyzji sterujących, spośród których operator procesu wybiera decyzję do ostatecznej realizacji.

### 1. Wprowadzenie.

Najbardziej złożonym, z punktu widzenia sterowania obiektem, w kombinacie metalurgicznym jest odcinek produkcyjny stalownia konwertorowa - walcownia slabing. W skład tego odcinka wchodzi: stalownia konwertorowa, hala rozlewnicza, oddział stripiera, oddział pieców grzewczych, walcownia slabing oraz transport kolejowy. Sterowaniu podlega przepływ wytopów /porcji metalu/ w tym odcinku, przy czym przez sterowanie będziemy rozumieć ciąg decyzji dyspozytorskich określający najlepsze współdziałanie operacji technologicznych i transportowych składających się na proces i minimalizujących przyjęte kryterium jakości. Za kryterium jakości procesu przyjmuje się zwykle czas postoju walcowni slabing z powodu braku wygrzanego metalu gotowego do walcowania.

Podstawową metodą sterowania złożonymi procesami technologicznymi, w obecnych warunkach niskiego stopnia automatyzacji sterowania i zarządzania, jest sterowanie poprzez dyspozytorów, którzy w trakcie trwania procesu muszą ustalać na bieżąco harmonogramy prowadzenia procesów oraz wydawać wytyczne do korekcji tych harmonogramów. Decyzje te powinny być podejmowane w oparciu o aktualny stan procesu, jego prognozę w pewnym przedziale czasu oraz minimalizować przyjęte kryterium jakości pracy ciągu. Ze względu na znaczną ilość informacji, na podstawie której należy opracowywać te harmonogramy, znaczne opóźnienia w jej przesyłaniu oraz wymagany stosunkowo krótki czas na podejmowanie decyzji, prawidłowe działanie dyspozytorów może być zagwarantowane tylko przy wykorzystaniu



komputerowego systemu pracującego w trybie doradczym. Propozycję konfiguracji sprzętowej tego systemu przedstawiono w pracy [1].

Przedmiotem niniejszej pracy jest opracowany i przebadany w trakcie badań symulacyjnych algorytm sterowania i prognozowania przepływu materiału w rozważanym ciągu produkcyjnym. Celem prezentowanego algorytmu jest określenie harmonogramu załadunku wsadu do komór pieców grzewczych, aby przy zachowaniu reguł technologicznych, gwarantujących właściwą jakość produkcji, momenty gotowości do walcowania kolejnych porcji wsadu przypadły w odstępach czasu równych cyklowi walcowania jednej porcji wsadu. W przypadkach gdy jest to niemożliwe, należy minimalizować postój walcowni slabing.

## 2. Zasada działania algorytmu

Omawiany algorytm operuje na zbiorze danych opisujących stan ciągu produkcyjnego stripier-slabing w chwili początkowej  $t_0$  oraz na harmonogramie gotowości do załadunku wytopów pochodzących ze stalowni konwertorowej i ze składu zimnych wlewków.

Na podstawie stanu początkowego ciągu algorytm (wykorzystując wbudowane modele symulacyjne) opracowuje początkowy harmonogram wydawania wytopów do walcowania. Obejmuje on tylko te wytopy, które znajdują się w trakcie walcowania lub nagrzewania oraz co do których decyzja o załadunku już zapadła (została podjęta przez dyspozytora i jest realizowana). Jednocześnie tworzony jest początkowy harmonogram zajęcia suwnicy załadowniczej, w którym oprócz faktu zajęcia suwnicy przez załadunek wsadu może być uwzględniony, np. przestój ze względu na drobny remont itp. W ten sposób algorytm dysponuje prognozą pracy odcinka, wynikającą z uwzględnienia stanu początkowego, na którą składają się początkowe harmonogramy zajętości komór grzewczych, walcowania oraz zajętości suwnic załadowniczych. Oprócz tego algorytm tworzy "prognozę wejścia", na którą składa się harmonogram gotowości do załadunku wytopów gotujących oraz harmonogram załadunku zimnych wlewków.

Od tej chwili algorytm rozpoczyna cykliczną pracę, polegającą na: określaniu zbiorów dopuszczalnych decyzji sterujących, wyborze w oparciu o heurystyczne reguły decyzji do realizacji (w modelu procesu), określaniu stanu procesu po realizacji decyzji (krok prognozy) i określaniu nowych harmonogramów.

Po opracowaniu sterowań na okres  $T_0$  algorytm kończy pracę. Część decyzji obejmująca okres  $T_s \ll T_0$  jest następnie przedmiotem akceptacji ze strony dyspozytorów.

W trakcie trwania obliczeń i prezentowania ich wyników dyspozytorowi mogą zajść zdarzenia, które uniemożliwią zrealizowanie niektórych poprzednio wypracowanych przez algorytm i zaakceptowanych przez dyspozytora decyzji. Wtedy należy uaktualnić stan początkowy (drogą wykorzystania oddzielnego modelu symulacyjnego odcinka) i powtórzyć obliczenia algorytmu sterowania. Oczywiście, ponieważ obliczenia muszą być prowadzone z wyprzedzeniem, chwila startowa  $t_0$  musi leżeć w przyszłości na tyle odległej.

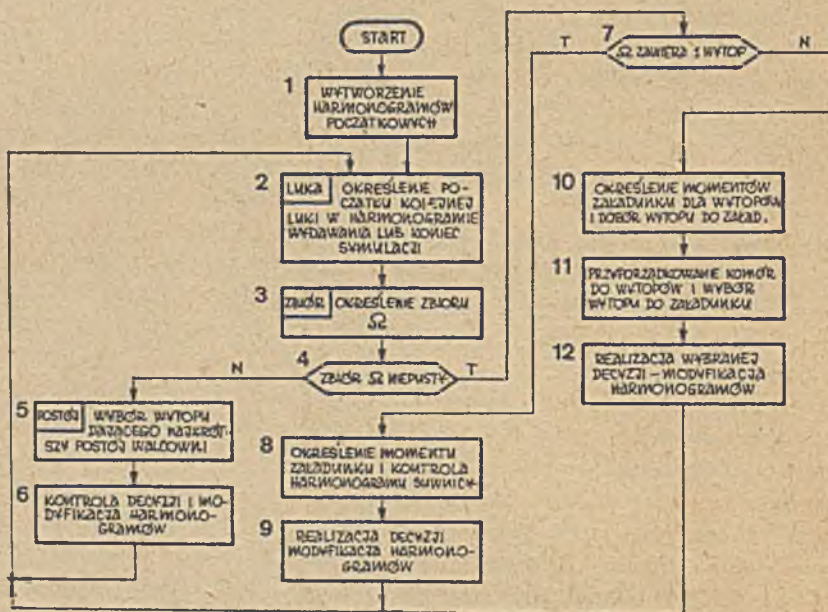


by wypracowane decyzje sterujące nie okazały się nieaktualne w momencie ich otrzymania. Wynika stąd, że dane startowe dla algorytmu sterującego pracą ciągu muszą pochodzić przynajmniej częściowo z prognozy zachowania się tego ciągu.

### 3. Opis funkcjonowania algorytmu

Charakterystyczną cechą omawianego algorytmu jest to, że operuje on na harmonogramach opisujących okresy zajęcia poszczególnych agregatów wchodzących w skład rozważanego ciągu oraz na zbiorze danych opisujących stan wszystkich wytopów już znajdujących się lub mogących trafić do ciągu wskutek podjęcia odpowiedniej decyzji dyspozytorskiej.

Istotą procesu optymalizacji realizowanego przez prezentowany algorytm są decyzje o załadunku poszczególnych wytopów do komór grzewczych. Przy tym decyzje o załadunku wsadu są podejmowane w miarę zwalniania komór grzewczych. Należy zauważyć, że ze względu na różne czasy nagrzewania różnych typów wlewków w komorach grzewczych kolejność zwalniania tych komór, tzn. kolejność wydawania wytopów do walcowania nie musi być zgodna z kolejnością ich załadunku. Schemat blokowy algorytmu przedstawia rysunek 1. Blok 1 powoduje wstępne przetworzenie informacji wejściowej i wytworzenie odpowiednich harmonogramów opisujących stan procesu w chwili startu. Powstają wtedy harmonogramy: gotowości do wydawania, gotowości do załadunku, zajętości suwnicy załadunkowej i zajętości komór.



Rys.1 Schemat blokowy algorytmu.



Pierwszy z nich jest następnie uzupełniany w tych punktach, w których stwierdzony zostanie postój walcowni. Nieciągłości w harmonogramie walcowania określane są przez podalgorytm L U K A (blok 2). Dokonuje on określenia chwili  $T_w$ , w której rozpoczyna się postój walcowni, sprawdzając jednocześnie, czy jego wypełnienie jest opłacalne.

Przyjmuje się tutaj następujące reguły:

- wypełnia się przerwy większe od połowy cyklu walcowania;
- rezygnuje się z wypełnienia przerw, jeżeli spowodowałyby to nadmierne wydłużenie się kolejki wytopów oczekujących na walcowanie.

W dalszej części algorytmu określa się, które wytopy mogą być załadowane i trafiają w znalezionej w harmonogramie lukę.

Blok 3 (podalgorytm ZBIÓR) określa zbiór wytopów  $\Omega$ , które załadowane w odpowiednim momencie, mogą zapewnić ciągłość walcowania w chwili  $T_w$ . Jeżeli takich wytopów nie ma, to blok 3 określa zbiór wytopów  $\Omega_1$ , których załadunek może zapewnić minimalny czas postoju walcowni. W bloku logicznym 4 sprawdza się czy zbiór ten jest pusty. W bloku 5 (podalgorytm POSTÓJ) ze zbioru  $\Omega_1$  wybierany jest wytop dający minimum czasu postojowi walcowni, z uwzględnieniem optymalnego wykorzystania komór.

Optymalizacja obciążenia komór jest realizowana przy pomocy zasady: jako pierwsze zajmuje się komory najpóźniej zwolnione. Blok 5 wybiera zatem ten wytop, który daje minimum postoju walcowni. Gdy takich wytopów jest kilka, preferuje się zimny wsad, jeśli gorący miałby być ładowany do tej samej komory co zimny ale po odpowiednio długim czasie oczekiwania na załadunek. Wynika to stąd, że zimny wsad jest nagrzewany znacznie dłużej niż wsad gorący, zatem aby był on gotowy do walcowania w tym samym momencie co gorący, należy go odpowiednio wcześniej załadować, minimalizując tym samym czas oczekiwania danej komory na załadunek wsadu.

Ponadto blok 5 modyfikuje moment  $T_w$  określony w bloku 2. Moment rozpoczęcia załadunku a zatem i pojawienia się wytopu gotowego do walcowania może ulec opóźnieniu ze względu na brak wolnej suwnicy załadowniczej. Dlatego też blok 6 kontroluje, czy taki opóźniony wytop likwiduje postój walcowni; jeżeli odpowiedź jest pozytywna lub gdy moment  $T_w$  określony poprzednio jest momentem zakończenia walcowania ostatniego wytopu w harmonogramie wydawania, następuje odpowiednia modyfikacja wszystkich harmonogramów. W szczególności realizuje się dopisanie nowego wytopu do harmonogramu wydawania do walcowania, wykreślając go z listy wytopów oczekujących na załadunek. Następnie przeprowadza się ewentualne "przesunięcie" w harmonogramie tych wytopów, które wskutek tego będą oczekiwać na wydawanie po zakończeniu nagrzewania. Następnie dokonuje się przejścia do bloku 2 celem określenia kolejnego momentu  $T_w$ , w którym należy zapewnić ciągłość pracy walcowni.

W przypadku, gdy w bloku 4 odpowiedź jest pozytywna (to znaczy zbiór  $\Omega$  zawiera wytopy, których załadunek w odpowiedniej chwili zapewni ciągłość pracy walcowni w momencie  $T_w$ ) następuje sprawdzenie, czy istnieje tylko jeden taki wytop. Gdy dysponuje się tylko jednym wytopem, przechodzi się do bloku 9. W bloku tym następuje określenie granicznego najpóź-



niejszego momentu  $T_2$ , w którym może rozpocząć się załadunek, aby wytop był gotowy do walcowania w momencie  $T_w$ . Uzyskuje się w ten sposób przedział  $[T_1, T_2]$ , gdzie  $T_1$  jest momentem gotowości wytopu do załadunku; uwzględnia się tutaj możliwość przetrzymywania wytopu w komorze bez jego nagrzewania. Następnie dobiera się moment  $T_z \in [T_1, T_2]$  o tej własności, że w przedziale  $[T_z, T_z + t_{\text{ład}}]$  (gdzie  $t_{\text{ład}}$  - jest czasem trwania operacji załadunku wytopu) suwnica załadunkowa jest wolna. Ponieważ działanie algorytmu ZBIÓR zagwarantowało wolną komorę w chwili  $T_1$  dla każdego wytopu ze zbioru  $\Omega$ , więc moment załadunku może być przesunięty w granicach  $[T_1, T_2]$  bez przerwania ciągłości walcowania w chwili  $T_w$ . Możliwość ta jest wykorzystywana w algorytmie SUWNICA, który w harmonogramie zajęcia suwnic dokonuje odpowiedniego sprawdzenia i ewentualnego opóźnienia momentu załadunku.

Kolejny blok 9 wykorzystuje algorytm SUWNICA, w którym określa się moment  $T_z$  rozpoczęcia ładowania wytopu do komory. Następnie modyfikuje się wszystkie harmonogramy analogicznie jak w bloku 6.

Jeżeli zbiór  $\Omega$  zawiera więcej niż jeden wytop (sprawdzenie warunku w bloku 7), należy dokonać wyboru jednego z nich. W tym celu w bloku 10 następuje, podobnie jak w bloku 8, określenie momentów  $T_z$  dla wszystkich wytopów zbioru  $\Omega$ , a następnie przeprowadzana jest modyfikacja tych momentów przy uwzględnieniu harmonogramu zajęcia suwnic. Moment załadunku określa się dla każdego wytopu niezależnie przy założeniu, że wytop ten zapewnia ciągłość walcowania w rozpatrywanej chwili  $T_w$ , a pozostałe wytopy będą oczekiwać na dalsze decyzje. Następnie w bloku 11 dokonuje się określenia komór, do których należy ładować wytopy ze zbioru  $\Omega$ , dobierając je w ten sposób, by czas oczekiwania komory pustej na załadunek wsadu był minimalny, tj. dla każdego wytopu dobiera się komorę zwalniającą się w chwili  $T_{zw} \leq T_z$  tak, aby spełniony był warunek  $d_k = \min_i d_i$ , gdzie  $d_i$  jest czasem oczekiwania i-tej komory na załadunek

$$d_i = T_{zw}^i - T_z^i,$$

gdzie:

$T_{zw}^i$  - moment zwolnienia i-tej komory,

$T_z^i$  - moment rozpoczęcia załadunku i-tej komory.

W bloku 12 następuje wybór wytopu do załadunku i dla wybranego wytopu przeprowadza się modyfikację wszystkich harmonogramów. Następnie powraca się do bloku 2 i cała procedura się powtarza.

#### 4. Podsumowanie

Realizacja systemu sterowania przepływem wytopów w trybie doradczym wymaga zainstalowania komputerowego systemu, w skład którego, oprócz programów użytkowych realizujących opisane algorytmy, powinny wchodzić:

- specjalizowany system nadzorczy organizujący pracę poszczególnych programów,
- system zbierania danych pracujący w trybie on-line (dane muszą być wprowadzane w miejscach ich generowania celem uniknięcia dodatkowych



opóźnień w przepływie informacji,  
- podsystem rejestracji i oceny wyników sterowania ciągiem, który między innymi jest wykorzystywany do oceny efektywności poszczególnych wersji algorytmów sterujących.

Przy spełnieniu powyższych założeń będzie zapewniona możliwość ewolucji projektowanego systemu sterowania drogą wprowadzania nowych wariantów algorytmów sterowania w miejsce mniej efektywnych.

#### LITERATURA

- [1.] B.Filipowicz, A.Hebda-Borek, W. Rakoczy: Problemy syntezy systemu sterowania dla ciągu produkcyjnego stalownia konwertorowa - walcownia slabing . Biuletyn Rady Naukowo-Technicznej Huty im. Lenina, nr 30 1976.
- [2.] B.Filipowicz, A.Hebda-Borek, W.Rakoczy: Modele symulacyjne dyskretnych procesów hutniczych . Biuletyn Rady Naukowo-Technicznej Huty im. Lenina, nr 31 1977.
- [3.] B.Filipowicz, A.Hebda-Borek, W.Rakoczy: Heurystyczne algorytmy sterowania współpracą stalowni konwertorowej z walcownią slabing. Biuletyn Rady Naukowo-Technicznej Huty im. Lenina, nr 32 1978.

#### УПРАВЛЕНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМ ПРОИЗВОДСТВОМ НА ОСНОВЕ ЭВРИСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА, ОПЕРИРУЮЩЕГО НА ГРАФИКЕ РАБОТ

##### Резюме

В работе представлен эвристический алгоритм, определяющий управляющие решения потоком материалов на производственной линии сталеварный цех - прокатный цех.

Алгоритм основывается на анализе графика работ установок и готовности отдельных партий материала к очередным технологическим операциям. Алгоритм этот сопоставляет совокупность наилучших, управляющих решений, из которых, оператор процесса, выбирает решения для окончательного выполнения.

#### STEERING OF A FOUNDRY TECHNOLOGICAL OPERATION SEQUENCE WITH THE USE OF HEURISTIC ALGORITHMS OF SCHEDULES TRANSFORMATIONS

##### Summary

In the work an heuristic algorithm is presented, determining the decisions steering the material flux in the foundry. The algorithm described puts together the best steering decisions, the final decision being at the disposal of the operator of the process.