ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1989

Seria: AUTOMATYKA z. 93 Nr kol. 969

Swietła STOJANOWA
Irina ŻELAZKOWA

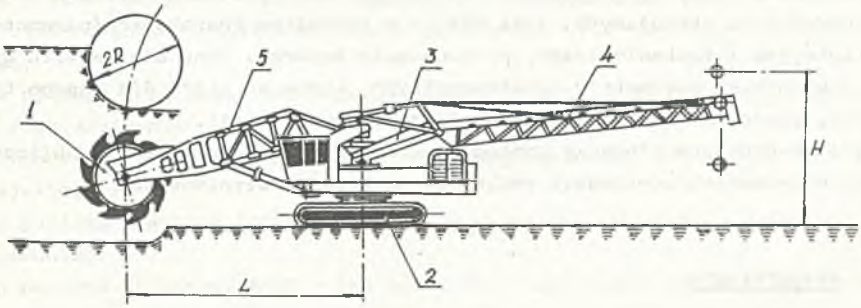
SYSTEMY CYFROWEGO PROGRAMOWEGO STEROWANIA KOPAREK WIRNIKOWYCH

(P r z e g l ą d)

Streszczenie. W artykule rozpatrzono specyficzne właściwości koparki wirnikowej jako obiektu sterowania. Dokonano klasyfikacji systemów cyfrowego programowego sterowania koparek wirnikowych (SCSP KW), przy czym zgodnie z nią przedstawiono zasady organizacji struktury oraz procesu obliczeniowego w SCSP KW z niewyciągającym się wysięgnikiem. Dokonano również analizy porównawczej systemów z zewnętrznymi urządzeniami pamięci, ze specjalizowanymi urządzeniami obliczeniowymi oraz systemów mikroprocesorowych. Opisano strukturalne oraz algorytmowe cechy szczególne systemu mikroprocesorowego dla programowego sterowania koparek wirnikowych, opracowanego w Wyższej Szkole Technicznej im. A. Kynczewa w Russe, LR Bułgarii.

1. Wprowadzenie

Koparki wirnikowe (rys. 1) znajdują szerokie zastosowanie w górnictwie, w budownictwie przemysłowym i melioracyjnym do wykonywania prac ziemnych. Kopanie realizuje się za pomocą równoczesnego obracania koła wirnikowego (1)



Rys. 1. Struktura iteracyjnego (wielorzędowego) algorytmu MGEA
A - algorytm przetwarzania argumentów parami, S - selekcja progowa najlepszych modeli (w każdej iteracji)

Fig. 1. Structure of iteration MGEA algorithm
A - algorithm for conversion of arguments by pairs, S - threshold selection pf the best models (in every iteration)

oraz platformy (2), natomiast odprowadzanie wykopanej masy ziemi - za pomocą przenośnika odbierającego (3) i transportującego (4). Przy koparkach z niewyciągającym się wysięgnikiem przejście z jednej wstęgi do drugiej w ramach jednej warstwy dokonuje się poprzez spuszczanie wysięgnika wirnikowego (5), obracanie platformy oraz wycofanie się koparki w kierunku odwrotnym do przesuwania się w przodku. W warunkach współczesnej rewolucji naukowo-technicznej powstaje problem zastępstwa sterowania ręcznego sterowaniem automatycznym podstawowych mechanizmów celem zwiększenia wydajności koparki oraz polepszenia warunków pracy operatora.

2. Właściwości koparki wirnikowej jako obiektu sterowania

Koparka wirnikowa stanowi skomplikowany obiekt sterowania, mający wiele właściwości, a mianowicie: silników jest dużo i są różnego typu; technologia kopania jest uwarunkowana kilkoma rodzajami wiórów i dużą liczbą ograniczeń konstrukcyjnych; brak sztywnych zależności pomiędzy koparką, która posiada sześć stopni swobody, a przodkiem; ciężkie warunki eksploatacyjne powodują częste przeciążenia mechanizmów i konstrukcji.

Sterowanie automatyczne koparki wirnikowej w przestrzeni jest związane z rozwiązywaniem następujących ważniejszych zadań:

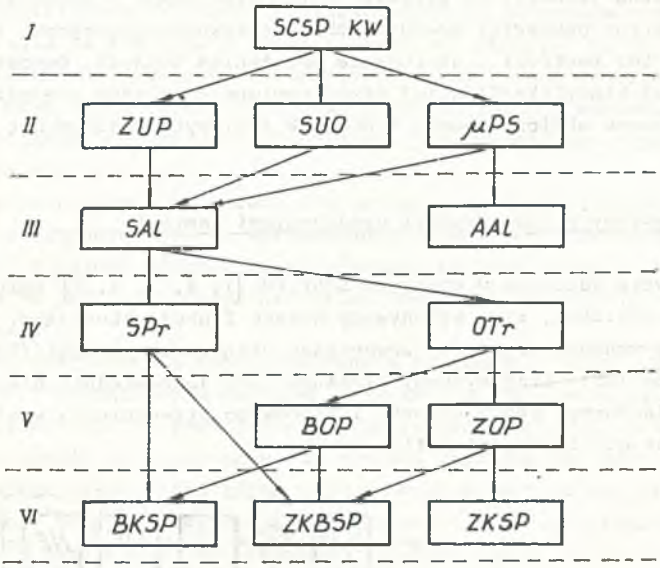
- obliczanie współrzędnych punktów końcowych trajektorii ruchu wirnika;
- obliczanie trajektorii między punktami oporowymi przy sterowaniu współrzędno-obwodowym;
- współrzędne lub współrzędno-obwodowe sterowanie po trzech przestrzennych współrzędnych;
- realizacja różnorodnych schematów technologicznych;
- kontrola przesunięć i sterowanie położeniem koparki w przodku.

Danych wejściowych, niezbędnych do rozwiązania wymienionych zadań obliczeniowych oraz sterujących, jest dużo i o rozmaitym charakterze(parametry konstrukcyjne i technologiczne, przesunięcia koparki, dane dla reliefu gruntu). Z wyjątkiem parametrów konstrukcyjnych, które są stałe dla danego typu koparki, pozostałe dane wejściowe podlegają aktualizacji.

Wyżej wspomniane tłumaczy konieczność rozwoju środków techniki obliczeniowej w systemach sterowania programowego koparek wirnikowych.

3. Klasyfikacja

Nagromadzone w tym kierunku doświadczenie w Bułgarii oraz w krajach wiodących (ZSRR, NRD, NRF, Japonia) [6, 9] można uogólnić klasyfikacją według pięciu podstawowych właściwości (I - organizacja strukturalna, II - rodzaj algorytmu sterowania, III - sposób zadawania informacji wjeściowej, IV - sposób obróbki informacji wejściowej, V - sposób kontroli i sterowania położeniem koparki).



Rys. 2. Schemat blokowy systemu modelowania PP na podstawie danych empirycznych

Fig. 2. Block scheme of modeling system for measurement transducer basing on empirical data

Na schemacie pokazanym na rys. 2, poziomy od drugiego do szóstegc odpowiadają wymienionym właściwościom, natomiast węzły schematu oznaczają odpowiednio:

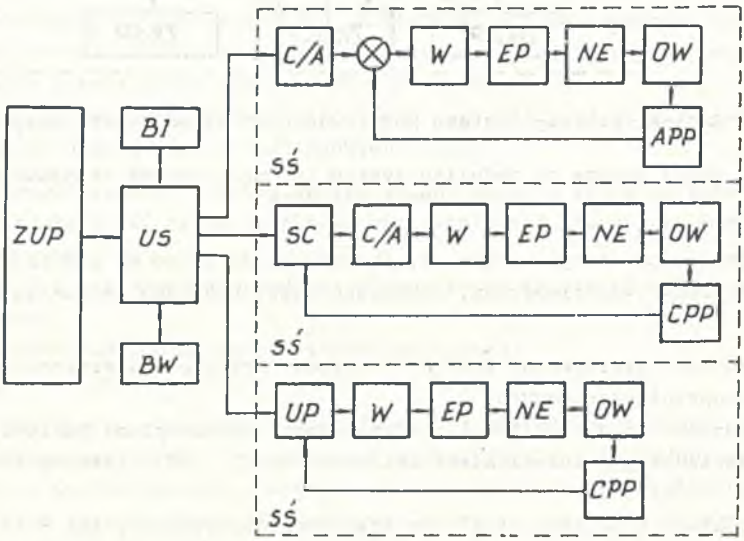
- dla poziomu pierwszego: SCSP KW - systemy cyfrowego sterowania programowego koparek wirnikowych;
- dla poziomu drugiego: ZUP - z zewnętrznymi urządzeniami pamięci, SUO - ze specjalizowanymi urządzeniami obliczeniowymi, PS - systemy mikroprocesorowe;
- dla poziomu trzeciego: SAl - ze sztywnymi algorytmami, AAl - z algorytmami adaptacyjnymi;
- dla poziomu czwartego: SPr - ze sztywnymi programami, OTr - z obliczeniem trajektorii;
- dla poziomu piątego: BOP - bez odczytania przesunięć, ZOP - z odczytaniem przesunięć;
- dla poziomu szóstego: BKSP - bez kontroli i sterowania położeniem, ZKBSP - z kontrolą bez sterowania położeniem, ZKSP - z kontrolą oraz sterowaniem położeniem.

Taka klasyfikacja pozwala zsystematyzować różnorakość opracowanych SCSP KW, przy czym oznaczenie klasy otrzymuje się z oznaczeń odpowiednich węzłów uwzględnionych kolejno dla poziomów od drugiego do szóstego oraz oddzielo-

nych jeden od drugiego kropką. Przy braku informacji dla danej właściwości zapis można skrócić. Na przykład ZUP.SAl.SPr.BKSP oznacza klasę systemów z zewnętrzną pamięcią, pracujących wg sztywnego algorytmu, ze sztywnym programem, bez kontroli i sterowania położeniem koparki. Odpowiednio do zaproponowanej klasyfikacji dalej przedstawione są zasady organizacji struktury oraz procesu obliczeniowego w SCSP KW z niewyciągającym się wysięgnikiem.

4. Systemy z zewnętrznymi urządzeniami pamięci

Pierwsze wdrożone w praktyce SCSP KW [1, 2, 3, 4, 5] były z klasy ZUP.SAl.SPr.BKSP, tzn. wykonywały czyste funkcje sterujące. W skład takich systemów wchodzą (rys. 3): zewnętrzne urządzenie pamięci (ZUP), urządzenie sterujące (US), trzy systemy śledzące (SS) (odpowiednio dla poziomego obracania platformy, ruchu koparki i pionowego przesunięcia wysięgnika koparki) oraz blok dla indykacji (BI).



Rys. 3. Wykres zmian częstotliwości rezonansowej RCW
• - wartości empiryczne; o - wartości wyliczone wg (9)
Fig. 3. Graph of resonance frequency changes
• - empirical values, o - values found ac. (9)

ZUP służy do tymczasowego przechowywania i czytania zaprogramowanej informacji której zawartość zależy od rodzaju sterowania(współrzędne lub współrzędno-obwodowe), od przyjętego schematu technologicznego(z jednorzędowymi, wielorzędowymi, poziomymi, pionowymi lub kombinowanymi wiórami) i od typu koparki. Zawartość tej informacji dla jednego bloku osiąga kilka-

dziesiąt wielkości przy sterowaniu współrzędnym i kilkaset wielkości przy sterowaniu współrzędno-obwodowym. Prędkość czytania programów nie przewyższa jednego bajta na sekundę, a częstotliwość ich zmiany - jeden raz dla jednego bloku. Te charakterystyki techniczne razem z koniecznością wizualnej kontroli oraz aktualizacji zaprogramowanej informacji usprawiedliwiają wykorzystanie taśmowych urządzeń czytających jako prostszych w porównaniu z kartowymi oraz magnetycznymi.

Urządzeniu sterującemu US zaleca się następujące funkcje: pobieranie kodów sygnałów sterujących z ZUP, wprowadzanie do SS, jak i sterowanie BW i BI. Struktura US zależy od przyjętego schematu technologicznego i zazwyczaj syntezuje się ją jako cykliczny rozdzielacz operacji bazując na triggerach i przerzutnikach.

Zadaniem SS jest obróbka zaprogramowanych przesunięć organu roboczego w reżimie dużych początkowych odchyleń ze stałym działaniem urządzeń wykonawczych. W zależności od znaku różnicy między zadanymi oraz bieżącymi współrzędnymi napędy są włączane w odpowiednim kierunku. W jednym i tym samym SCSP KW można wykorzystać różne pod względem struktury SS, jak pokazano na rys. 3, gdzie przyjęto następujące oznaczenia: C/A - przetwornik cyfrowo-analogowy; W - wzmacniacz; EP - element przerzutnikowy lub regulator (R); NE - napęd elektryczny; OW - organ wykonawczy; APP - analogowy przyrząd pomiarowy; SC - sumator cyfrowy; CPP - cyfrowy przyrząd pomiarowy; UP - urządzenie porównawcze. Ze względu na zmniejszenie kosztów aparaturowych, niektóre opracowania mają po dwa SS oraz obwody przełączania czujników dla trzech współrzędnych [1].

Z BW zadaje się reżim pracy systemu (automatyczny, krokowy), schemat technologiczny (z jednorzędowymi, wielorzędowymi wiórami, bez lub z równoczesnym wykonywaniem operacji technologicznych). W niektórych systemach przy sterowaniu współrzędnym spełnia on rolę ZUP ze względu na mniejszą zawartość informacji wejściowej.

BI, którego brakuje w niektórych systemach, pozwala operatorowi koparki śledzić za wartościami zadawanych oraz bieżących współrzędnych.

Struktura z rys. 3 przewiduje, że większa część danych liczbowych o pracy systemu określana jest przez operatora koparki na podstawie jego doświadczenia fachowego. W przypadku sterowania współrzędnego mogą to być: liczba warstw (m), wysokość (h_i) oraz liczba wstęg (n_i) dla każdej warstwy; grubość wstęg t_{oi} wzdłuż osi ruchu koparki dla każdej warstwy; kąty pionowe $\beta(i)$ dla każdej warstwy lub ich równoważne przesunięcia liniowe (l_i); ruch koparki od tyłu (m_i) przy przejściu z j-dnej warstwy do drugiej; ruch koparki do przodu (m_o) przy przejściu z jednego bloku do drugiego. Przy sterowaniu współrzędno-obwodowym współrzędne punktów oporowych zadaje się jako dyskretną funkcję $z_{\gamma l}(x_\gamma, y_\gamma)$ w nieruchomym układzie współrzędnych (x,y,z). Każda trójka $x_\gamma, y_\gamma, z_\gamma$ stanowi współrzędne γl - tego punktu oporowego z zadawanej powierzchni, przy czym γ i l są odpowiednio numerami poprzecznych i podłużnych rzędów punktów oporowych.

Subiektywizmu przy zadawaniu wartości parametrów technologicznych można uniknąć poprzez wcześniejszą optymalizację ważniejszych parametrów przy zadanym kryterium sterowania. Opracowano na przykład algorytmy optymalizacji parametrów h_i, t_{oi} oraz szerokość wióru b_i, zapewniające maksymalną wydajność techniczną przy maksymalnych dopuszczalnych przyspieszeniach dla mechanizmów oraz maksymalnych możliwych prędkościach wirnika [1]. Optymalizują one funkcję

$$Q_{max} = \frac{V_\sigma}{\sum \tau} = \frac{H.B.T}{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n_i-1} \tau_{lij} + \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n_i} \tau'_{nij} + \sum_{i=1}^{m} \tau''_{ni} + \tau_n},$$

gdzie:

V_σ - ogólna objętość bloku,

$\sum \tau$ - sumaryczny czas jego obróbki,

H,B,T - odpowiednio zadane wysokość, szerokość oraz długość bloku,

τ_{lij} - czas potrzebny dla obróbki jednej wstęgi,

τ'_{nij} - czas na przejście z jednej wstęgi do drugiej,

τ''_{ni} - czas na przejście z jednej warstwy do drugiej,

τ_n - czas na przejście z jednego bloku do drugiego.

Podobne algorytmy są związane z dużym nakładem pracy obliczeniowej, wskutek czego wymagają realizacji na dużej maszynie cyfrowej, ulokowanej w naukowym centrum lub w systemie sterowania operatywnego. Ale nawet przy takiej organizacji procesu obliczeniowego struktury z ZUP nie zawsze mogą zapewnić niezbędną rozdzielczość (0,002 - 0,001 w stosunku do zakresu zmian współrzędnych). Podstawowymi przyczynami są: brak odczytu przesunięcia koparki względem obliczonego położenia w układzie (x,y,z); niemożliwość dokładnego zatrzymania OW; duże opóźnienie, z którym są wprowadzane zalecane przez maszynę cyfrową sygnały sterujące. Dążenie do zwiększenia dokładności SCSP KW doprowadziło do włączenia do nich SUD.

5. Systemy ze specjalizowanymi urządzeniami obliczeniowymi

Zasady budowania tych systemów są uwzględnione w strukturze pokazanej na rys. 4 [1], która zawiera pięć specjalizowanych urządzeń obliczeniowych (SUO1 ÷ SUO5). W ogólnym przypadku liczba tych urządzeń, jak też istnienie urządzenia dla orientacji (UO) oraz operacyjne urządzenie pamięci (OUP) zależy od liczby i rodzaju obliczanych funkcji zlecanych systemowi. UO mierzy przesunięcia koparki w stosunku do nieruchomego układu współrzędnych, a OUP tymczasowo zapamiętuje niektóre z obliczonych wartości niezbędne do dalszej pracy systemu. Na wejście SUO podaje się zaprogramowane wielkości z ZUP, wielkości bieżące z SS, a niekiedy i zmierzone wielkości z UO, zapamiętane

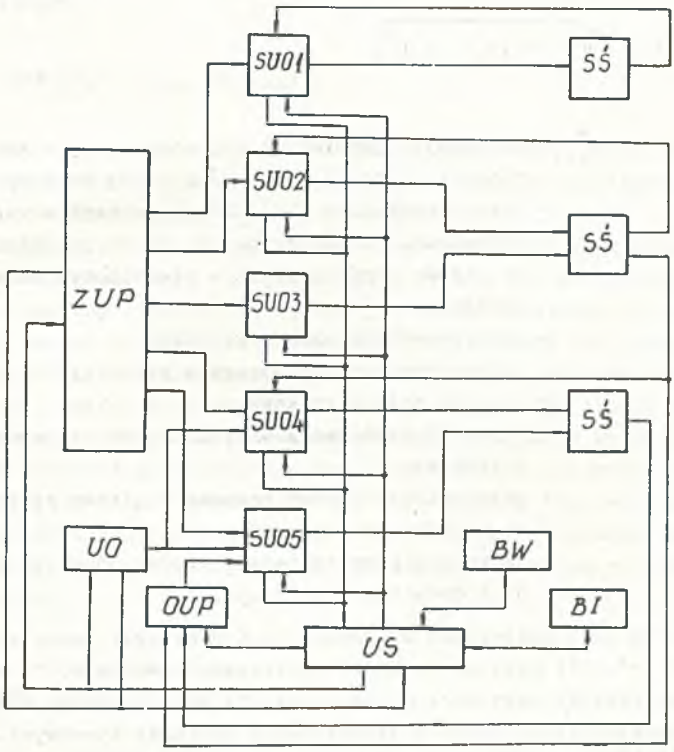
przez OUP. Na ich wyjściu otrzymuje się wyskalowane napięcie, odpowiadające obliczonej funkcji, które podaje się na wejście SS lub innego urządzenia obliczeniowego.

W danym przypadku SUO1 określa sygnał sterujący SS, zadane opóźnienie ε_z, rzeczywisty kąt obrotu $\Delta\alpha_{ost}$ od momentu zadania $\Delta\alpha_z$, rzeczywistą prędkość obracania wysięgnika ω. Przy sterowaniu według prędkości realizuje ono funkcję

$$f_\omega = \sqrt{2\varepsilon_z \Delta\alpha_{ost}} - \omega,$$

a przy sterowaniu według kąta

$$f_\varphi = \frac{\omega^2}{2\varepsilon_z} - \Delta\alpha_{st}.$$



Rys. 4. Zasada budowy systemów ze specjalizowanymi urządzeniami obliczeniowymi

Fig. 4. A principle of design for systems with specialized computing equipment

Analogiczne funkcje poleca się również SUO2, co określa sygnał sterujący dla SS dla ruchu bazy na podstawie t_{oi}, ω, zadanego opóźnienia ω_z i rzeczywistej drogi Δx, którą przeszła koparka.

SUO3 jest przeznaczony do obliczania kątów obrotu wysięgnika w ruchomym układzie współrzędnych (x', y', z') według wzorów

$$\alpha_{pij} = \arcsin \frac{y_{Dpi}}{\rho_i}; \quad \alpha_{kij} = \arcsin \frac{y_{Dki}}{\rho_i}; \quad \alpha^*_{kij} = \arcsin \frac{y^*_{Dki}}{\rho_i};$$

$$y_{Dpi} = D_{pi} - y_o - \sqrt{\rho_i^2 - (D_{pi} - y_o)^2}\,(\Psi+\varphi) + z_i\Theta\cos\varphi;$$

$$y_{Di} = D_{ki} - y_o; \qquad y^*_{Di} = D^*_{ki} - y_o;$$

$$\rho_i = R + e + \sqrt{L^2 - (z_i - z_o)^2},$$

gdzie:

α_{pij}, α_{kij} i α^*_{kij} oznaczają odpowiednio kąt początkowy i końcowe poziome kąty dla j-tej wstęgi i-tej warstwy;

D_{pi} - jest szerokością wewnętrznego skrzydła warstwy;

y_o, z_o - odpowiednio współrzędne y i z początku ruchomego układu współrzędnych w nieruchomym układzie współrzędnych;

ρ_i - promień-wektor obrotu wirnika;

z_i - zadana wysokość podnoszenia wirnika;

R - promień koła wirnikowego;

e - mimośród wysięgnika w stosunku do osi obracania się platformy;

Ψ, φ, Θ - przesunięcia kątowe koparki względem zaprogramowanego położenia w przodku;

D_{ki}, D^*_{ki} - szerokość żewnętrznego skrzydła odpowiednio z ujemną i dodatnią tolerancją.

Zadaniem SUO4 jest obliczanie za pomocą UO trajektorii ruchu wirnika w układzie (x', y', z') przy sterowaniu współrzędno-obwodowym. Ze względu na nieduże zmiany reliefu oraz małe przesunięcia kątowe ruchomego układu współrzędnych do określenia odległości między dwoma punktami oporowymi, zadowalającą dokładność zapewnia interpolacja liniowa, tzn.

$$z = z_\gamma\lambda + \frac{x^o - x_\gamma}{x_{\gamma+1} - x_p}(z_{\gamma+1,\lambda} - z_{\gamma,\lambda}) + \frac{y^o - y_\gamma}{y_{\gamma+1} - y_\gamma}(z_{\gamma+1,\lambda} - z_{\gamma,\lambda}) +$$

$$+ \frac{(x^o - x_\gamma)(y^o - y_\gamma)}{(x_{\gamma+1} - x_\gamma)(y_{\gamma+1} - y_\gamma)}(z_{\gamma+1,\lambda+1} - z_{\gamma+1,\lambda}\ z_{\gamma,\lambda+1} + z_{\gamma,\lambda},$$

gdzie: $x^o = x_o + R\cos\varphi$ i $y^o = y_o + R\sin\varphi$ są odpowiednio odcięta i rzędna centrum wirnika w układzie (x,y,z).
Współrzędna z centrum wirnika w ruchomym układzie współrzędnych jest:

$$z^o = Z + R - z_o - R\Theta\sin(\alpha-\Psi).$$

SUO5 określa za pomocą UD i OUP wysokość podnoszenia wirnika przy sterowaniu współrzędnym ze względu na uniknięcie wtargnięcia wirnika do górnej części dolnej warstwy na głębokość większą niż dopuszczalna Δz_{dop}. W tym celu współrzędne dwóch punktów końcowych z ostatniej wstęgi każdej warstwy poprzedniego bloku są przetwarzane z układu (x', y', z') w układ (x,y,z). Większą z dwóch otrzymanych aplikat t_{ini} porównuje się z zadaną wysokością podnoszenia wirnika z_i. Poszukiwana wysokość podnoszenia wirnika w układzie (x,y,z) jest

$$z_i^* = \max\left[z_i, (z_{ini} - \Delta z_{dop})\right].$$

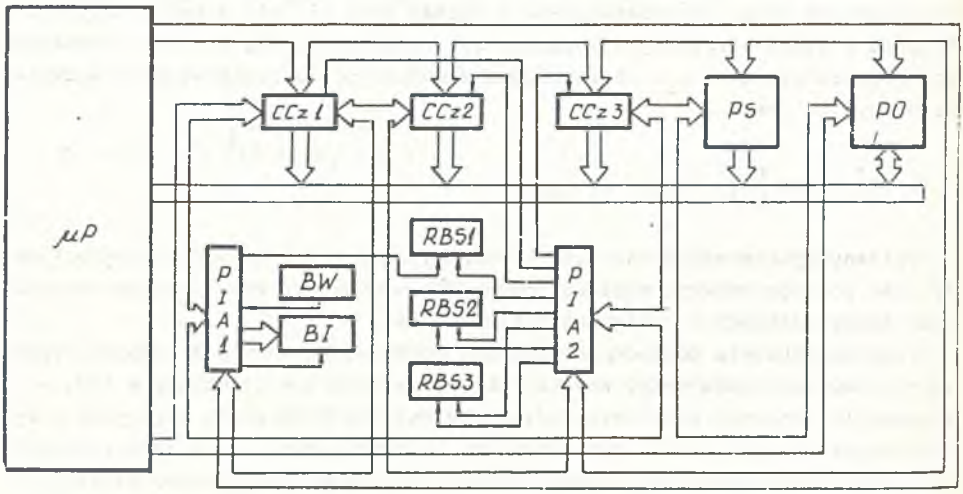
Opisany system należy do klasy SUO.SAl.OTr.ZOP.ZKSP. Przy zmianie liczby oraz rodzaju funkcji obliczeniowych łatwo mogą być zrealizowane również inne klasy systemów z obliczaniem trajektorii.

Przy zwiększaniu dokładności obróbki poszczególnych współrzędnych struktury z SUO zachowują wady, którymi charakteryzują się struktury z ZUP, a mianowicie: znaczny czas obliczeń, odchylenia od pożądanego algorytmu w wyniku dopuszczonych błędów subiektywnych, skomplikowana realizacja techniczna z wykorzystaniem zbioru specjalizowanych bloków o stosunkowo niskiej niezawodności. Oprócz tego realizacja aparaturowa dużej liczby dokładniejszych algorytmów sterowania programowego wymaga dalszego komplikowania SUO i US, a więc również powiększania czasu opracowania, gabarytów, zużywanej mocy, i zmniejszenia niezawodności. Dlatego następny etap wprowadzania środków techniki obliczeniowej w SCSP KW można określić jako skupienie funkcji obliczeniowych oraz sterujących w uniwersalnym urządzeniu programowanym - mikroprocesorze.

6. Systemy mikroprocesorowe

Badania te wykonano w związku z potrzebą polepszenia wskaźników techniczno-ekonomicznych rodziny koparek wirnikowych, w produkcji których LR Bulgaria specjalizuje się w ramach RWPG. Na ich podstawie w Wyższej Szkole Technicznej im. A. Kynczewa w Russe opracowano system mikroprocesorowy (μPS) dla programowego sterowania koparek wirnikowych, w skład którego wchodzą: mikroprocesor (μP), pamięć stała (PS), pamięć operacyjna (PO), dwa peryferyjne interface'y dopasowujące (PIA1 i PIA2), blok wprowadzania (BW), blok

indykacji (BI), cyfrowe czujniki (CCz1 - CCz3) odpowiednio dla kąta obrotu platformy, ruchu koparki i pionowego przesunięcia, rewersyjne bloki sterowania (RBS1 - RBS3) odpowiednio dla silnika obracania, ruchu oraz przesunięcia. W zasadzie podstawową część systemu mikroprocesorowego (μP, PS, PO, PIA1, PIA2, BW i BI) stanowi standardowy mikrokomputer. Wykonanie go z układów scalonych przy braku ruchomych części gwarantuje wysoką niezawodność przy ciężkich warunkach pracy koparki. Wmontowanie go w system sprowadza jego projektowanie do projektowania peryferii, połączenia go z podstawową częścią oraz odpowiedniego oprogramowania.



Rys. 5. Mikroprocesorowy system programowego sterowania koparek wirnikowych
Fig. 5. Microprocessor programming system for control of rotary excavator

Na rys. 5, na przykład PIA1 wykorzystuje się do sterowania programowego BW, BI i RBS1, a PIA2 - czujników oraz bloków rewersyjnych. Do tego celu drugie sterowane programowo wyjście PIA1 jest połączone z jednym wejściem rewersyjnego bloku sterowania silnika obracania. Obydwa programowo sterowane wyjścia PIA2 są połączone odpowiednio z pierwszymi wejściami RBS2 i RBS3. Trzy szyny z jednego kanału tego samego interface'u są połączone z wejściami zerującymi bloków rewersyjnych sterowania silnikami. Wejścia adresowe i sterujące oraz wyjścia informacyjne czujników cyfrowych są połączone z jednoimienną magistralą μP. Przy czujnikach analogowych jest potrzebny przetwornik analogowo-cyfrowy z trójkanałowym multiplekserem.

Jedno z dwóch wejść każdego bloku rewersyjnego służy do zadawania stanu silnika (załączone - wyłączone), a drugie - dla kierunku ruchu (na prawo - na lewo, do przodu - do tyłu, do góry - w dół). Przy pozycjonowaniu, po włączeniu silników w odpowiednim kierunku z czytaniem cyklicznym z czujników,

μP śledzi czy współrzędna bieżąca już stała się równa zaprogramowanej żeby wyłączyć silnik.

Najważniejszym szczegółem organizacji procesu obliczeniowego w takim systemie jest jego przebieg w czasie rzeczywistym. W związku z istnieniem pamięci 64 k można w niej przechowywać równocześnie dużą ilość skomplikowanych algorytmów do realizacji różnych technologicznych schematów, włącznie z optymalizacją technologicznych parametrów oraz obliczeniem trajektorii. Jeden z takich algorytmów z półautomatycznym wprowadzaniem danych wejściowych i pracą z jednorzędowymi wiórami jest opisany szczegółowo w [7, 8]. Przed rozpoczęciem procesu kopania w stanie wyczekiwania μP-ra, operator koparki stawia koło wirnikowe kolejno w pożądanych końcowych punktach (B,C, D,A). Do każdego punktu podaje on sygnał, według którego wartości kątów poziomych (α_B, α_C, α_D i α_A) i pionowych (β_B i β_A) z wyjść na CCz1 i CCz3 zapisuje się w PO. Czytając parametry konstrukcyjne z PS, μP oblicza technologiczne parametry pracy:

- wysokość przodka $H = f_1(\beta_A) + H_z - R$;
- liczba wstęg N=i, jeśli $(i-1)h_{max} \leqslant H \leqslant ih_{max}$;
- wysokość jednej wstęgi $h = H/N$;
- kąty pionowe $\beta(i) = f_3(i,h)$, $1 \leqslant i \leqslant N$;
- szerokość początkowych skrzydeł

$$D_p(i) = f_4(\beta_{min},\alpha_D) - (i-1)\left[f_4(\beta_{min},\alpha_D) - f_4(\beta_A,\alpha_A)\right]/N, \quad 1 \leqslant i \leqslant N;$$

- początkowe kąty poziome

$$\alpha_p(i) = f_5(\beta(i), D_p(i)), \quad 1 \leqslant i \leqslant N;$$

- szerokość skrajnych skrzydeł

$$D_k(i) = f_4(\beta_B, \alpha_B) - (i-1)\left[f_4(\beta_B,\alpha_B) - f_4(\beta_{min},\alpha_C)\right]/N, \quad 1 \leqslant i \leqslant N;$$

- skrajne kąty poziome $\alpha_k(i) = f_5(\beta(i), D_k(i))$;
- ruch do tyłu $m(i) = R + f_2\left[\beta(i) - \beta(i+1)\right]$, $1 \leqslant i \leqslant N-1$;
- ruch do przodu $m_o = \sum_{i=1}^{N-1} m(i) + t$;

gdzie:

i - kolejny numer wstęgi;
h - wysokość wstęgi;
α - poziomy kąt obrotu platformy;
D - szerokość skrzydła;
t - grubość wióru wzdłuż osi ruchu koparki.

W pamięci stałej są zadane tabelarycznie funkcje potrzebne do obliczenia parametrów technologicznych:

$$f_1(\beta) = L \sin\beta;$$

$$f_2(\beta) = L \cos\beta;$$

$$f_3(i,h) = \arcsin\left[(i-1)h + (R-Hz)/L\right];$$

$$f_4(\beta,\alpha) = \sin\alpha(L\cos\beta + E);$$

$$f_5(\beta,D) = \arcsin\left[D/(L\cos\beta + E)\right],$$

gdzie L jest długością wysięgnika koparki.

W taki sposób zmniejsza się czas i błędy subiektywne przy wprowadzaniu danych wejściowych w systemie. Mikroprocesorowa baza elementowa umożliwia budowanie również systemów z automatycznym wyborem algorytmów, uniwersalnych w stosunku do rodziny koparek wirnikowych, tzn. z klasy μPS.AA1. Po uzupełnieniu odpowiednimi urządzeniami peryferyjnymi, w czasie w którym nie dobywa się pozycjonowanie koparki, podstawową część systemu można wykorzystać do automatycznego sterowania wydajności, odczytu wskaźników pracy koparki, kontroli oraz diagnostyki mechanizmów, jak też całego systemu.

Więc μPS do programowego sterowania koparek wirnikowych nie tylko przewyższa pod względem charakterystyk techniczno-ekonomicznych systemy z ZUP i SUO, ale stanowi ogniwo do wbudowania w system automatyzacji kompleksowej kopalni odkrywkowej.

7. Wnioski

Na podstawie specyficznych właściwości koparki wirnikowej jako obiektu sterowania zaproponowano klasyfikację SCSP KW. Dokonano analizy porównawczej GF - systemów z ZUP, ze specjalizowanymi urządzeniami obliczeniowymi oraz systemów mikroprocesorowych. Opisano cechy szczególne μPS dla programowego sterowania koparek wirnikowych, opracowanego w Wyższej Szkole Technicznej im. A. Kynczewa w Russe.

LITERATURA

[1] Акутин Г.К., Яснопольский В.В. и др.: Программное управление роторными экскаваторами. Киев, Техніка, 1968.

[2] Акутин Г.К., Франко Р.Т. и др.: Программное управление карьерными горнодобивающими машинами непрерывного действия. Сборник трудов Киевского института автоматики, 1976.

[3] Акутин Г.К., Яснопольский В.В. и др. Числовая сисвема программного управления роторными экскаваторами. Сборник трудов Киевского итститута автоматики, 1976.

[4] Ветрова С.В.: Исследование следящих систем для устройства контроля границ и раздела пород. Сборник трудов Киевского института автоматики, 1976.

[5] Витковский В.А., Попенко В.И. и др. Устройство, управление и задания координат системы программного управления роторными экскаваторами. Сборник трудов Киевского института автоматики, 1976.

[6] Ел. обзавеждане и автоматизация на фамилия роторни багери с производителност 250-1800 m^3/h. Стчет по тема 820/21 етап П-2.1 , ВТУ "А. Кънчев", Русе.

[7] Нанев С., Желязкова И., Билчев С. и др.: Апаратно осигуряване на микропроцесорна система за автоматично управление на роторни багери. Автоматика, изчислителна техника и автоматизирани системи, 1985, кн. 1.

[8] Нанев С., Желязкова И., Стоянова С. и др. Алгоритъм за работа на микро процесорна система за автоматично управление на роторни багери. Автоматика, изчислителна техника и автоматизирани системи, 1986, кн. 3.

[9] Мончилов Е.Й.: Исследование технологических условий программного управления вскрышными экскаваторами с выдвижной стрелой на примере карьера "Трояново-2", НР Болгария . Автореферат кандидатской диссертации, М., 1974.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zdzisław Trybalski

Wpłynęło do Redakcji 28.07.86 r.

СИСТЕМЫ ЦИФРОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ РОТОРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Р е з ю м е

В статье рассмотрены специфические свойства роторного экскаватора как объекта управления. Дана классификация системы цифрового программного управления роторных экскаваторов (СЦПУ РЭ). Согласно этой лклассификации представлены основы организации структуры а также расчётного процесса в СЦПУ РЭ с невысовывающимся плечём. Дан также сравнительный анализ систем с устройствами внешней памяти, со специаллизированными расчётными устройствами а также микропроцессорных систем. Описаны структурные и алгоритмические особенные свойства микропроцессорной системы для программного управления роторных экскаваторов, разработанной Вузом им. А. Кънчева в Руссэ (Болгария).

SYSTEMS OF DIGITAL PROGRAM CONTROL OF ROTARY EXCAVATOR

S u m m a r y

In the paper specific properties of the rotary excavator as the controlled plant are considered. Classification of digital systems of rotary excavator control is made. The organization principles of hardware and software for these systems are presented for excavators with extension arm not turning out. The comparison analysis for systems with external memory devices, specialized computational devices and microprocessor systems is performed. Hardware and software features of the microprocessor system for control of rotary excavators are described. They were worked out in the Politechnic School in Russe in Bulgarian People s Republic.