

Zrobotyzowana technologia montażu uchwytów nożowych na organach roboczych górnictwowych maszyn urabiających

W artykule przedstawiona została problematyka robotyzacji procesu montażu uchwytów nożowych na pobocznicy organów roboczych maszyn urabiających stosowanych w górnictwie. Opracowane w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej stanowisko montażowe umożliwia automatyzację procesu wytwarzania organów roboczych maszyn urabiających o stereometrii zaprojektowanej dla indywidualnych warunków eksploatacyjnych. Rozwiązanie techniczne oraz technologia cechują się tu dużą elastycznością i uniwersalnością, eliminując przy tym wady stosowanych dotychczas stanowisk montażowych.

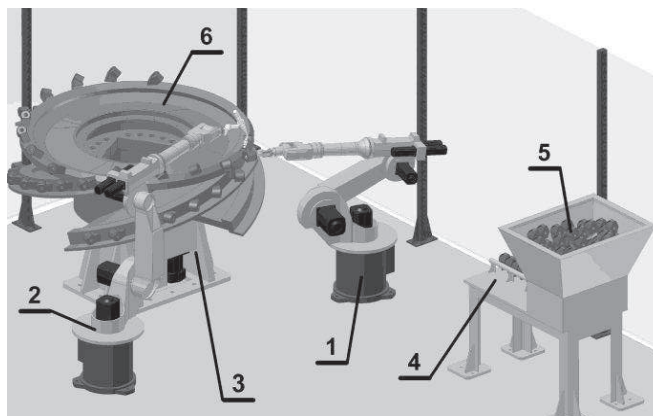
1. WPROWADZENIE

Stałe poszukiwanie nowych, coraz bardziej nowoczesnych rozwiązań technicznych i technologicznych leży u podstaw innowacyjności gospodarki oraz przyczynia się do wzrostu konkurencyjności polskich firm na rynku światowym. Dotyczy to także górnictwa surowców energetycznych, mineralnych i skalnych oraz produkującego na jego potrzeby przemysłu maszynowego. Wykorzystanie nowoczesnych środków oraz metod wytwarzania maszyn górniczych oraz ich podzespołów jest bowiem jednym z podstawowych warunków zapewnienia wysokiej skuteczności i efektywności ich działania oraz trwałości i niezawodności podczas eksploatacji w trudnych warunkach środowiskowych towarzyszących realizacji procesów górniczych.

Jedną z podstawowych grup maszyn stosowanych w robotach górniczych są maszyny urabiające. W górnictwie podziemnym węgla kamiennego oraz innych minerałów o podobnych do węgla właściwościach rolę tę pełnią kombajny ścianowe oraz kombajny chodnikowe. Zasadniczym procesem roboczym realizowanym przez tego rodzaju maszyny jest urabianie skały, dzięki czemu możliwe jest udostępnienie i przygotowanie złoża do eksploatacji – w przy-

padku maszyn urabiających przeznaczonych do drążenia wyrobisk korytarzowych (kombajnów chodnikowych) oraz zmechanizowane wybieranie kopaliny użytecznej – w przypadku maszyn stosowanych w robotach eksploatacyjnych (kombajnów ścianowych, kombajnów Continuous Mine itp.). Proces ten realizowany jest powszechnie na zasadzie skrawania organami roboczymi wyposażonymi w noże (najczęściej styczne obrotowe) osadzone w uchwytach przyspawanych do pobocznicy tych organów [7, 9, 10]. Stereometria organów roboczych górniczych maszyn urabiających, a więc liczba oraz sposób rozmieszczenia i ustawienia uchwytów nożowych ma przy tym istotny wpływ na przebieg procesu urabiania skał determinujący możliwość uzyskania wysokich wydajności przy jak najmniejszych kosztach. Ze względu na złożoność zjawisk towarzyszących skrawaniu skał, proces projektowania organów roboczych maszyn urabiających wspomagany jest narzędziami komputerowymi. Zastosowanie mają tu dedykowane programy komputerowe zintegrowane najczęściej z programami CAD. Dzięki komputerowej symulacji procesu urabiania możliwa jest optymalizacja układu noży i dostosowanie jej do warunków eksploatacyjnych maszyny urabiającej [4, 6].

Proces produkcyjny wyrobów obejmuje wszelkie działania niezbędne do ich wytworzenia. Zasadniczą



Rys. 1. Konfiguracja zrobotyzowanego stanowiska do montażu uchwytnów nożowych na poboczniczy organu roboczego maszyny urabiającej
 1 – robot pozycjonujący, 2 – robot spawalniczy, 3 – pozycjoner poboczniczy,
 4 – zasobnik uchwytnów nożowych, 5 – uchwytny nożowy, 6 – kadłub (pobocznicza) organu roboczego (tu: organu urabiającego kombajnu ścianowego)

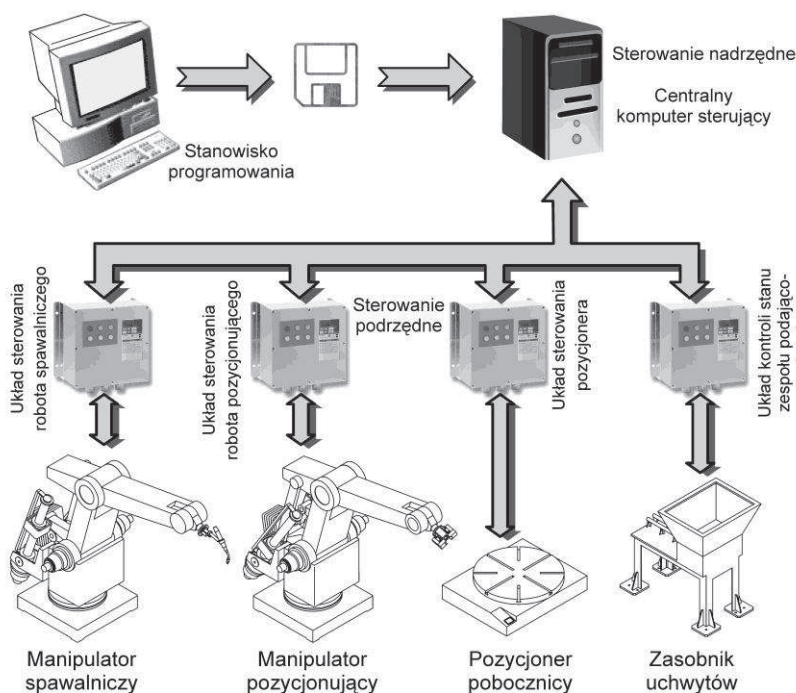
częścią tego procesu jest przy tym proces technologiczny, na który składa się szereg operacji, zabiegów i czynności [5]. Podstawową operacją technologiczną w procesie wytwarzania organów roboczych maszyn urabiających jest montaż uchwytnów nożowych. Polega on na umieszczeniu, zgodnie z opracowaną na etapie projektowania dokumentacją techniczną, uchwytnów nożowych w odpowiednim miejscu poboczniczy, odpowiednim przestrzennym ustawieniu oraz ich wstępnym zamocowaniu (szepieniu) do tej poboczniczy. Ze względu na dużą różnorodność konstrukcji organów roboczych maszyn urabiających (szczególnie w zakresie ich kształtu, wielkości oraz układów noży), konwencjonalne stanowiska montażowe wymagają w wielu wypadkach konieczności stosowania różnego oprzyrządowania dostosowanego do konkretnej ich stereometrii. Proces montażu uchwytnów nożowych cechuje się przy tym dużą pracochłonnością, wymaga wysokich kwalifikacji zawodowych obsługi, szczególnej uwagi oraz stałej kontroli poprawności realizacji tego procesu. Nie gwarantuje to przy tym często możliwości uzyskania wymaganej dokładności oraz powtarzalności wykonania organów roboczych maszyn urabiających.

Opracowane w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej w Gliwicach zrobotyzowane stanowisko eliminuje wady stosowanych dotychczas stanowisk montażowych.

2. KONFIGURACJA ZROBOTYZOWANEGO STANOWISKA MONTAŻOWEGO

Konfiguracja wyposażenia technicznego zrobotyzowanego stanowiska montażowego uchwytnów no-

żowych na poboczniczy organów roboczych górniczych maszyn urabiających – głowic urabiających kombajnów chodnikowych oraz organów urabiających kombajnów ścianowych będzie podobna. Parametry techniczne zastosowanego wyposażenia (nośność, zasięg oraz sposób jego rozmieszczenia w przestrzeni stanowiska) dostosowane muszą być jednak do wielkości organów roboczych, które mają być na tym stanowisku wytwarzane (zakładanego zakresu zmienności wymiarów gabarytowych i masy poboczniczy oraz wielkości i masy przewidzianych do montażu uchwytnów nożowych). Zrobotyzowane stanowisko do montażu uchwytnów nożowych na poboczniczy organów roboczych maszyn urabiających wyposażone przy tym jest w (rys. 1): manipulator pozycjonujący (1) posiadający chwytak, manipulator spawalniczy (2), pozycjoner poboczniczy organu roboczego maszyny urabiającej (3) oraz zasobnik uchwytnów nożowych (4). Zasobnik uchwytnów nożowych wyposażony jest w zespół podająco-pozycjonujący, którego zadaniem jest ustawianie kolejnych uchwytnów nożowych (5) magazynowanych w zasobniku w odpowiednim położeniu wyjściowym w miejscu, z którego są one pobierane przez chwytak manipulatora pozycjonującego. Manipulator ten służy tu do ustawiania uchwytnów nożowych pobieranych z zasobnika w odpowiedni sposób na poboczniczy organu roboczego maszyny urabiającej (6). Zadaniem pozycjonera (3) jest przy tym obracanie tą poboczniczą, tak aby możliwe było umieszczenie poszczególnych uchwytnów nożowych w miejscu określonym w dokumentacji technicznej. Manipulator spawalniczy (2) przeznaczony jest z kolei do szepienia ustawionych przez manipulator pozycjonujący uchwytnów nożowych z poboczniczą organu roboczego maszyny urabiającej przed ich ostatecznym przyspawaniem.



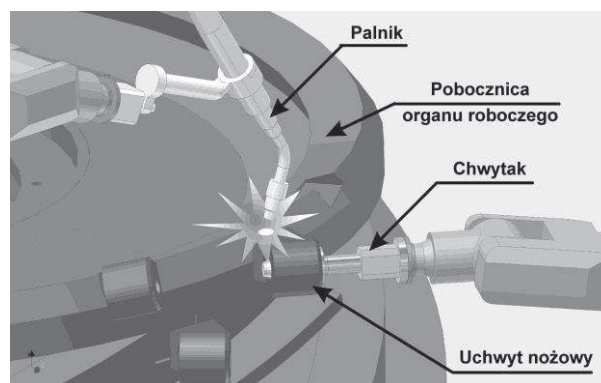
Rys. 2. Struktura układu sterowania zrobotyzowanego stanowiska do montażu uchwytów nożowych

Realizacja poszczególnych czynności składających się na operację montażu uchwytów nożowych w odpowiedniej kolejności oraz w odpowiedni sposób możliwa jest dzięki integracji wszystkich elementów systemu w sferze sterowania o hierarchicznej strukturze (rys. 2). Sterownik nadrzędny (centralny komputer sterujący) sprzężony jest sygnałowo ze sterownikami podrzędnymi sterującymi pracą manipulatorów, pozycjonera oraz zespołu podająco-pozycjonującego zasobnika uchwytów nożowych. Komputer centralny pełni przy tym rolę koordynatora działań realizowanych przez poszczególne urządzenia rozpatrywanego tu systemu. Komunikacja pomiędzy sterownikiem nadrzędnym i sterownikami podrzędnymi jest dwukierunkowa. Realizowana jest ona najczęściej poprzez szybkie magistrale szeregowo [8].

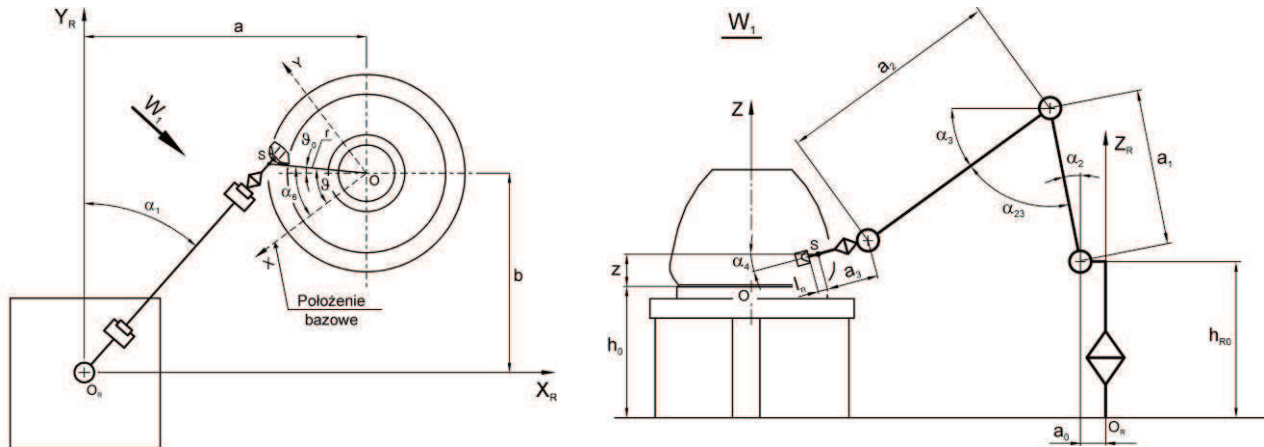
3. STEROWANIE ZROBOTYZOWANYM STANOWISKIEM MONTAŻOWYM

Istota pracy omawianego tu stanowiska montażowego sprowadza się do realizacji, dla kolejnych uchwytów nożowych, sekwencji pewnych czynności technologicznych. Manipulator pozycjonujący pobiera uchwyt nożowy z zasobnika za pomocą dedykowanego chwytaka, a następnie umieszcza go w żądanym miejscu pobocznicą w określony sposób. Zanim chwytak zostanie ustawiony w pozycji końcowej, tarcza pozycjonera, na której posadowiona jest pobocznica organu roboczego maszyny urabiającej

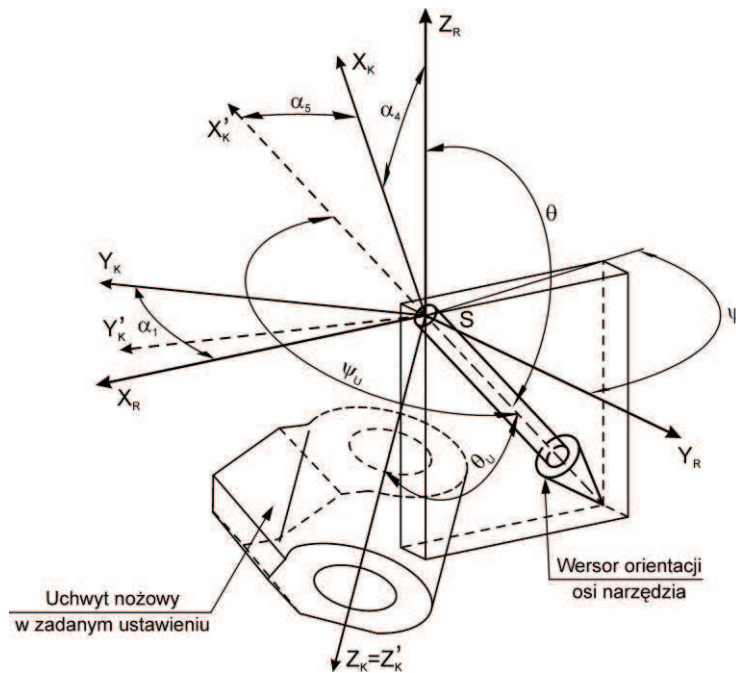
obracana jest do położenia wynikającego z przypisanych temu uchwytowi wartości parametrów stereometrycznych. Szczepienie danego uchwytu nożowego z pobocznicą realizowane jest przy tym z wykorzystaniem robota spawalniczego wyposażonego w palnik aparatu spawalniczego (rys. 3). Pozycjonowanie oraz orientowanie narzędzi roboczych manipulatorów (chwytaka robota pozycjonującego oraz palnika robota spawalniczego) oraz pozycjonowanie pobocznic za pomocą pozycjonera dla poszczególnych uchwytów nożowych podczas ich ustawiania na pobocznicę organu roboczego maszyny urabiającej realizowane jest z wykorzystaniem odpowiedniego programu użytkowego. Wartości argumentów instrukcji pozycjonowania narzędzi manipulatorów oraz tarczy pozycjonera wyznaczone są przy tym z wykorzystaniem adekwatnych funkcji przejścia wiążących współrzed-



Rys. 3. Proces szczepiania uchwytu nożowego z pobocznicą organu roboczego maszyny urabiającej



Rys. 4. Model kinematyczny manipulatora robota pozycjonującego



Rys. 5. Sposób definiowania orientacji przestrzennej chwytaka manipulatora robota pozycjonującego stanowiska do montażu uchwytów nożowych

ne konfiguracyjne (opisujące ustawienie poszczególnych członów roboczych manipulatorów oraz tarczy pozycjonera) z parametrami stereometrycznymi organu roboczego. Określenie matematycznej postaci poszukiwanych funkcji sprowadza się do rozwiązania zadania kinematyki odwrotnej, w którym danymi są parametry stereometryczne organu roboczego maszyny urabiającej (współrzędne wierzchołków ostrzy noży związanych z poszczególnymi uchwytami nożowymi w układzie walcowym: r , z i θ oraz kątów definiujących przestrzenne ustawienie uchwytów: ε , δ i Θ [3]), szukanymi zaś – kąty konfiguracyjne manipulatora. Pomocny jest w tym model kinematyczny opisujący zależność pozycji zewnętrznej narzędzia w bazowym układzie odniesienia oraz pozycji wewnętrznej określającej

położenie poszczególnych osi robota [8]. W rozważanym tu przypadku punkt centralny narzędzia manipulatora pozycjonującego pokrywa się z wierzchołkiem ostrza noża związanego z danym uchwytem nożowym (punktem S na rys.4). Argumentami instrukcji pozycjonowania są współrzędne punktu centralnego narzędzia w bazowym układzie odniesienia oraz kąty definiujące jego orientację przestrzenną w tym układzie współrzędnych. Wartości tych parametrów wynikają przy tym z ustawienia w przestrzeni poszczególnych członów roboczych manipulatora określonego za pomocą kątów konfiguracyjnych. W przypadku manipulatora pozycjonującego o konfiguracji przegubowej, o pięciu stopniach swobody (rys. 4 i 5), poszukiwane funkcje przyjmują więc następującą postać [1]:

- współrzędne punktu centralnego chwytaka w bazowym układzie odniesienia robota $X_R Y_R Z_R$:

$$\begin{cases} X_S(r, z, \vartheta, \varepsilon, \delta) = (a_0 + a_1 \cdot \sin \alpha_2 + a_2 \cdot \cos \alpha_3 + a_3 \cdot \cos \alpha_4) \cdot \sin \alpha_1 \\ Y_S(r, z, \vartheta, \varepsilon, \delta) = (a_0 + a_1 \cdot \sin \alpha_2 + a_2 \cdot \cos \alpha_3 + a_3 \cdot \cos \alpha_4) \cdot \cos \alpha_1 \\ Z_S(r, z, \vartheta, \varepsilon, \delta) = h_{R0} + a_1 \cdot \cos \alpha_2 - a_2 \cdot \sin \alpha_3 - a_3 \cdot \sin \alpha_4 \end{cases} \quad (1)$$

- parametry orientacji narzędzia – kąt nutacji θ i precesji ψ (rys. 5):

$$\begin{cases} \theta(\varepsilon, \delta, \Theta) = \arccos [\sin \theta_N \cdot \cos(\psi_N - \alpha_5) \cdot \cos \alpha_4 - \cos \theta_N \cdot \sin \alpha_4] \\ \psi(r, \varepsilon, \delta, \Theta) = \arcsin \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sin \theta_N \cdot \sin(\psi_N - \alpha_5) \cdot \cos \alpha_1 +}{\sqrt{b_0^2 + c_0^2}} + \\ - \frac{[\cos \theta_N \cdot \cos \alpha_4 + \sin \theta_N \cdot \cos(\psi_N - \alpha_5) \cdot \sin \alpha_4] \cdot \sin \alpha_1}{\sqrt{b_0^2 + c_0^2}} \end{array} \right\} \end{cases} \quad (2)$$

- kąt obrotu tarczy pozycjonera, określający bieżące jej ustawienie:

$$\alpha_6 = \vartheta - \vartheta_0 \quad (3)$$

przy czym wartości kątów konfiguracyjnych opisane są w sposób następujący:

$$\alpha_1 = \delta_0 + \vartheta_0 \quad (4)$$

$$\alpha_2 = \arcsin \left(\frac{C - a_2 \cdot \cos \alpha_3}{a_1} \right) \quad (5)$$

$$\alpha_4 = \arcsin(\sin \varepsilon \cdot \cos \delta) \quad (6)$$

$$\alpha_5 = -\Theta \quad (7)$$

Wartość kąta α_3 jest z kolei rozwiązaniem równania kwadratowego:

$$\left(C + \frac{a_2^2 - a_1^2 + C^2 + D^2}{2 \cdot a_2} \right) \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{1}{2} \alpha_3 \right) + 2D \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{1}{2} \alpha_3 \right) - \left(C - \frac{a_2^2 - a_1^2 + C^2 + D^2}{2 \cdot a_2} \right) = 0 \quad (8)$$

oraz

$$C = \frac{a - r \cdot \cos \vartheta_0}{\sin \alpha_1} - a_0 - a_3 \cdot \cos \alpha_4; \quad D = h_0 - h_{R0} + z + a_3 \cdot \sin \alpha_4 \quad (9)$$

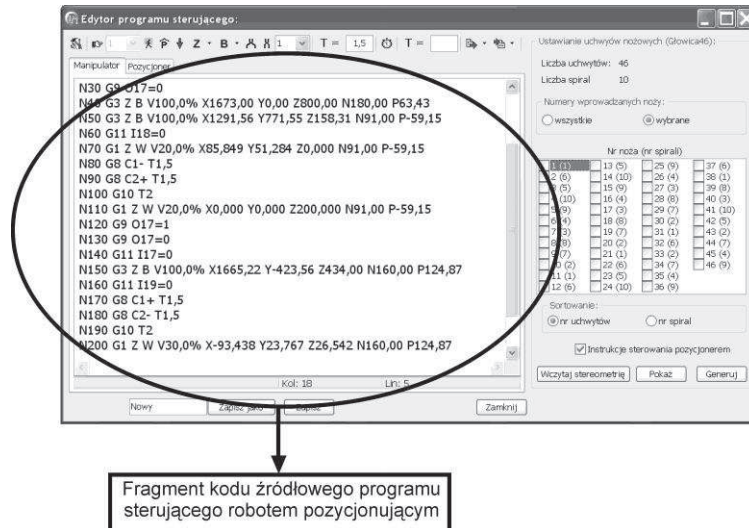
$$\delta_0 = \arcsin \left(\frac{\sin \delta}{\cos \alpha_4} \right) \quad (10)$$

$$b_0 = [\cos \theta_N \cdot \cos \alpha_4 + \sin \theta_N \cdot \cos(\psi_N - \alpha_5) \cdot \sin \alpha_4] \cdot \cos \alpha_1 + \sin \theta_N \cdot \sin(\psi_N - \alpha_5) \cdot \sin \alpha_1 \quad (11)$$

$$c_0 = \sin \theta_N \cdot \sin(\psi_N - \alpha_5) \cdot \cos \alpha_1 + -[\cos \theta_N \cdot \cos \alpha_4 + \sin \theta_N \cdot \cos(\psi_N - \alpha_5) \cdot \sin \alpha_4] \cdot \sin \alpha_1 \quad (12)$$

zaś wartość kąta ϑ_0 jest rozwiązaniem równania kwadratowego w postaci:

$$\begin{aligned} & [(a+r) \cdot \cos \delta_0 - b \cdot \sin \delta_0] \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{1}{2} \vartheta_0 \right) + 2 \cdot (a \cdot \sin \delta_0 + b \cdot \cos \delta_0) \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{1}{2} \vartheta_0 \right) + \\ & - (a-r) \cdot \cos \delta_0 + b \cdot \sin \delta_0 = 0 \end{aligned} \quad (13)$$



Rys. 6. Okno programu komputerowego przeznaczonego do generowania kodu źródłowego programu użytkowego dla zadanej stereometrii organu roboczego maszyny urabiającej

gdzie:

- a, b, h_0 – parametry determinujące położenie tarczy obrotowej pozycjonera względem początku bazowego układu odniesienia $X_R Y_R Z_R$ robota pozycjonującego,
- $a_0 - a_3, h_{R0}$ – parametry geometryczne manipulatora pozycjonującego,
- r, z, ϑ – współrzędne wierzchołka ostrza noża (punktu S) związanego z rozpatrywanym uchwytem nożowym w układzie walcowym,
- $\alpha_1 - \alpha_5$ – współrzędne konfiguracyjne manipulatora pozycjonującego,
- $\delta, \varepsilon, \Theta$ – kąty definiujące przestrzenne ustawienie uchwytów nożowych,
- θ_N, ψ_N – kąty: nutacji i precesji narzędzia, definiujące orientację przestrzenną chwytaka w układzie współrzędnych interfejsu mechanicznego manipulatora $X_K Y_K Z_K$.

Program użytkowy generowany jest automatycznie w oparciu o cyfrowe dane opisujące położenie oraz ustawienie w przestrzeni poszczególnych uchwytów nożowych. Realizowane jest tu programowanie autonomiczne (off-line) na stanowisku komputerowym z wykorzystaniem dedykowanego oprogramowania komputerowego (rys. 6). Dane wejściowe pozyskiwane są przy tym z baz danych generowanych na etapie projektowania układu noży. Program ten utworzony jest przez ciąg instrukcji. W efekcie ich wykonania realizowane są kolejne czynności wykonawcze i pomocnicze składające się na operację montażu uchwytów nożowych. Sterowanie stanowiskiem montażowym realizowane może tu być w rzeczywi-

stości przez kilka programów użytkowych zarządzających pracą poszczególnych jego urządzeń, nadzorowanych z poziomu sterownika nadrzędnego (centralnego komputera sterującego).

Przykładowo, w algorytmie sterowania manipulatorem robota pozycjonującego wyodrębnić można – dla każdego uchwytu nożowego – następujące ruchy robocze oraz czynności pomocnicze (w nawiasach podano numery instrukcji programu użytkowego, którego fragment widoczny jest w oknie programu przeznaczonego do generowania kodu źródłowego pokazanym na rysunku 6):

- doprowadzenie chwytaka do zasobnika uchwytów nożowych w miejsce, z którego są one pobierane oraz sprawdzenie stanu gotowości zespołu podającego-pozycjonującego zasobnika (instrukcje nr: N50 – N70),
- uchwycenie uchwytu nożowego przez chwytak (instrukcje nr: N80 – N100),
- pobranie uchwytu nożowego z zasobnika (instrukcja nr N110),
- wysłanie do sterownika nadrzędnego sygnału w celu uruchomienia pozycjonera pobocznicy organu roboczego (instrukcje nr: N120 i N130),
- przejście w stan oczekiwania na sygnał ze sterownika nadrzędnego o zakończeniu pozycjonowania pobocznicy organu roboczego (instrukcja nr N140),
- doprowadzenie chwytaka do pozycji końcowej – pozycjonowanie uchwytu nożowego na pobocznicy organu roboczego (instrukcja nr N150),
- oczekiwanie na sygnał ze sterownika nadrzędnego po zakończeniu operacji szepiania uchwytu nożowego z pobocznica (instrukcja nr N160),
- zwolnienie chwytaka (instrukcje nr: N170 – N190),
- wycofanie chwytaka (instrukcja nr N200).

Kolejne linie programu użytkowego zawierają tu instrukcje: pozycjonowania narzędzia, sterowania chwytkiem manipulatora oraz obsługi wejść i wyjść systemowych umożliwiających komunikację robota ze sterownikiem nadrzędnym. Struktura kodu źródłowego generowanego automatycznie programu użytkowego dostosowana musi być do syntaktyki języka dedykowanego dla konkretnego typu robota przemysłowego. W przedstawionym tu przykładzie format zapisu poszczególnych instrukcji wynika przy tym z konwencji zaimplementowanej w systemie operacyjnym robota IRp-60, który wykorzystany został do testowania opracowanych algorytmów. Ponieważ robot ten przystosowany był jedynie do programowania poprzez nauczanie, aby możliwe było tworzenie programów użytkowych poza środowiskiem jego systemu operacyjnego wykorzystany został opracowany przez firmę ELBIT z Gliwic interfejs programowania oraz komunikacji dwukierunkowej: komputer PC – jednostka centralna robota IRp-60.

W przypadku programowania za pomocą systemu programowania off-line istotnym etapem przygotowania programu użytkowego jest procedura testowania (komputerowa symulacja procesu technologicznego) zanim zostanie on wprowadzony do realizacji. Procedura testowania zapewnia możliwość sprawdzenia prawidłowości jego działania oraz eliminację potencjalnych błędów. Polega ona między innymi na emulacji kinematycznej stanowiska oraz emulacji planowania trajektorii [2]. Opracowany w Instytucie Mechanizacji Górnictwa program komputerowy do generowania programu użytkowego do sterowania zrobotyzowanym stanowiskiem montażowym uchwytów nożowych wyposażony został dlatego w moduł symulacji komputerowej. Umożliwia on symulację przebiegu wygenerowanego programu sterującego, wizualizację procesu montażu uchwytów nożowych na poboczniczy organu roboczego maszyny urabiającej oraz wykrywanie stanów kolizyjnych.

4. ZAKOŃCZENIE

Automatyzacja procesu wytwarzania organów roboczych maszyn urabiających stosowanych w górnictwie z wykorzystaniem robotów przemysłowych stwarza szerokie możliwości w zakresie realizacji różnych układów noży, dostosowanych do zadanych warunków eksploatacyjnych tego typu maszyn. Zmiana stereometrii wytwarzanych organów roboczych nie wymaga tu zmiany cech konstrukcyjnych stanowiska montażowego względnie jego osprzętu, a jedynie zmiany programu sterującego generowanego dla zadanych parametrów konstrukcyjnych tych organów.

Opracowane w Instytucie Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej rozwiązanie zapewnia wysoką elastyczność i uniwersalność gniazda produkcyjnego tego rodzaju elementów. Umożliwia ono bowiem wytwarzanie organów roboczych maszyn urabiających o różnym kształcie i wielkości oraz różnej stereometrii. Robotyzacja podstawowych operacji technologicznych prowadzi ponadto do znacznego zmniejszenia pracochłonności i czasochłonności tego procesu oraz istotnego zwiększenia dokładności i jego powtarzalności.

Przydatność opracowanego rozwiązania technicznego, modelu matematycznego, algorytmu generowania programu użytkowego oraz algorytmu sterowania urządzeniami stanowiska montażowego potwierdzona została w oparciu o testy przeprowadzone na utworzonym w tym celu w laboratorium Instytutu Mechanizacji Górnictwa stanowisku doświadczalnym wyposażonym w robota przemysłowego IRp-60.

Literatura

1. *Cheluska P.*: Zastosowanie robota przemysłowego w procesie ustawiania uchwytów nożowych na poboczniczy głowicy urabiającej kombajnu chodnikowego. Monografia: „Nowoczesne metody eksploatacji węgla i skał zwięzłych”. Kraków 2009.
2. *Craig J.J.*: Wprowadzenie do robotyki. Mechanika i sterowanie. WNT, 1993.
3. *Dolipski M., Cheluska P.*: Dynamika układu urabiania kombajnu chodnikowego. Wyd. Politechniki Śląskiej, 2002.
4. *Dolipski M., Cheluska P., Sobota P.*: Kryteria doboru głowic urabiających dla energooszczędnych kombajnów chodnikowych. Przegląd Górniczy 63(2007) nr 7–8, s. 64–70.
5. *Feld M.*: Projektowanie i automatyzacja procesów technologicznych części maszyn. WNT, 1994.
6. *Jonak J.*: Wybrane aspekty optymalizacji konstrukcji i eksploatacji głowic do urabiania kamienia. I Międzynarodowa Konferencja Techniki Urabiania 2001, s. 383–404.
7. *Jonak J.*: Urabianie skał głowicami wielonarzędziowymi. Wydawnictwo Naukowe „Śląsk”, 2002.
8. *Klimasara W.J., Pilat Z.*: Podstawy automatyki i robotyki. WSiP, 2006.
9. *Krauze K.*: Urabianie skał kombajnami ścianowymi: podstawy doboru i projektowania elementów frezujących. Wydawnictwo Naukowe „Śląsk”, 2000.
10. *Krauze K., Kotwica K.*: Selection and underground tests of the rotary tangential cutting picks used in cutting heads of the longwall and roadway miners. Archives of Mining Sciences 52(2007) Iss.2, s.195–217.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Józef Jonak