

Kazimierz Gójski, Marek Kacprzak,  
Anna Szeluga  
Instytut Maszyn Matematycznych, Warszawa

## SYSTEM KOMPUTEROWEGO STEROWANIA GRUPAMI OBRABIAREK

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono koncepcję modułowego systemu komputerowego sterowania dyskretnym obiektem przemysłowym - grupą obrabiarek. Opisano realizację techniczną i oprogramowanie modułu sterowania obrabiarkami.

### 1. Opis sterowanego obiektu

Sterowanym obiektem jest wydział obróbki przedmiotów skrawaniem, zwany dalej Grupą Obrabiarek.

W skład Grupy Obrabiarek wchodzi:

- urządzenia produkcyjne (obrabarki i centra obróbkowe sterowane numerycznie, obrabarki konwencjonalne),
- urządzenia transportu operacyjnego i międzyoperacyjnego przedmiotów,
- urządzenia przygotowania i transportu narzędzi,
- urządzenia pomocnicze (załadowczo-rozładowcze, magazynowe, pomiarowe, mycia i odwiórowania przedmiotów, roboty przemysłowe).

Urządzenia produkcyjne sterowane numerycznie posiadają układy sterowania numerycznego typu CNC i NC.

Sterowanie procesem obróbki przedmiotu odbywa się według Programów Operacji Technologicznych (POT). Programy POT mogą być wprowadzone do układu sterowania numerycznego przez czytnik taśmy papierowej lub przesyłane z komputera.

Urządzenia pomiarowe, mycia i odwiórowania przedmiotów oraz roboty przemysłowe mogą być również sterowane numerycznie według programów POT, przez układy typu CNC i NC.

Urządzenia wchodzące w skład Grupy Obrabiarek mogą być wzajemnie powiązane procesem technologicznym lub mogą pracować indywidualnie.

Urządzenia produkcyjne i pomocnicze mogą być powiązane z transportem przedmiotów ręcznym lub automatycznym.

Transport ten może być paletowy lub bezpaletowy.

Urządzenia produkcyjne mogą być powiązane z transportem narzędzi. Transport przedmiotów oraz narzędzi może nie obejmować wszystkich urządzeń produkcyjnych i pomocniczych.

Grupa Obrabiarek jest przeznaczona do produkcji mało- i średnioseryjnej

przedmiotów podobnych technologicznie.

Możliwa jest łatwa zmiana planu pracy Grupy Obrabiarek.

Przewidywany jest różny stopień automatyzacji zarówno samego procesu produkcyjnego, jak i czynności pomocniczych.

## 2. Opis zadań sterowania Grupą Obrabiarek

Urządzenia wchodzące w skład Grupy Obrabiarek mogą być sterowane:

- lokalnie (przez operatora),
- zdalnie ręcznie (przez dyspozytora),
- zdalnie automatycznie (przez System Komputerowego Sterowania - SKS).

Dla sterowania zdalnego urządzenia są wyposażone w układy sterownicze, które przyjmują i realizują binarne sygnały sterujące z SKS oraz wysyłają binarne sygnały informacyjne do SKS.

Poszczególne urządzenia posiadają pulpity sterownicze, zapewniające komunikację operatora urządzenia z SKS.

Sterowanie Grupą Obrabiarek obejmuje następujące zadania:

- a) planowanie okresowe - ustalanie długofalowego planu produkcji,
- b) planowanie operatywne - ustalanie organizacji produkcji na danej zmianie, tzn. ułożenie harmonogramu zmianowego (określenie dla każdego urządzenia kolejności zadań i czasu ich realizacji),
- c) sterowanie przepływem przedmiotów i narzędzi,
- d) sterowanie operatywne - nadzorowanie realizacji harmonogramu zmianowego w warunkach pracy Grupy Obrabiarek bez zakłóceń oraz korygowanie harmonogramu w warunkach różnorodnych zakłóceń procesu produkcyjnego,
- e) sterowanie na bieżąco wszystkimi urządzeniami Grupy Obrabiarek:
  - ustalanie sposobu sterowania i zmiany sposobu sterowania poszczególnymi urządzeniami (sterowanie lokalne, sterowanie zdalne ręczne lub automatyczne),
  - przyjmowanie sygnałów informacyjnych od obiektu, opracowywanie na ich podstawie i wysyłanie sygnałów sterujących do urządzeń i poleceń do operatorów, kontrola wykonania sygnałów sterujących i poleceń,
  - przechowywanie (w pamięci masowej SKS) oraz przesyłanie programów POT do urządzeń produkcyjnych sterowanych numerycznie,
  - sygnalizacja i rejestracja dla potrzeb dyspozytora zdarzeń zachodzących w trakcie procesu produkcyjnego,
- f) opracowywanie dokumentów końcowych o pracy Grupy Obrabiarek w ciągu zmiany.

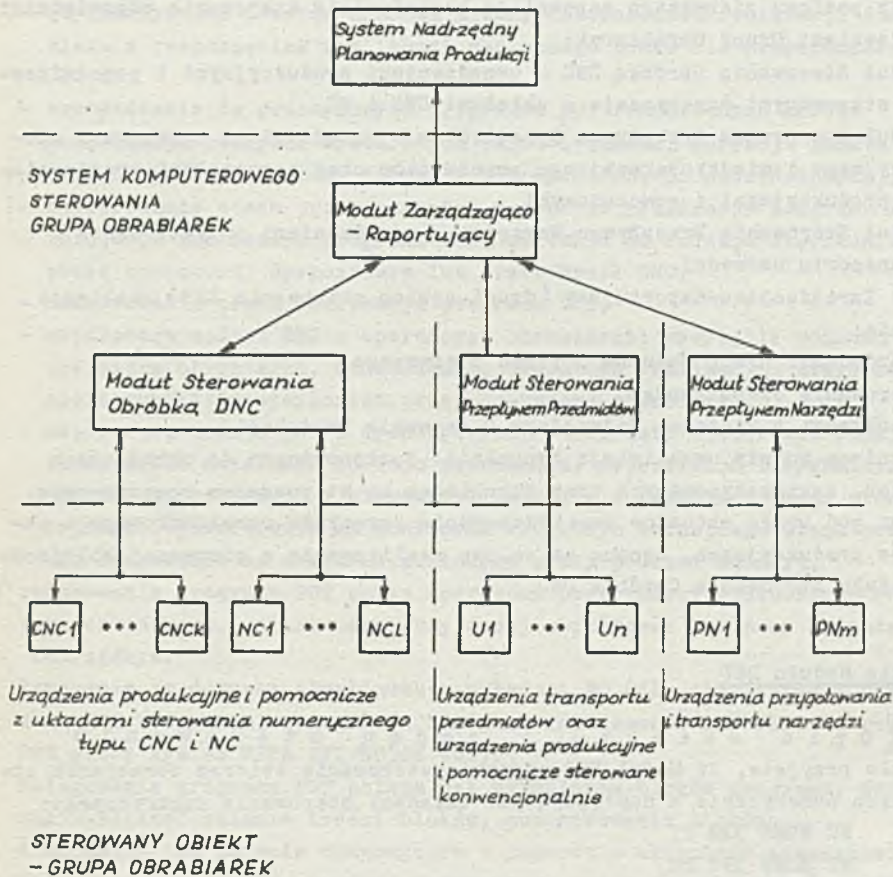
Ze względu na znaczne skomplikowanie zadań planowania okresowego i operatywnego przyjęto, że są one rozwiązywane przed rozpoczęciem zmiany przez System Nadzórny Planowania Produkcji.

Resztą zadań są realizowane (w większości na bieżąco - w trakcie trwania zmiany) przez System Komputerowego Sterowania.



### 3. Podział zadań sterowania między moduły

Ze względu na złożony charakter sterowanego obiektu i różnorodność zadań sterowania dokonano podziału obiektu i Systemu Komputerowego Sterowania (rys. 1).



Rys. 1 Struktura funkcjonalna Systemu Komputerowego Sterowania Grupami Obrabiarek

System Komputerowego Sterowania Grupami Obrabiarek będzie się składał z następujących modułów sprzętowo-programowych:

- Modułu Sterowania Obróbką DNC,
- Modułu Sterowania Przepływem Przedmiotów,
- Modułu Sterowania Przepływem Narzędzi,
- Modułu Zarządzająco-Raportującego.

SKS będzie posiadał strukturę hierarchiczną, dwupoziomową.

Moduły poziomu pierwszego zapewniają bezpośrednie sterowanie odpowiednimi urządzeniami Grupy Obrabiarek:

- Moduł Sterowania Obróbką DNC - urządzeniami produkcyjnymi i pomocniczymi sterowanymi numerycznie z układami CNC i NC,
- Moduł Sterowania Przepływem Przedmiotów - urządzeniami transportu operacyjnego i międzyoperacyjnego przedmiotów oraz pozostałymi urządzeniami produkcyjnymi i pomocniczymi,
- Moduł Sterowania Przepływem Narzędzi - urządzeniami przygotowania i transportu narzędzi.

Moduł Zarządzająco-Raportujący (drugi poziom sterowania SKS) realizuje zadania:

- koordynacji pracy Modułów poziomu pierwszego,
- sterowania operatywnego,
- współpracy z Systemem Nadrzędnym Planowania Produkcji.

Wymienione Moduły umożliwiają tworzenie dostosowanych do określonych potrzeb, zautomatyzowanych Grup Obrabiarek ze sterowaniem komputerowym. Biorąc pod uwagę aktualne zapotrzebowania przemysłu obrabiarkowego i zakładów produkcyjnych, uznano za celowe realizowanie w pierwszej kolejności Modułu Sterowania Obróbką DNC.

#### 4. Opis Modułu DNC

4.1. [Opis obiektu i zadań sterowania  
Zostało przyjęte, że Moduł DNC zapewnia sterowanie zbiorem obrabiarek sterowanych numerycznie z następującymi układami sterowania numerycznego:

- NC NUMS 320 T,
- NC NUMS 331 FC,
- MERA CNC/NUCON 400.

Moduł DNC zapewnia współpracę z nie więcej niż 32 układami sterowania numerycznego typu CNC i NC, przy czym łączna ilość układów NC nie przekracza 16.

Moduł DNC może pracować samodzielnie lub może współpracować z innymi Modułami SKS.

Moduł DNC realizuje następujące funkcje:

- a) magazynowanie w pamięci masowej programów POT (tworzenie Biblioteki programów POT),



## b) sterowanie on-line pracą obrabiarki:

- ustalanie sposobu sterowania i zmiany sposobu sterowania,
- przyjmowanie sygnałów informacyjnych od obrabiarki, opracowywanie na ich podstawie i wysyłanie sygnałów sterujących do obrabiarki, kontrola realizacji sygnałów sterujących,
- przesyłanie programów POT do układu sterowania numerycznego obrabiarki. Szybkość przesyłania bloków POT do układów NC musi być taka, aby maksymalna przerwa czasowa między zakończeniem realizacji danego bloku a rozpoczęciem realizacji następnego bloku nie przekraczała 700 ms,
- wprowadzanie do przesyłanych programów POT różnorodnych korekt (kompensacja odchyłek wymiarowych palet i imadeł, korekcja punktu wymiany palety, zamiana danych liczbowych funkcji narzędziowych),
- nadzorowanie czasu pracy narzędzi w trakcie realizacji programu POT,
- inicjacja realizacji programu POT. zależnie od rodzaju sterowania, przez operatora, dyspozytora lub przez Moduł DNC,
- nadzorowanie czasu realizacji programu POT,
- współpraca modułu DNC z operatorem obrabiarki: wysyłanie poleceń do operatora obrabiarki, nadzorowanie czasu ich realizacji, przyjmowanie komunikatów wysyłanych przez operatora obrabiarki,
- współpraca modułu DNC z dyspozytorem w zakresie sterowania danej obrabiarki: ustalanie rodzaju sterowania, rejestracja i sygnalizacja zdarzeń zachodzących w sterowanym obiekcie w trakcie procesu produkcyjnego (wyswietlanie na monitorze ekranowym aktualnego stanu procesu, drukowanie na drukarce protokołu pracy podczas zmiany),

## c) redagowanie programu POT przez operatora przy pomocy przenośnego monitora ekranowego, ustawianego przy danej obrabiarence lub przy komputerze nadrzędnym.

Wymaganie to dotyczy obrabiarek z układami NC (dla obrabiarek z układami CNC redagowanie programów POT jest realizowane bez udziału modułu DNC przez system MERA CNC/NUCON 400).

Redagowanie programu POT polega na: skreśleniu bloków programu, dopisaniu bloków, zmianie treści bloków, ponumerowaniu bloków,

## d) drukowanie na żądanie dyspozytora : raportu o aktualnym zaawansowaniu pracy podczas zmiany, raportu o wykonaniu pracy po zakończeniu zmiany, stanu urządzeń Grupy Obrabiarek w chwili zakończenia zmiany.

Moduł DNC musi zapewnić równoległe sterowanie wszystkimi obrabiarkami wchodzącymi w skład Grupy Obrabiarek, z których każda może być przełączona na dowolny rodzaj sterowania.

Redagowanie programu POT na obrabiarence z układem NC może się odbywać tylko na jednej ustalonej obrabiarence.

## 4.2. Realizacja sprzętowa Modułu DNC

Dla spełnienia opisanych zadań Moduł DNC musi posiadać następującą

konfigurację sprzętową:

- minikomputer z kanałem multipleksorowym, pamięcią dyskową i standardowymi urządzeniami wejścia/wyjścia,
- jednostkę transmisji dla układów NC,
- jednostkę transmisji dla układów CNC.

Ze względu na przyjęcie założenia o jednakowych zasadach transmisji informacji dla obydwu typów układów sterowania numerycznego CNC i NC potrzebne będą urządzenia dopasowujące i funkcjonalne, zapewniające współpracę tych układów z Modułem DNC.

Transmisja między Modułem DNC a układami sterowania numerycznego typu NC i CNC będzie szeregową, asynchroniczną.

Zapewnienie współpracy w przypadku układów NC wymaga dołączenia dla każdego układu NC specjalnego terminalu z odpowiednią częścią logiczną, pulpitem do współpracy z operatorem oraz odpowiednio pojemną pamięcią.

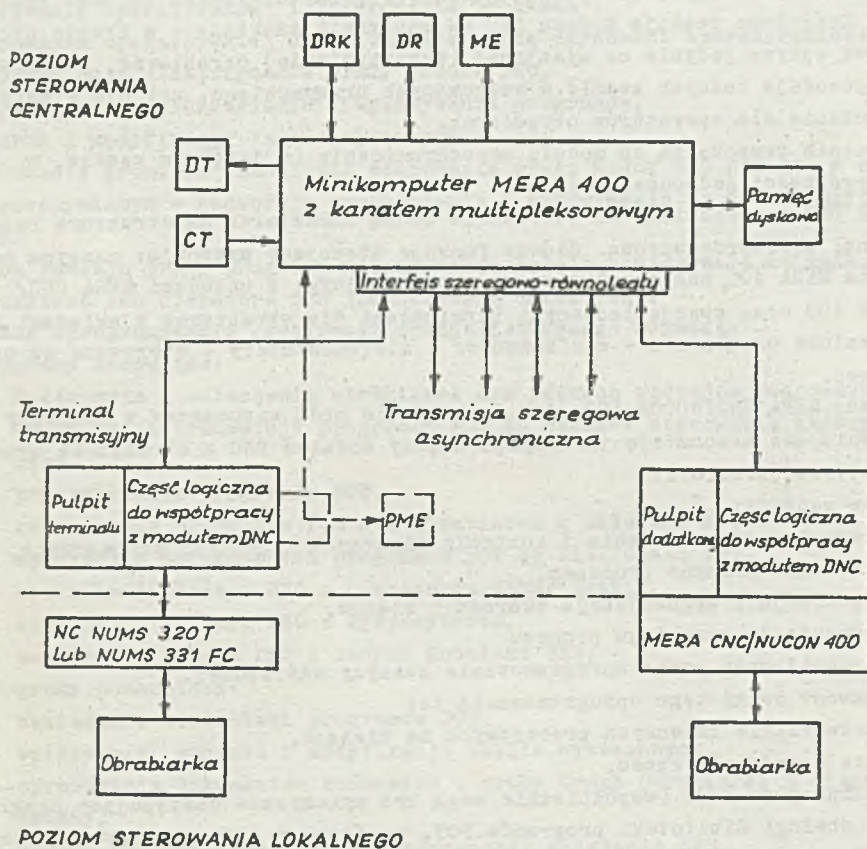
Na podstawie analizy czasowej współpracy układów sterowania numerycznego typu NC z minikomputerem nadrzędnym oszacowano niezbędną pojemność buforu terminalu na 1024 bajty. Część logiczna terminalu będzie się składała z podwójnego buforu pamięciowego zrealizowanego na pamięciach typu RAM, z pamięci typu PROM dla programów sterujących, układu do obsługi interfejsu szeregowego, dekodera interfejsu równoległego, rejestru stanu oraz układów obsługi pulpitu. Terminal będzie wyposażony ponadto w przyłącze pozwalające na dołączenie przenośnego monitora ekranowego z klawiaturą, służącego do uruchamiania programów POT przy wykorzystaniu minikomputera systemu.

W wyniku przeprowadzonej analizy ustalono, że Moduł DNC będzie realizowany w oparciu o standardowy, produkowany seryjnie w kraju, zestaw minikomputerowy MERA 400 z odpowiednimi urządzeniami zewnętrznymi (rys. 2).

Przeznaczenie urządzeń zewnętrznych jest następujące:

- monitor ekranowy MERA 7952 spełnia rolę tablicy synoptycznej - wyświetla między innymi informacje o stanie obiektu,
- drukarka znakowo-mozaikowa z klawiaturą DZM-180 KSR - drukarka systemowa służąca do współpracy dyspozytora z systemem,
- drukarka znakowo-mozaikowa DZM-180 - drukarka raportująca, służąca do wydruku raportów oraz sprawozdawczości,
- pamięć dyskowa MERA 9425 stanowi bibliotekę programów POT oraz programów systemowych,
- czytnik taśmy perforowanej CT 2100 - podstawowe urządzenie wejściowe systemu,
- dziurkarka taśmy DT 105 - podstawowe urządzenie wyjściowe systemu,
- przenośny monitor ekranowy z klawiaturą MERA 7952 służy do redagowania programów POT.





Rys. 2. Schemat blokowy Modułu DNC

- CT - czytnik taśmy perforowanej
- DT - dziurkarka taśmy perforowanej
- DR - drukarka
- DRK - drukarka z klawiaturą
- ME - monitor ekranowy z klawiaturą
- PME - przenosny monitor ekranowy z klawiaturą

#### 4.3. O p r o g r a m o w a n i e   M o d u ł u   D N C

z punktu widzenia Systemu Komputerowego Sterowania Grupa Obrabiarek jest obiektem dyskretnym, nie narzucającym krytycznych wymagań na czas reakcji. Opóźniona reakcja Modułu DNC na zdarzenia zachodzące w Grupie Obrabiarek wpływa jedynie na wydajność (wykorzystanie) obrabiarek, natomiast nie powoduje żadnych awarii w sterowanych urządzeniach, ani nie stwarza zagrożenia dla operatorów obrabiarek.

Zdarzenia przychodzą do modułu asynchronicznie (w dowolnym czasie, w szczególności jednocześnie).

Moduł DNC przewidziany do sterowania Grupą Obrabiarek ma strukturę rozłożoną, wieloprocesorową. Główne funkcje sterujące wykonują: maszyna nadrzędna MERA 40C, połączona liniami transmisyjnymi z układami MERA CNC/NUCON 400 oraz specjalizowanymi terminalami dla obrabiarek z układami NC. Wymienione urządzenia - minikomputer i mikrokomputery - sterowane są programowo.

Zarówno MERA CNC/NUCON 400, jak i terminale będą wyposażone w programy zapewniające transmisję informacji między Modułem DNC a obrabiarką oraz operatorem obrabiarki.

Główne zadania:

- zbieranie, przetwarzanie i kontrola binarnych zmiennych procesowych,
- sterowanie binarne procesem,
- rejestracja i sygnalizacja zdarzeń i stanów,
- dokumentacja przebiegu procesu

będą realizowane przez oprogramowanie maszyny nadrzędnej.

Podstawowe cechy tego oprogramowania to:

- przetwarzanie zmiennych procesowych na bieżąco,
- praca w podziale czasu,
- wieloprogramowość (współbieżnie mogą być wykonywane następujące programy: obsługi Biblioteki programów POT, współpracy z dyspozytorem, sterowania wszystkimi obrabiarkami, redagowania programów POT),
- stały zestaw wykonywanych programów,
- wzajemne powiązanie programów, w zależności od kolejności ich aktywowania.

Oprogramowanie maszyny nadrzędnej będzie się składało z oprogramowania podstawowego oraz oprogramowania użytkowego specjalistycznego.

Należy zapewnić modułowość oprogramowania i znormalizowany sposób łączenia programów-modułów. Poszczególne programy powinny być parametryzowane, aby zapewnić możliwie dużą ogólność oprogramowania.

Modułowość oprogramowania:

- umożliwi dostosowanie oprogramowania do konkretnego obiektu i potrzeb użytkownika,
- ułatwi uruchamianie programów i wprowadzanie zmian,
- umożliwi rozbudowę oprogramowania w trakcie eksploatacji próbnej.



Oprogramowanie podstawowe Modułu DNC będzie opracowane na bazie standardowego systemu operacyjnego czasu rzeczywistego SOM-3.

Przewiduje się, że program wykonawczy będzie umożliwiał dwa rodzaje pracy: "sterowanie operatorskie" i "sterowanie procesem".

"Sterowanie operatorskie" umożliwi wykonanie czynności operatorskich:

- uruchamianie i zatrzymanie pracy Modułu DNC,
- wprowadzanie, uruchamianie i wykonywanie programów,
- wydruk i modyfikacje tablic systemowych, itp.

"Sterowanie procesem" umożliwi sterowanie przez Moduł DNC obiektu w czasie rzeczywistym - nadzoruje uruchamianie i wykonywanie programów użytkowych.

Zmiana rodzaju pracy programu wykonawczego będzie następowała na żądanie dyspozytora lub operatora SKS (odpowiednią dyrektywą).

W skład oprogramowania użytkowego specjalistycznego wchodzi:

- programy sterujące:

- a) dołączania i odłączania obrabiarek dla różnych rodzajów sterowania,
- b) organizacji transmisji programów POT do układów sterowania numerycznego,
- c) przetwarzania programów POT,
- d) redagowania programów POT dla obrabiarek z układami NC,
- e) wpisywania redagowanych programów POT do biblioteki POT,
- f) komunikacji Modułu DNC z operatorem obrabiarek,
- g) komunikacji Modułu DNC z dyspozytorem,
- h) współpracy Modułu DNC z innymi Modułami SKS;

- programy pomocnicze:

- a) zakładania Biblioteki programów PCT,
- b) wpisywania, wydruku i modyfikacji tablic systemowych,
- c) opracowania dokumentów końcowych o pracy Grupy Obrabiarek w ciągu zmiany,
- d) zestaw programów testujących poprawność działania SKS,
- e) zestaw programów przeznaczonych do diagnozy uszkodzeń.

Programy testujące i diagnostyczne mogą być wykonywane (np. okresowo) podczas sterowania procesem, a także przed rozpoczęciem sterowania procesem przez Moduł DNC.

Należy zapewnić:

- zabezpieczenie programowe przed błędnym wystereowaniem obiektu,
- możliwość "startu" i "restartu" programów przy różnych stanach obiektu,
- łatwą kontrolę poprawności zapamiętanego programu użytkowego w czasie pracy Modułu,
- programową kontrolę dostępu programów użytkowych do bazy danych, dla zabezpieczenia bazy danych przed przypadkowym zniszczeniem.

## СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГРУППАМИ ОБРАБОТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ

## Резюме

В работе представлено концепцию модульной системы компьютерного управления группой обрабатывающих станков - дискретным производственным процессом. Представлено техническую реализацию и опrogramмирование модулей управления станками.

## THE COMPUTER CONTROL SYSTEM FOR A GROUP OF MACHINE TOOLS

## Summary

In the paper the basic concept of modular computer control system for the discrete industrial process - the group of machine tools - is presented. Hardware and software of the machine tool control module are described.