
ROBOTYKA

Robotyka 4



Wydawnictwa Naukowo-Techniczne 1990

„Roboty przemysłowe typu IRb i IRp”. Charakterystyka techniczna i zasady projektowania zastosowań

Pod redakcją dr. inż. Jana L. Falkowskiego
mgr inż. Jolanta Górską
mgr inż. Marek Petz
mgr inż. Andrzej Socha
mgr inż. Andrzej Aderek
mgr inż. Marek Pachuta
mgr inż. Elżbieta Paszewin
mgr inż. Zbigniew Rudnicki
mgr inż. Ewa Flejta
mgr inż. Wojciech Hernik
mgr inż. Aleksander Ustaszewski
dr inż. Michał Strużak
mgr inż. Andrzej Olak

1. Wprowadzenie

1.1. Uwagi wstępne

Jednym z najważniejszych w Polsce ośrodków zaangażowanych w prace naukowo-badawcze, produkcyjne i wdrożeniowe w dziedzinie robotyki jest Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP w Warszawie. Działalność Instytutu w tej dziedzinie została podjęta w roku 1975. Działalność ta to m.in.:

- produkcja robotów przemysłowych IRb,
- opracowanie robotów przemysłowych IRp,
- opracowanie i produkcja robotów prostych PR 02,

- robotyzacja szeregu procesów przemysłowych,
- prowadzenie prac rozwojowych w zakresie opracowania nowych robotów przemysłowych i różnorodnych środków robotyki, między innymi urządzeń sensorycznych,
- koordynacja w skali ogólnokrajowej prac naukowo-badawczych, rozwojowych i wdrożeniowych w dziedzinie robotyki, wchodzących w okresie 1986-90 w zakres CPBR nr 7.1 „Roboty przemysłowe”,
- ← szkolenia dla przedstawicieli przemysłu oraz prace normalizacyjne dotyczące robotyki przemysłowej.

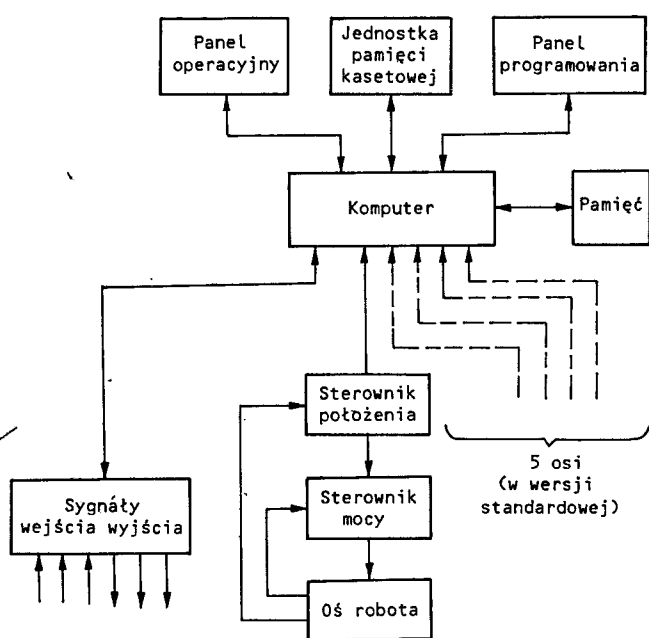
W niniejszym opracowaniu prezentowane są roboty przemysłowe rodzin IRb i IRp. Roboty IRb wywodzą się od rozwiązań szwedzkiej firmy ASEA, uznawanych w latach siedemdziesiątych za jedno z najdoskonalszych, szczególnie w zakresie części manipulacyjnej (Polska zakupiła licencję od ASEA w roku 1977).

Utrzymująca się na świecie do dziś wysoka ocena tych rozwiązań znajduje potwierdzenie w bardzo dużej liczbie zastosowań oraz fakcie naśladownictwa tych rozwiązań przez szereg firm, m.in. robot MOTOMAN L10 firmy TORSTEKNIK (Szwecja), PR32-E VUKOV (Czechosłowacja) czy produkowany w NRD ZIM-60.

Natomiast roboty IRp wykorzystują część manipulacyjną robotów IRb oraz opracowany w MERA-PIAP nowy układ sterowania o parametrach znacznie przewyższających parametry układu sterowania robotów IRb.

1.2. Ogólne dane techniczne robotów IRb i IRp

Przedstawione roboty, produkowane (IRb) oraz opracowane^{*)} (IRp) przez Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów MERA-PIAP, są uniwersalnymi środkami automatyzacji procesów produkcyjnych. Mogą być stosowane zarówno do automatyzacji



Rys. 1. Schemat ideowy układu sterowania robotów IRb/IRp

cji prac wykonywanych przez maszyny (np. obsługa obrabiarek skrawających, pras, maszyn odlewniczych, wtryskarek), jak też w charakterze robotów technologicznych do samodzielnego wykonywania prac przy użyciu narzędzi (spawanie łukowe, zgrzewanie punktowe, szlifowanie, gratowanie itp.).

^{*)} i przekazane do produkcji w MERA-ZAP, Ostrów Wielkopolski

Tablica 1. Najważniejsze dane techniczne robotów IRb i IRp

Parametr	Jedn. miary	IRb-6	IRb-60	IRb-60Z	IRp-6	IRp-6W	IRp-6L	IRp-10	IRp-60	IRp-60Z
Obciążenie nominalne (łącznie z masą chwytaka)	kg	6	60	45	6			10	60	45
Maksymalny moment statyczny obciążenia końcówki kołnierzej	N·m	12	240	60	12			240	60	
Powtarzalność pozycjonowania	mm	±0,2	±0,4		±0,1			±0,4		

Składają się z części manipulacyjnej i oddzielonej konstrukcyjnie szafy układu sterowania oraz dołączonych: panelu programowania i jednostki pamięci kasetowej, mogących obsługiwać więcej niż 1 robot. Część manipulacyjna, w zasadzie taka sama dla obydwu rodzin, jest produkowana w kilku wariantach dwu podstawowych wersji udźwigowych:

— lekkiej o udźwigu 6 kg (robot IRb-6, IRp-6),
— ciężkiej o udźwigu 60 kg (robot IRb-60, IRp-60).

Pełny zestaw wariantów rozwiązań części manipulacyjnej przedstawiono w rozdz. 2 — rys. 7 i 8.

Obydwie wersje mają podobne struktury kinematyczne o pięciu stopniach swobody — $\{C_R, B_{R1}, B_{R2}, B_{L,A_L}\}$. Wykonywane są również rozwiązania rozszerzone o szósty stopień (patrz rozdz. 2), którym może być:

— przemieszczenie liniowe na torze jezdnym (dla wersji udźwigowej 6 kg),

— obrót wokół trzeciej osi przegubu $\{C_L\}$ (dla wersji udźwigowej 60 kg).

Sterowanie dodatkowym szóstym stopniem swobody odbywa się tak, jak stopniami podstawowymi.

Układy sterowania robotów IRb i IRp mają strukturę komputerową — rys. 1. Umożliwia to wykonywanie różnych skomplikowanych czynności, jak np. pobieranie i odkładanie przedmiotów na paletę według założonego wzoru, poszukiwanie przedmiotów o nieznanym dokładnie położeniu, wykonywanie skoków do odpowiednich podprogramów itp. Stały program nadzorczy, kontrolujący pracę robota i określający sposób wykonywania instrukcji, jest przechowywany w pamięci.

Komputer steruje wykonywaniem poszczególnych operacji, przyjmuje i wysyła sygnały z wejść i na wyjścia, które łączą robot z osprzętem zewnętrznym. Ponadto przekazuje operatorowi informacje o stanie robota za pośrednictwem lampek i wskaźników umieszczonych na panelach operacyjnym i programowania. Za pośrednictwem tych paneli operator komunikuje się z układem sterowania. Panel operacyjny jest umieszczony na płycie czołowej szafy układu sterowania. Panel programowania jest dołączony do szafy układu sterowania kablem o długości 6 m, co daje możliwość programowania metodą uczenia w bezpośredniej bliskości strefy manipulacji.

Możliwość tworzenia oraz wykorzystywania bibliotek programów zapewnia pamięć kasetowa, dołączana do sterownika robota (kablem o długości 2 m) na stałe lub na czas przepisywania programu. Jedną jednostką pamięci (podobnie jak jeden panel programowania) może obsługiwać kilka robotów.

Układy sterowania obydwu rodzin różnią się zarówno sprzętowo, jak też oprogramowaniem. W przypa-

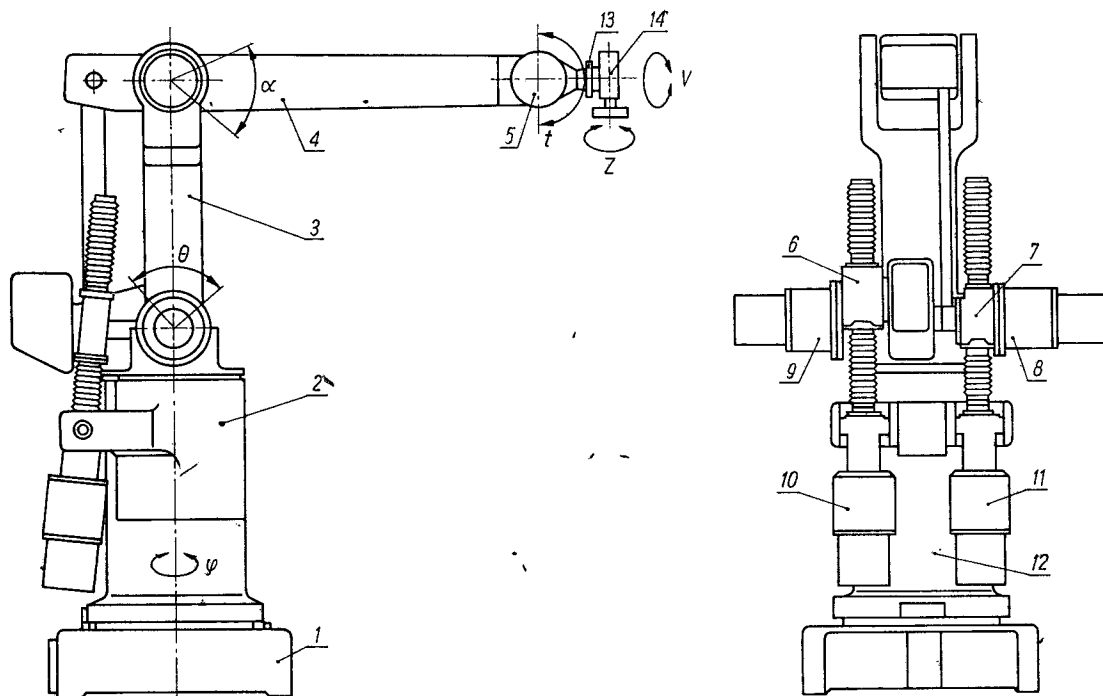
tabl. 1 (cd.)

Parametr	Jedn. miary	IRb-6	IRb-60	IRb-60Z	IRp-6	IRp-6W	IRp-6L	IRp-10	IRp-60	IRp-60Z
Przestrzeń robocza		wg rys. 7				wg rys. 8	wg rys. 7			
Prędkości maksymalne — obrót w osi podstawy	°/s	95	90	67,5	95				90	67,5
— ruch poziomy końcówki kołnierzonej	m/s	0,75	1	0,75	0,75	1,1	1,1	0,75	1,0	0,75
— ruch pionowy końcówki kołnierzonej	m/s	1,1	1,3	0,97	1,1	0,75	1,1	1,1	1,3	0,97
— pochYLENIE przegubu	1°/s	115	90	67,5	115				90	67,5
— obrót końcówki kołnierzonej	1°/s	195	150	112,5	195				150	112,5
— obrót szóstej osi	1°/s	—	—	90	—				—	90
Dopuszczalna temperatura otoczenia — części manipulacyjnej — szafy sterowniczej	°C °C	5...55 5...40								
Zasilanie		3 × 380 V ^{+10%} _{-15%} 50 Hz								
Całkowity największy pobór mocy	kW	1,7	7		1,7			7		
Liczba sterowanych osi (serwomechanizmów położenia)		5 (max 6 — opcja)				5 (max 9 — opcja)				
Liczba wejść dwustanowych		16				16 (max 32 — opcja)				
Liczba wejść analogowych		—				8 (opcja)				
Liczba wyjść dwustanowych		14				16 (max 32 — opcja)				
Obciążalność wyjść dwustanowych — napięcie (DC) — prąd	V A	24 0,15				24 0,5				
Pojemność programu użytkowego — liczba pozycji		250 (max 1500 — opcja) (robot adaptacyjny — 750)				1200 (max 3000 — opcja)				
Liczba typów instrukcji Jednostka pamięci zewnętrznej Zasilanie rezerwowe pamięci programu użytkowego		16 PK1 tak				23 PK3 tak				
Kanały komunikacyjne — interfejs szeregowy — interfejs z wielodostępną szeregową magistralą danych		— —				wg standardu V24 (RS 232 C) opcja wg standardu PROWAY — opcja				
Długość kabli — część manipulacyjna — szafa sterownicza — szafa sterownicza panel programowania	m m	6 (max 15 — opcja) 6								
Masa — część manipulacyjna	kg	125	750		125	145	135	130	750	
— szafa sterownicza	kg	325	425		325			425		

dku robotów IRb są to rozwiązania ośmiobitowe, wykonywane w wersjach standardowej oraz adaptacyjnej, o zwiększonych możliwościach funkcjonalnych. Układy sterowania robotów IRp są rozwiązaniami szesnastobitowymi. W związku z tym ich możliwości funkcjonalne są jeszcze większe. Taka

szeroka gama zakresów możliwości funkcjonalnych prezentowanych robotów gwarantuje w zastosowaniach optymalne dopasowanie typu robota do wymagań obsługiwanych procesów przemysłowych. W tabelicy 1 zestawiono najważniejsze dane techniczne robotów IRb i IRp.

2. Część manipulacyjna robotów IRb i IRp



Rys. 2. Część manipulacyjna robota IRb;

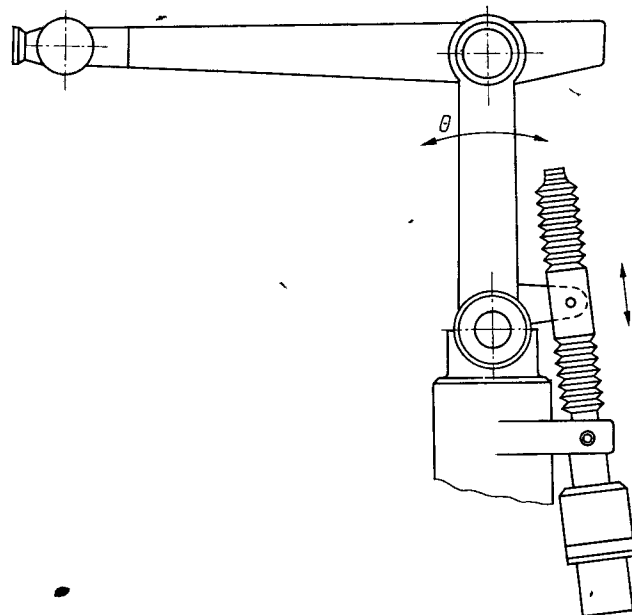
1 — podstawa, 2 — korpus, 3 — ramię dolne, 4 — ramię górne, 5 — zespół przegubu, 6 — przekładnia śrubowa toczna ruchu θ , 7 — przekładnia śrubowa toczna ruchu α , 8 — napęd ruchu v , 9 — napęd ruchu t , 10 — napęd ruchu θ , 11 — napęd ruchu α , 12 — napęd ruchu φ , 13 — końcówka kołnierzowa, 14 — oś z

Część manipulacyjna robotów IRb/IRp (rys. 2) ma jednakową strukturę kinematyczną dla produkowanych wersji udźwigowo-konstrukcyjnych i składa się z podstawy 1, korpusu 2, ramienia dolnego 3, ramienia górnego 4 oraz zespołu przegubu 5 zakończonego końcówką kołnierzową 13, służącą do mocowania urządzeń wykonawczych (chwyteków, narzędzi). Taka budowa zapewnia w wersji standardowej pięć stopni swobody $\{C_R, B_{R1}, B_{R2}, B_L, A_L\}$:

- obrót wokół podstawy φ (C_R),
- obrót ramienia dolnego ϑ (B_{R1}),
- obrót ramienia górnego α (B_{R2}),
- pochylenie przegubu t (B_L),
- obrót końcówki kołnierzowej v (A_L).

Poszczególne ruchy części manipulacyjnej są realizowane przez zespoły napędowe, tzn. zespoły silników i odpowiednie przekładnie mechaniczne. W skład każdego zespołu silnika wchodzi silnik prądu stałego, transformator położenia kąтового (rezolwer) i prądnicza tachometryczna.

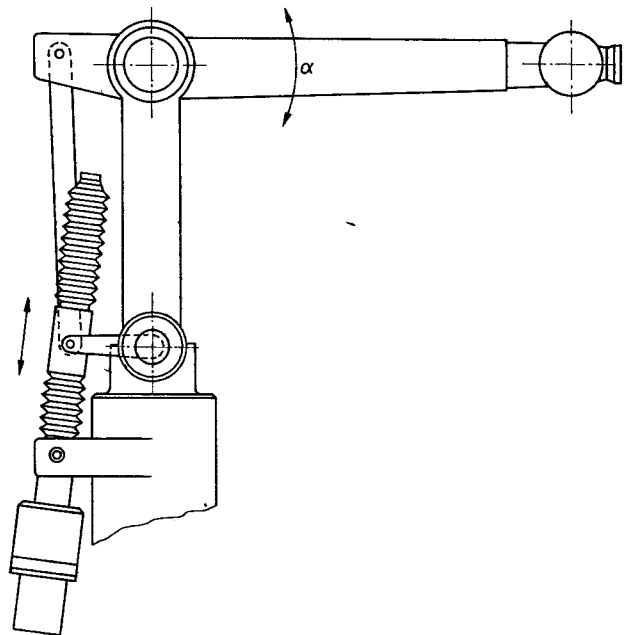
W górnej części podstawy jest umieszczony zespół silnika i przekładnia falowa nadająca korpusowi ruch obrotowy φ (12). Na korpusie są zamocowane napędy ruchów ϑ (10) i α (11) dolnego i górnego ramienia, składające się z zespołu silnika i przekładni śrubowej tocznej (6, 7) oraz napędy ruchów przegubu v (8) i t (9) złożone z zespołu silnika i przekładni falowej. Ramię dolne jest łożyskowane obrotowo we wsporniku



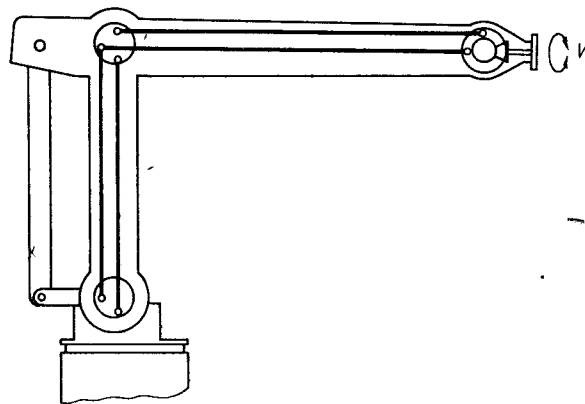
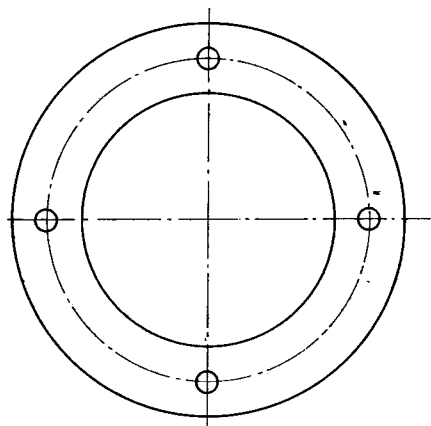
Rys. 3. Realizacja ruchu θ dolnego ramienia

korpusu. Ruch przekładni śrubowej jest przekazywany do dolnego ramienia za pomocą dźwigni połączonej z nakrętką tej przekładni (rys. 3).

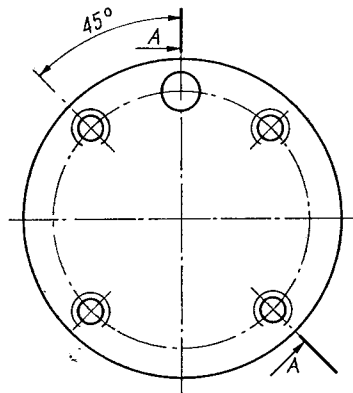
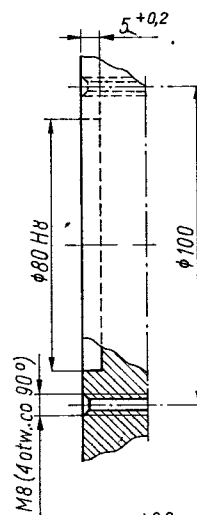
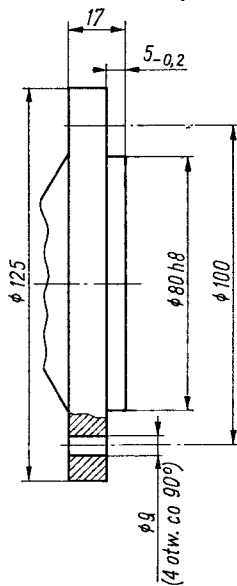
Ramię górne jest łożyskowane obrotowo w górnej części ramienia dolnego. Ruch obrotowy silnika jest

Rys. 4. Realizacja ruchu α górnego ramienia

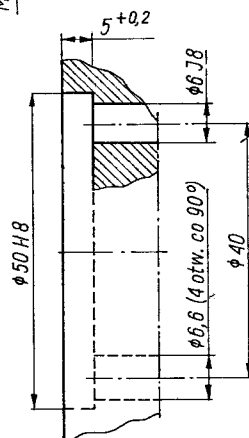
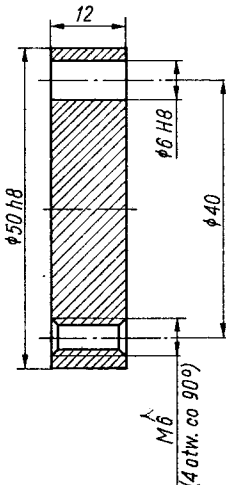
przenoszony za pomocą przekładni śrubowej toczonej na dwa pręty zamocowane przegubowo do nakrętki przekładni i tworzące razem z dolnym i górnym ramieniem równoległobok, co wywołuje ruch górnego ramienia (rys. 4).
Ruch silników osi v i t jest przekazywany do końcówki kołnierzej zespołu przegubu za pośrednictwem

Rys. 5. Realizacja ruchu v końcówki kołnierzej zespołu przegubu

Kołnierz przegubu robota IRb/IRp-60.

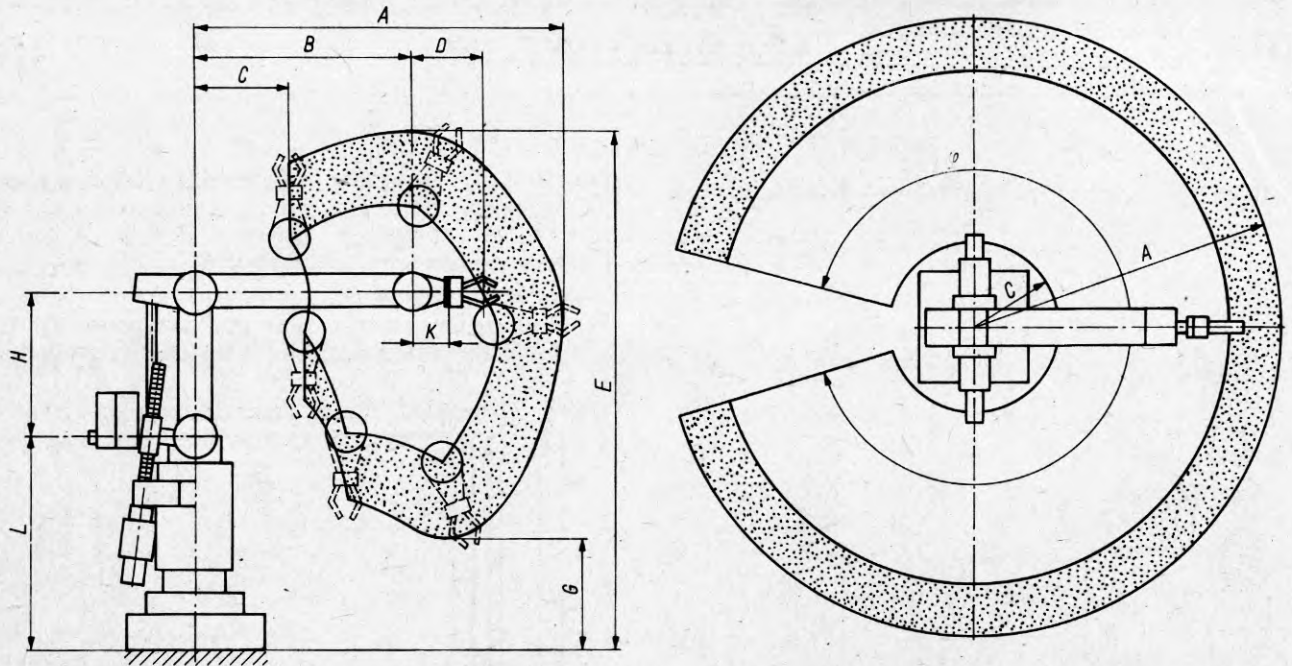


Kołnierz przegubu robota IRb/IRp-6.



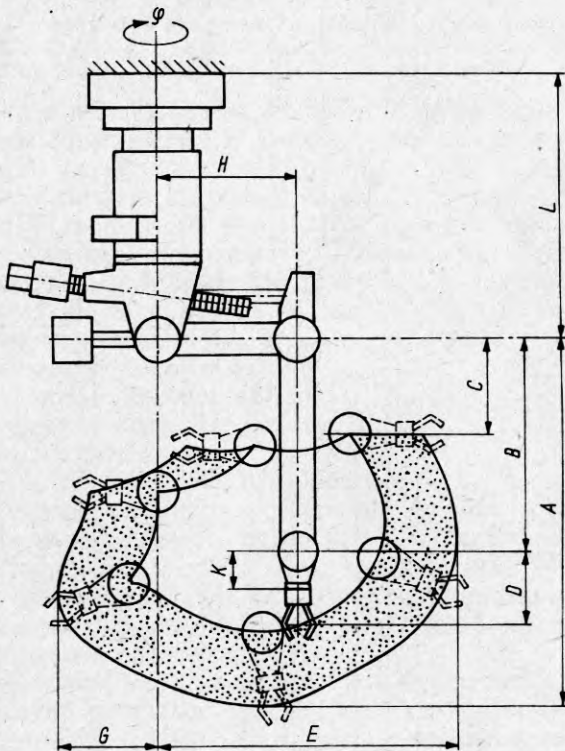
Fragment części przyłączeniowej chwytaka lub innego urządzenia wykonawczego

Rys. 6. Wymiary kołnierza przegubu robota oraz części przyłączeniowej chwytaka



Robot	A	B	C	D	E	G	H	K	L	φ
IRp-6 IRp-10	1159	670	289	200	1620	414	450	95	700	340°
IRp-6L	1301	670	176	200	1830	582	670	95	700	340°
IRp-60 IRp-60Z	2288	1280	989	400	2150	0	800	200	800	330°

Rys. 7. Wymiary i przestrzeń robocza robotów IRb i IRp



Robot	A	B	C	D	E	G	H	K	L	φ
IRp-6W	1159	670	289	200	933	286	450	95	938	340°

Rys. 8. Wymiary i przestrzeń robocza robota IRp-6W

wem przekładni falowych i zespołów złożonych z tarcz obrotowych i cięgien, umieszczonych po obu stronach zespołu ramion. Przy realizacji ruchu v ostatnim członem nadającym ruch końcówce kołnierzowej jest przekładnia stożkowa (rys. 5). Mechanizm realizacji ruchu t , umieszczony z drugiej strony ramion (na rys. 5 na innej „głębokości” względem mechanizmu ruchu v), takiej przekładni nie zawiera. Do końcówki kołnierzowej przegubu (rys. 6) jest mocowany chwytak, narzędzie lub inne urządzenie wykonawcze.

Przewody elektryczne i przewody sprężonego powietrza do sterowania chwytaka są poprowadzone wewnątrz górnego ramienia. Gniazdo do przyłączenia przewodu sprężonego powietrza znajduje się w tylnej części tego ramienia, a wyjście sprężonego powietrza i zaciski wyjść elektrycznych są umieszczone w jego przedniej części.

Poza rozwiązaniami podstawowymi stanowiącymi część manipulacyjną robotów IRb-6 i IRp-6 oraz IRb-60 i IRp-60 oferowane są również rozwiązania zmodyfikowane i specjalne. Wymiary i obszar roboczy różnych wersji ilustruje rys. 7.

Część manipulacyjna robota IRp-6L ma ramię dolne wydłużone o około 50%, co zwiększa o około 30% zasięg robota i prędkość w ruchu poziomym.

Wymiary identyczne jak w przypadku robotów IRb-6/IRp-6 ma część manipulacyjna robotów IRp-10 o udźwigu do 10 kg.

Część manipulacyjna robotów IRb-60Z/IRp-60Z (zgrzewalnicy) ma szósty stopień swobody — obrót wokół trzeciej osi przegubu z (C_D). Jest ona wyposażona dodatkowo w luzowniki elektromagnetyczne oraz sprzęgło przeciążeniowe zainstalowane w przegubie. Użyteczny udźwig robota jest w efekcie ograniczony do 45 kg.

Robot IRp-6W jest przewidziany do pracy w pozycji odwróconej (podwieszony). Rekonfiguracja struktury kinematycznej (rys. 8) spowodowała lepsze usytuowanie przestrzeni roboczej w płaszczyźnie poziomej, co umożliwia obróbkę przedmiotów o powierzchni obrabianej większej o około 50% w porównaniu z możliwościami rozwiązania podstawowego (IRb-6, IRp-6). W napędach ramion robota IRp-6W zastosowano luzowniki elektromagnetyczne, zabezpieczające ramiona przed opadnięciem grawitacyjnym w przypadku zaniku zasilania.

3. Sterowanie i programowanie robotów IRb

3.1. Budowa układu sterowania

3.1.1. Opis podstawowych bloków funkcjonalnych

Podstawowe bloki funkcjonalne układu sterowania robotów IRb mieszczą się w zamkniętej szafie sterowniczej (rys. 9) z wymuszonym chłodzeniem wewnę-

nym, wykonanej w stopniu ochrony IP40. W górnej części jej przedniej strony znajduje się panel operacyjny z wnęką, w której jest przechowywany panel programowania.

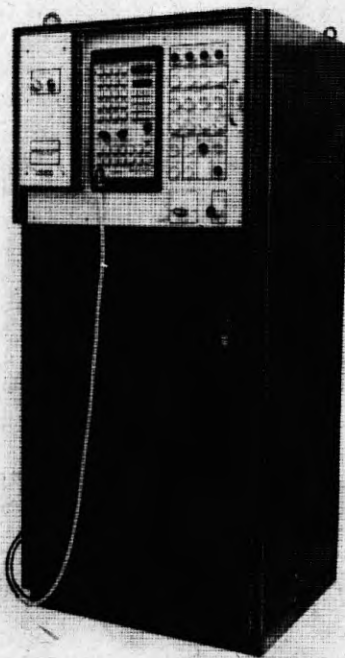
Schemat ideowy układu sterowania robotów IRb jest przedstawiony na rys. 10. Bloki elektroniczne są zbudowane na płytkach drukowanych, połączonych ze sobą w kasecie za pomocą magistrali o postaci drukowanego plateru. Plater jest wyposażony w złącza umożliwiające szybki montaż i wymianę płyt. Sygnały wychodzące z poszczególnych bloków do urządzeń zewnętrznych rozprowadzane są przewodami taśmowymi ze złączami małowagarytowymi.

Poszczególne bloki przedstawione w górnej części rys. 10 odpowiadają poszczególnym płytkom drukowanym (pakietom) kasety. Można wśród nich wyróżnić bloki tworzące komputer i bloki sprzęgające urządzenia zewnętrznych. Komputer tworzą pakiety: jednostki centralnej, jednostki przerwań, pamięci PROM, pamięci RAM (1 lub 2 pakiety) i panel testowania (opcja).

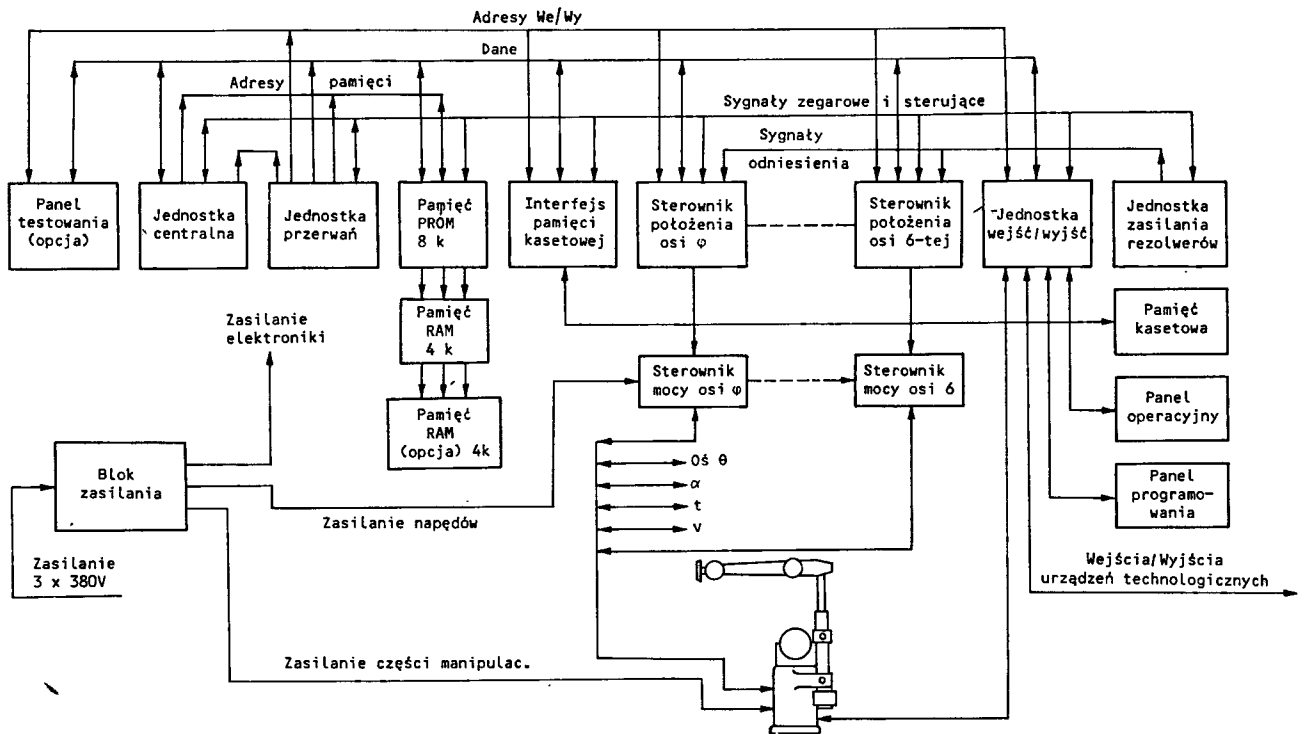
Pakiet jednostki centralnej zawiera ośmiobitowy mikroprocesor INTEL 8008 i podstawowe układy niezbędne do jego funkcjonowania w systemie, jak np. generator impulsów zegarowych, układ sterowania magistralą danych, wzmacniacze linii szyny adresowej.

Szyna adresowa 14-bitowa umożliwia adresowanie 16 kB pamięci.

Jednostka przerwań jest funkcjonalnym uzupełnieniem jednostki centralnej. Służy do zewnętrznego przerywania programu. Sygnały przerwań są generowane podczas włączania układu sterowania (dla zapoczątkowania programu głównego), w trakcie testowania (z panelu testowania — dla uruchomienia



Rys. 9. Szafa układu sterowania robota IRb



Rys. 10. Schemat blokowy układu sterowania robota IRb

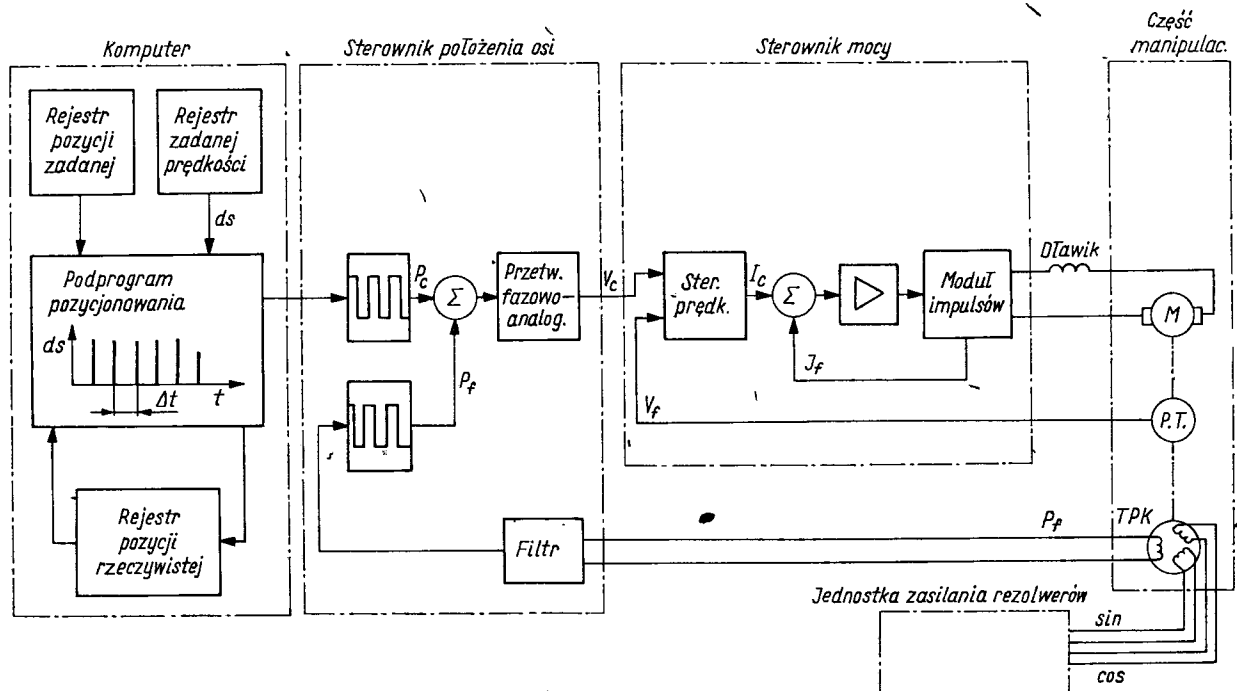
programów testujących) oraz z generatora o częstotliwości 98 Hz (dla ustalenia okresu próbkowania dla systemu).

Pakiet jednostki przerwań zawiera też dekodery adresów wejść/wyjść umożliwiające programową obsługę urządzeń zewnętrznych. Dekoduje się informację przesyłaną z jednostki centralnej, tworząc 46 sygnałów przesyłanych szyną adresową wejść/wyjść do poszczególnych układów sprzęgających urządzeń zewnętrznych.

Układ sterowania jest wyposażony w pakiet pamięci stałej (wyłącznie odczyt — PROM), zawierającej program sterujący oraz 1 lub 2 pakiety pamięci zapis — odczyt (RAM), przechowującej program użytkowy

i dane bieżące. Pamięć stała ma pojemność 7 kB, a pamięć RAM — 4 lub 8 kB (4 kB/(pakiet)). Jeden pakiet pamięci RAM umożliwia przechowywanie około 250 instrukcji pozycjonowania, co jest ilością wystarczającą dla większości zastosowań praktycznych.

Pakiet jednostki wejść/wyjść jest blokiem sprzęgającym dla dwustanowych elementów robota i dwustanowych urządzeń z nim współpracujących. Sygnały wejściowe są wprowadzane z przycisków i przełączników panelu programowania i panelu operacyjnego oraz z urządzeń technologicznych współpracujących z robotem. Ich odczytywanie jest dokonywane grupami (po 8 wejść przy wykorzystaniu multiplek-



Rys. 11. Schemat ideowy serwomechanizmu położenia

sera) z częstotliwością próbkowania 98 Hz. Wyjścia sterują dwustanowymi elementami wykonawczymi robota (np. chwytakiem) i obsługiwanych przez niego urządzeń oraz inicjują działanie wyświetlaczy cyfrowych i diodowych na panelu programowania oraz lampek na panelu operacyjnym.

W szafie układu sterowania może być dodatkowo zainstalowany panel testowania, przeznaczony do wykrywania niesprawności układu. Operator komunikuje się z systemem w kodzie maszynowym za pomocą zainstalowanych na nim przełączników i wyświetlaczy diodowych. Przez panel ten można m.in. wprowadzać i uruchamiać programy testujące poszczególne bloki, dokonywać przeglądu danych na magistrali oraz przeglądu zawartości pamięci, a także wymuszać wykonanie programu robota krok po kroku. Panel testowania umożliwia też komunikację systemu z urządzeniem dalekopisowym.

Interfejs pamięci kasetowej PK przekształca postać danych z równoległej na szeregową przy zapisie na taśmę magnetyczną oraz z szeregową na równoległą przy odczycie z taśmy. Sekwencje startu i sterowania jednostką pamięci są określane przez podprogram obsługi pamięci inicjowany przez operatora.

Stosowanie pamięci zewnętrznej stanowi nie tylko zabezpieczenie przed utratą zawartości pamięci RAM (wskutek zaniku zasilania), lecz także umożliwia tworzenie biblioteki programów użytkowych robota i wykorzystywanie jej zasobów w przypadkach przygotowywania robota do zadań realizowanych już w przeszłości.

3.1.2. Serwomechanizm położenia

Każdej osi robota przyporządkowany jest jeden pakiet sterownika położenia, realizujący sprzężenie między jednostką centralną a sterownikiem mocy tej osi — rys. 11. Zadaniem sterownika położenia jest przetwarzanie cyfrowego sygnału przyrostu położenia kąтового osi, określonego rozkazem komputera, do postaci umożliwiającej porównanie z sygnałem położenia rzeczywistego oraz wytworzenie na podstawie różnicy tych położenia analogowego sygnału prędkości zadanej serwomechanizmu osi.

Jako przetwornik położenia osi wykorzystywany jest tzw. *transformator położenia kąowego TPK (rezolwer)*. Składa się on z dwóch uzwojonych części stojana i wirnika. Wirnik jest sprzężony z wałem silnika napędzającego oś robota. Uzwojenia stojana zasilane są dwoma prostokątnymi sygnałami odniesienia SIN i COS (rys. 11) o jednakowych amplitudach, częstotliwości 2 kHz i przesuniętych w fazie o 90°. Indukowane w uzwojeniu wirnika napięcie P_f jest przesunięte w fazie względem sygnału SIN. Przesunięcie to jest miarą kąтового położenia osi TPK. Napięcie P_f podawane jest do sterownika położenia osi jako sygnał położenia rzeczywistego osi.

Oprócz sprzężenia od położenia istnieje również sprzężenie od prędkości ruchu osi. Rzeczywista prędkość jest mierzona za pomocą prądnicy tachometrycznej sprzężonej z wałem silnika napędowego osi

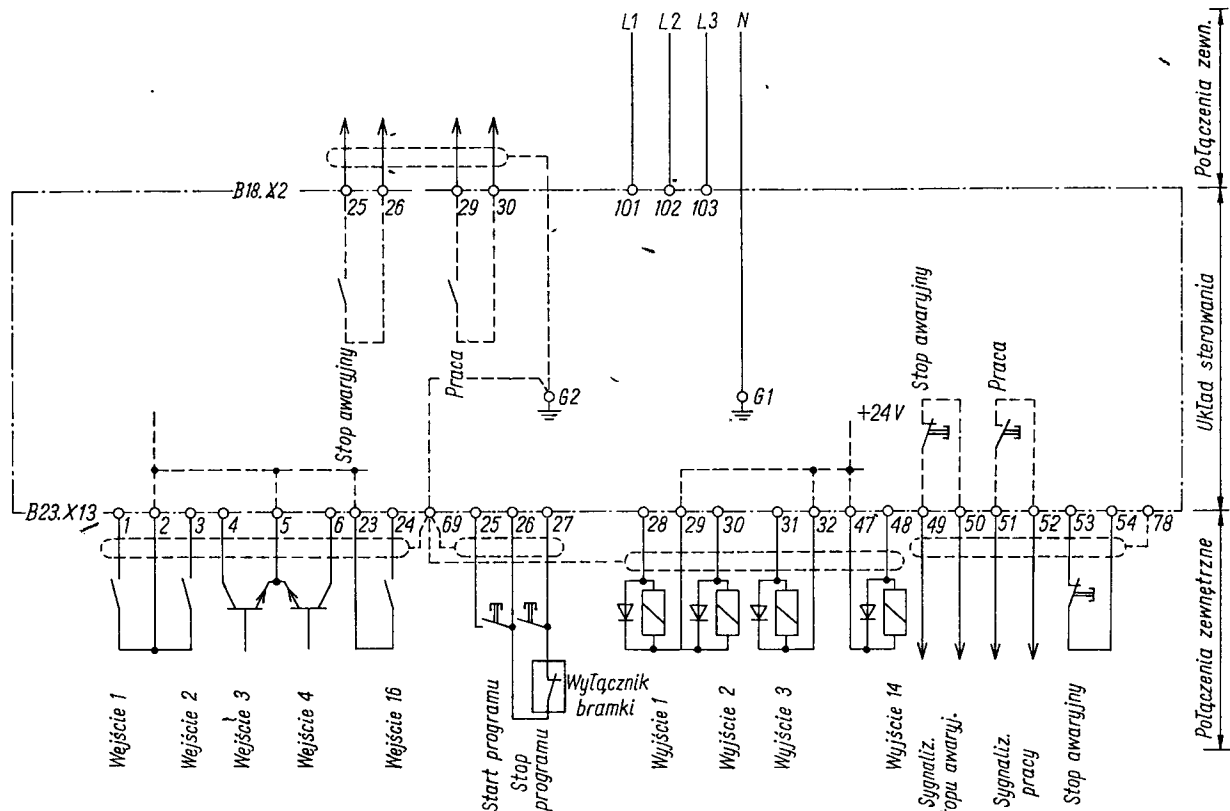
robota. Dostarcza ona do sterownika mocy napięcie stałe wprost proporcjonalne do prędkości ruchu.

W komputerze znajduje się rejestr pozycji zadanej i rejestr pozycji rzeczywistej. Na początku nowej operacji pozycjonowania współrzędne nowego punktu są wczytywane z pamięci do rejestru pozycji zadanej, podczas gdy rzeczywiste położenie robota jest reprezentowane przez rejestr pozycji rzeczywistej. W trzecim rejestrze przechowywana jest siedmio-bitowa liczba „ds”, określająca zadaną prędkość pozycjonowania, wraz z bitem znaku (kierunek ruchu). W czasie wykonywania instrukcji pozycjonowania komputer porównuje liczby z rejestru pozycji zadanej i rejestru pozycji rzeczywistej z okresem około 10 ms. Jeżeli różnica jest większa niż liczba „ds”, wtedy komputer przesyła tę liczbę (ds) szyną danych do sterownika położenia łącznie z bitem znaku w celu spowodowania odpowiedniego ruchu i koryguje zawartość rejestru pozycji rzeczywistej o wartość tego przesunięcia (dodanie lub odjęcie liczby ds). Kiedy różnica między zawartością rejestru pozycji rzeczywistej i rejestru pozycji zadanej stanie się mniejsza niż ds, pozostała liczba jest wysyłana do sterownika położenia osi, a zawartość rejestru pozycji zadanej zostaje przesłana do rejestru pozycji rzeczywistej.

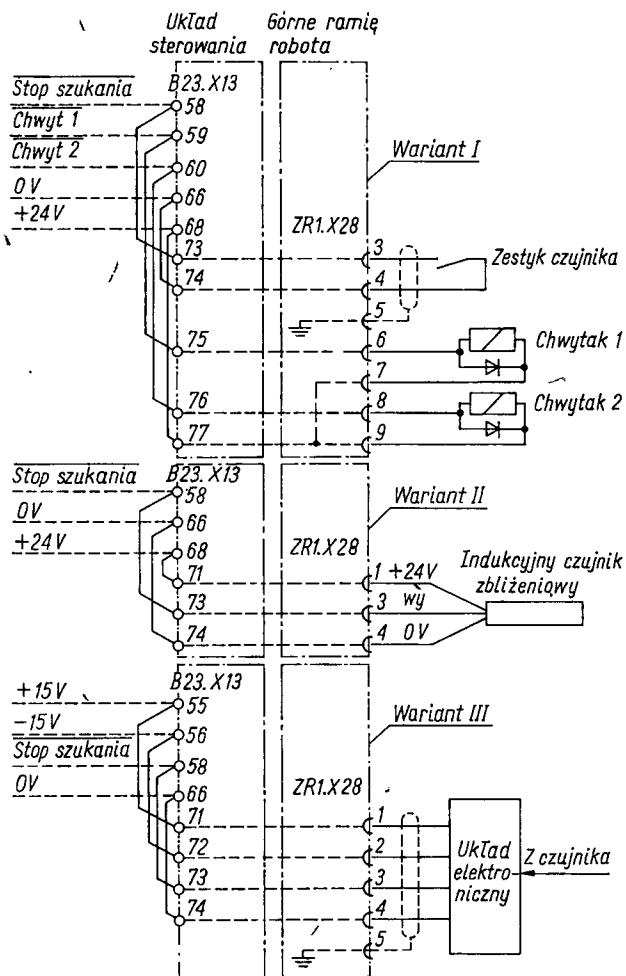
W sterowniku położenia osi przyrosty ruchu ds są przetwarzane na przesunięcia fazowe prostokątnego sygnału P_c o częstotliwości 2 kHz. Następnie sygnał ten porównywany jest z sygnałem położenia rzeczywistego osi z TPK — P_f . W pierwszej chwili oś jest nieruchoma i dlatego narasta różnica fazy między sygnałami P_c i P_f . Jest ona przekształcona w przetworniku fazowo-analogowym w analogowy sygnał odniesienia V_c , który jest użyty jako poziom odniesienia prędkości. Różnica faz wzrasta, aż do osiągnięcia przez robot zaprogramowanej prędkości, przy czym różnica faz staje się wtedy stała. Podczas ruchu pozycja osi robota opóźnia się zatem względem pozycji zadanej. Gdy komputer przekaze do sterownika położenia osi ostatni przyrost ruchu i faza P_c już się nie zmienia, błąd położenia (opóźnienia) będzie odległością hamowania dla serwomechanizmu.

Analogowy sygnał odniesienia prędkości V_c dochodzi do sterownika prędkości znajdującego się w sterowniku mocy. Tutaj porównywany jest on z sygnałem prędkości rzeczywistej z prądnicy tachometrycznej. Na podstawie różnicy między tymi wartościami jest wytwarzany sygnał zadający prąd twornika silnika. Sygnał rzeczywistej wartości prądu jest uzyskiwany z rezystora pomiarowego. Różnica między wymaganą i rzeczywistą wartością prądu jest wzmacniana i dostarczana do modulatora impulsów. Prędkość i kierunek wirowania silnika są sterowane poprzez zmianę czasu trwania impulsów. Szeregowo z silnikiem jest włączony dławik wygładzający impulsy.

W sterownikach mocy robota IRb-6 są zastosowane impulsowe przełączniki tranzystorowe; w sterownikach mocy robota IRb-60 — sterowane prostownikami tyrystorowe. Różnice wynikają ze stosowania innych w obu przypadkach silników (o momentach odpowiednio 0,55 N·m i 3,2 N·m) i w konsekwencji różnych



Rys. 12. Schemat połączeń zewnętrznych wyprowadzanych z szafy sterowniczej



Rys. 13. Schemat wyprowadzeń z szafy sterowniczej dla współpracy z chwytakami i z czujnikiem „STOP SZUKANIA” (trzy warianty rozwiązań czujnika)

sposobów ich zasilania [1]. Ponadto sterowniki mocy robota IRb-6 są wyposażone w układ generujący sygnał w przypadku przeciążenia silników przez okres czasu dłuższy od dopuszczalnego, wykorzystywany jako dodatkowe zabezpieczenie serwomechanizmu.

3.1.3. Zewnętrzne połączenia z układem

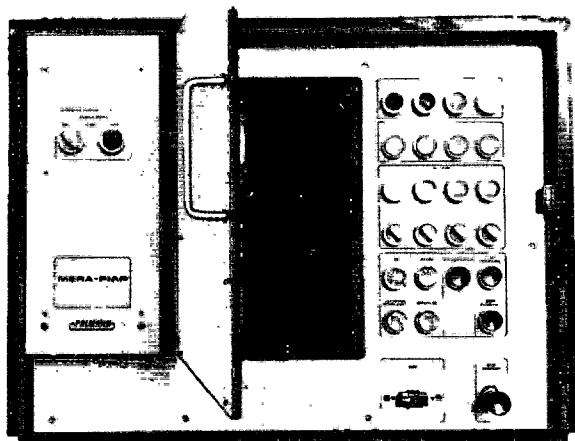
Sprzężenia urządzeń technologicznych z wewnętrzną strukturą układu sterowania robota dokonuje się za pośrednictwem szesnastu wejść i czternastu wyjść binarnych wyprowadzonych na listwę zaciskową (rys. 12), umieszczoną w dolnej części szafy sterowniczej. Wyjścia z układu (zabezpieczone diodami) wystero-wywują cewki przekaźników pośredniczących, które stanowią oddzielenie galwaniczne od tych urządzeń. Stan wysoki tych wyjść odpowiada napięciu 24 V prądu stałego; dopuszczalna obciążalność — 0,15 A (sumaryczny prąd pobierany równocześnie z wszystkich aktywnych wyjść nie może przekraczać wartości 2 A). Natomiast do współpracy urządzeń technologicznych z wejściami układu sterowania należy stosować zestyki na napięcie i prąd nie niższe niż 24 V i 10 mA lub klucze tranzystorowe o napięciu U_{CEO} nie niższym od 30 V.

Dodatkowe dwa wyjścia sygnałowe, o tych samych parametrach jak omówione, wyprowadzone są do łączówki umieszczonej w górnym ramieniu robota. Zasadniczo są one przeznaczone do sterowania zaworami elektropneumatycznymi chwytaków robota (rys. 13). Do łączówki tej może być również przyłączony czujnik umożliwiający spełnianie funkcji szukania jego zestyku lub równoważnego stopnia tranzystorowego kończy szukanie.

przełącznika termicznego ponowne uruchomienie robota jest możliwe po odryglowaniu zabezpieczenia. Styczniki przełączane przyciskami panelu operatora załączają różne sekcje zasilania robota. Przy pomocy przycisków „GOTOWOŚĆ” i „PRACA” załącza się styczniki włączające odpowiednio zasilacz główny elektroniki oraz napięcie zasilania sterowników napędów. W przypadkach awaryjnych przerywa się obwód stycznika „PRACA”, wyłączając tym samym zasilanie napędów. Stan ten osiąga się także przez naciśnięcie przycisku „STOP AWARYJNY” względnie po zadziałaniu dowolnego przełącznika termicznego lub wyłącznika krańcowego ruchu dowolnej osi (ostatni przypadek dotyczy tylko robota IRb-60). Stop awaryjny następuje także w przypadku nadmiernego błędu położenia jednego z ramion robota. Zasilacz główny elektroniki jest źródłem stabilizowanych napięć 5 V, ± 15 V i 24 V. Zasilacz rezerwowy jest źródłem napięcia stabilizowanego 5 V w celu zabezpieczenia programu użytkowego zapisanego w pamięci robota w przypadku zaniku napięcia zasilania. Napięcie 5 V zasilania pamięci uzyskuje się wtedy z przetwornicy o zasilaniu bateryjnym.

3.2. Uruchamianie i programowanie

Komunikacja operatora z układem sterowania robotów IRb odbywa się za pośrednictwem panelu operacyjnego i panelu programowania. Panel operacyjny (rys. 15) służy do włączania robota oraz nastawiania



Rys. 15. Panel operacyjny robota IRb

różnych rodzajów pracy i po wprowadzeniu programu wystarcza do sprawowania pełnej kontroli nad robotem. Panel programowania jest niezbędny jedynie w trakcie:

- ręcznego sterowania (np. po włączeniu w fazie synchronizacji),
- nauczania (programowania) robota,
- sprawdzania i korekcji programu.

Opisane niżej funkcjonowanie układu sterowania w różnych fazach jest wymuszane przez program sterujący, zapisany w pamięci stałej o pojemności 7 kB. Program ten jest wykonywany w trybie przerwań. Wywoływana z częstotliwością 98 Hz procedura obsługi zegara powoduje odczyt stanów przycisków panelu operacyjnego. W zależności od tych stanów oraz aktualnego trybu pracy wymuszana jest właściwa realizacja programu sterującego na bieżący okres około 10 ms.

Znaczącą część programu sterującego stanowią procedury interpretacji instrukcji programowania pracy robota; zestaw tych procedur jest interpreterem języka programowania robota.

3.2.1. Uruchamianie robotów IRb

Po każdorazowym załączeniu do sieci robot wymaga synchronizacji, czyli ustawienia części manipulacyjnej w pewnym określonym położeniu zerowym, stanowiącym pozycję odniesienia dla dalszych ruchów robota. Konieczność synchronizacji wynika ze sposobu pomiaru położenia jednostek ruchu — rezolwery realizują pomiar w trybie przyrostowym, bez absolutnej bazy odniesienia.

Wymagana kolejność czynności przy włączaniu robota jest następująca:

1. włączyć napięcie sieciowe (obrócić przełącznik „SIEĆ” do położenia „1”),
2. włączyć zasilacz układów elektronicznych (wcisnąć przycisk „GOTOWOŚĆ”),
3. włączyć zasilanie silników robota (wcisnąć przycisk „PRACA”).

Następnie, używając odpowiednich przycisków panelu programowania, należy doprowadzić poszczególne zespoły części manipulacyjnej do następujących orientacyjnych położonych wyjściowych przed synchronizacją:

- dolne ramię: położenie pionowe,
- górne ramię: położenie poziome,
- korpus robota: 30° w lewo, od położenia środkowego (patrząc od przodu),
- przegub — pochylenie: 45° w dół,
- przegub — obrót: położenie najwyższe otworu ustalającego w kołnierzu przegubu.

Przy takim ustawieniu części manipulacyjnej należy wciskać podświetlany przycisk „SYNCHRONIZACJA”. Wówczas każda z osi robota będzie obracać się, aż do osiągnięcia położenia zerowego. Gdy osiągnięte zostaną zerowe położenia w ruchu wokół wszystkich osi, zgaśnie lampka podświetlająca, wskazując zakończenie synchronizacji; wciskany dotąd przycisk należy zwolnić.

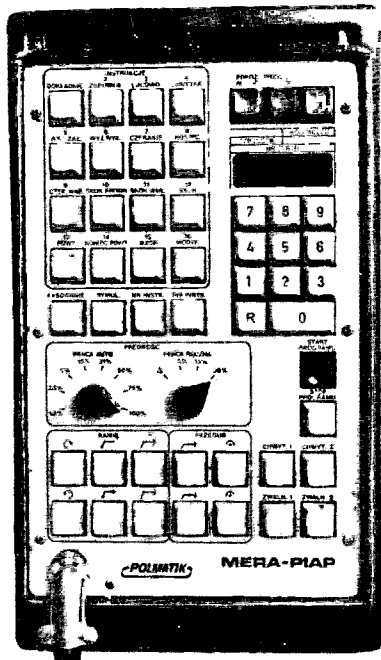
Po dokonaniu synchronizacji można przystąpić do wprowadzania programu użytkowego. Programy zadań już uprzednio realizowanych mogą być wprowadzane z pamięci kasetowej. Nowe zadania programuje się metodą nauczania przy wykorzystaniu panelu programowania.

Każdorazowy zanik zasilania na czas przekraczający 45 minut powoduje utratę programu użytkowego z pamięci RAM układu sterowania. Akumulatorowy zasilacz rezerwowy chroni przed utratą programu z pamięci RAM w sytuacjach krótkotrwałych przerw zasilania.

W pamięci RAM mogą znajdować się równocześnie cztery programy. Na panelu operacyjnym są umieszczone cztery przełączniki dwupołożeniowe „PROGRAM” (ZAŁ/WYŁ), służące do wyboru numeru programu (1, 2, 3 lub 4), który ma być układany, wykonywany, wpisywany do kasyety lub odczytywany z kasyety.

3.2.2. Tryby pracy układu sterowania

Możliwe są cztery tryby (rodzaje) pracy układu sterowania robota: *praca ręczna*, *praca automatyczna*, *czytanie z kasyety* i *wpisywanie do kasyety*. Włączenie



Rys. 16. Panel programowania robota IRb

zasilania ustawia tryb pracy ręcznej. Przełączanie trybu pracy jest dokonywane przy pomocy podświetlanych przycisków, umieszczonych na panelu operacyjnym (uaktywniony rodzaj pracy jest sygnalizowany podświetleniem odpowiadającego mu przycisku). Zmiana rodzaju pracy możliwa jest tylko podczas postoju robota (wygaszona lampka „START PROGRAMU”).

W trybie pracy ręcznej można sterować robotem posługując się panelem programowania (rys. 16), można go synchronizować i programować. Ułożony program można sprawdzić instrukcją po instrukcji oraz wnieść do niego poprawki. Sterowanie częścią manipulacyjną możliwe jest przy pomocy dwóch grup przycisków: „RAMIE” i „PRZEGUB” na panelu programowania. Prędkość w sterowaniu ręcznym jest wybierana przełącznikiem „PRĘDKOŚĆ—PRACA RĘCZNA”. Liczby na skali przy poszczególnych położeniach określają wartość prędkości w stosunku do prędkości maksymalnej. W położeniu oznaczonym „Δ” naciśnięcie przycisku z grupy „RAMIE” lub „PRZEGUB” powoduje ruch wokół odpowiedniej osi o jeden przyrost elementarny, odpowiadający najmniejszej odległości położenia, które mogą być zaprogramowane. W pracy ręcznej może być włączony tylko jeden z czterech programów (1, 2, 3 albo 4 tzn. ten, który będzie układany lub sprawdzany).

Praca automatyczna to automatyczne wykonywanie programu robota. W pamięci robota mogą być umieszczone cztery programy i wszystkie z nich mogą być włączone. W pracy automatycznej największa prędkość pozycjonowania jest ograniczona przez wartość ustawioną na przełączniku „PRĘDKOŚĆ—PRACA AUTO” podczas programowania tego pozycjonowania.

Tryby czytania z kasyety i wpisywania do kasyety umożliwiają przeniesienie programu użytkowego odpowiednio z zewnętrznej pamięci kasyetowej do pamięci RAM i na odwrót. Numer przenoszony programu należy wybrać, uaktywniając jeden z czterech przełączników „PROGRAM”.

3.2.3. Wprowadzenie programu użytkowego

Jak już wspomniano, robot IRb jest programowany metodą uczenia przy wykorzystaniu panelu programowania. Panel programowania (rys. 16) wyposażony jest w 16 przycisków instrukcji. 5 par przycisków umożliwiających ręczne sterowanie w obu kierunkach pięcioma osiami robota, 2 pary przycisków (CHWYT./ZWALN.) ręcznego sterowania otwieraniem i zamykaniem dwóch chwytaków, 10 przycisków klawiatury dziesiętnej, 2 wielopozycyjne przełączniki obrotowe do nastawiania prędkości silników napędowych (dla sterowania ręcznego i automatycznego), wyświetlacz cyfrowy czteropozycyjny, przyciski START PROGRAMU i STOP PROGRAMU, przycisk RESET zerujący wyświetlacz cyfrowy oraz trzy lampki informacyjne o osiągnięciu położenia końcowego w którymś z realizowanych ruchów, przyjęciu instrukcji oraz błędzie w obsłudze. Ponadto panel programowania ma przycisk „KASOWANIE” do kasowania instrukcji, przycisk „SYMUL.” umożliwiający testowanie programu w pracy ręcznej, przycisk „NR INSTR.” umożliwiający wywołanie dowolnego numeru instrukcji przy pomocy klawiatury dziesiętnej oraz przycisk „TYP INSTR.”, po naciśnięciu którego wyświetlany jest na wyświetlaczu cyfrowym numer typu instrukcji (1÷16) wraz z jej argumentem.

W celu zaprogramowania (nauczania) pożądanej trajektorii operator wciska odpowiednie przyciski sterujące ruchem wokół poszczególnych osi tak, aby doprowadzić część manipulacyjną robota do kolejnego wymaganego położenia. Po jego osiągnięciu wciska przycisk odpowiedniej instrukcji pozycjonowania, co powoduje zapis w pamięci RAM kodu tej instrukcji (definiującego sposób realizacji ruchu), aktualnych współrzędnych położenia (w postaci bezwzględnej albo względem położenia poprzedniego) oraz wymaganej prędkości (określonej aktualną pozycją obrotowego przełącznika prędkości) albo żądanego czasu realizacji ruchu.

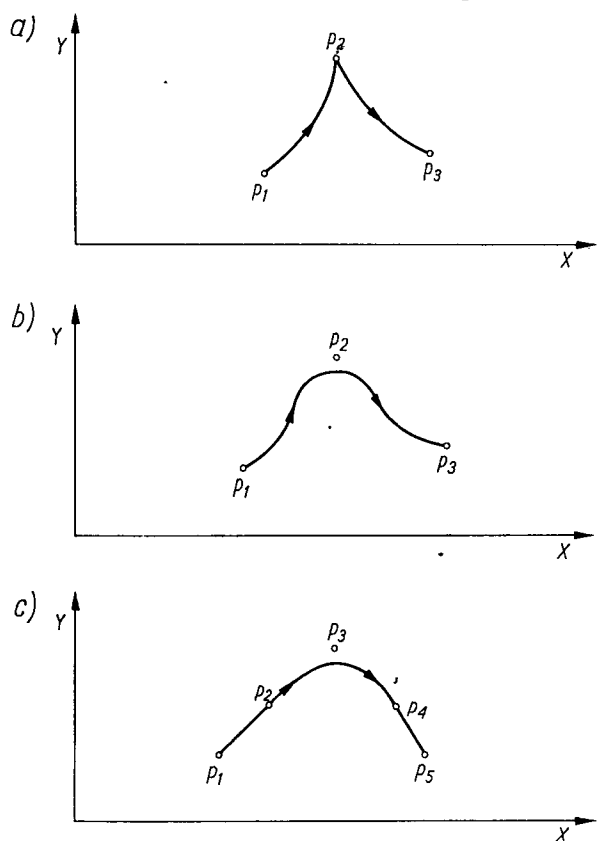
Pomiędzy instrukcjami pozycjonowania, które określają trajektorię ruchów robota, mogą być wprowadzane inne instrukcje, jak np. POWTÓRZENIE, SKOK, OCZEKIWANIE. Ich umieszczenie w pamięci następuje przez wciśnięcie odpowiedniego przycisku instrukcji oraz wprowadzenie za pomocą klawiatury dziesiętnej ciągu liczb, będących wartościami argumentów tych instrukcji, np. dla instrukcji oczekiwania wartości czasu oczekiwania. Kolejno-wprowadzone instrukcje automatycznie otrzymują kolejne numery będące wielokrotnością 10, tak więc pierwsza instrukcja otrzymuje numer 10, a każda następna numer o 10 większy od poprzedniej (tzn. 20, 30, 40 itd). Przy takiej numeracji łatwa jest korekta pro-

gramu przez dodanie nowych instrukcji do „wnętrza” programu, gdyż operator może nadać instrukcji dowolny numer przy pomocy klawiatury dziesiętnej, np. 25 czy 312.

3.2.4. Zestaw instrukcji programowania

Repertuar instrukcji robota IRb obejmuje 16 pozycji, odpowiadających przyciskom panelu programowania (podane nazwy są identyczne jak opisy przycisków na panelu):

1. DOKŁADNIE — pozycjonowanie dokładne
2. ZGRUBNIE — pozycjonowanie zgrubne
3. LINIOWO — pozycjonowanie wzdłuż prostej
4. CHWYTAK — przełączanie chwytaka
5. WYJ. ZAŁ. — załączanie wyjść binarnych
6. WYJ. WYŁ. — wyłączanie wyjść binarnych
7. CZEKANIE — czekanie bezwarunkowe przez okres czasu
8. KONIEC — instrukcja końca programu
9. CZEK. WAR. — warunkowe czekanie na załączenie wejścia binarnego
10. SKOK PROG. — skok do innego programu (warunkowy)
11. SKOK WAR. — skok warunkowy
12. SKOK — skok bezwarunkowy
13. POWT. — instrukcja początku pętli (powtórzenie)
14. KONIEC POWT. — instrukcja końca pętli
15. WZÓR — instr. początku pętli zawierającej modyfikację
16. MODYF. — instr. początku części modyfikowanej w pętli



Rys. 17. Trajektorie ruchu uzyskiwane przy wykorzystaniu poszczególnych typów instrukcji pozycjonowania: a) DOKŁADNIE, b) ZGRUBNIE, c) LINIOWO

Instrukcje pozycjonowania „DOKŁADNIE i ZGRUBNIE” wymuszają przemieszczanie poszczególnych zespołów robota do pozycji o współrzędnych bezwzględnych zapamiętanych w momencie programowania danej instrukcji (wciskania odpowiadającego jej przycisku). Ruch wokół każdej osi odbywa się niezależnie z prędkością określoną położeniem przełącznika wyboru prędkości w momencie programowania. Tor ruchu osiągnięty tymi instrukcjami nie jest w ogólności kontrolowany — poszczególne ruchy składowe kończą się niejednocześnie. Przejście do kolejnej instrukcji po pozycjonowaniu dokładnym następuje po osiągnięciu zadanego położenia. Po pozycjonowaniu zgrubnym — w momencie rozpoczęcia hamowania ostatniego z ruchów składowych. Pozycjonowanie zgrubne jest więc stosowane przy ruchach o małych wymaganiach na dokładność pozycjonowania (np. przy omijaniu przeszkód); charakteryzuje się „miękością” przejścia do kolejnego ruchu (rys. 17b) w porównaniu do uzyskiwanego przy pozycjonowaniu dokładnym (rys. 17a).

Istnieją opcje specjalne tych instrukcji. Możliwe jest zaprogramowanie ruchów dokładnie pionowych oraz poziomych. Możliwe jest także uaktywnianie funkcji szukania polegającej na przerywaniu pozycjonowania w efekcie zadziałania binarnego czujnika szukania, który może być instalowany na chwytaku lub narzędziu. Opcjom tym odpowiadają wartości dodatkowego argumentu numerycznego. Powinien on być ustalony przy pomocy klawiatury cyfrowej w trakcie programowania: 1 — dla uzyskania ruchu pionowego lub poziomego, 2 — dla załączenia funkcji szukania, 3 — dla ruchu pionowego (poziomego) z załączeniem funkcji szukania.

Instrukcja pozycjonowania „LINIOWO” różni się zasadniczo od poprzednich. Jej argumentem jest czas pozycjonowania z zakresu od 0,2 s do 9,9 s z krokiem 0,1 s albo od 1 s do 99 s z krokiem 1 s, obowiązującym dla wszystkich ruchów składowych. Na jego podstawie następuje automatyczne wyliczenie stałych prędkości ruchów składowych tak, aby ruchy te kończyły się równocześnie. W efekcie instrukcja ta wymusza realizację toru prostoliniowego — rys. 17c. Ponadto współrzędne punktu docelowego zapamiętywane są w postaci przyrostowej (względnej) w stosunku do położenia, od którego ruch ma się rozpoczynać — w odróżnieniu od bezwzględnej postaci współrzędnych w przypadku instrukcji „DOKŁADNIE i ZGRUBNIE”. Dzięki temu możliwe jest np. realizowanie tej samej sekwencji wymaganych ruchów robota względem obiektu o niezbyt dokładnie ustalonym położeniu. W takim przypadku odpowiednia sekwencja instrukcji pozycjonowania liniowego powinna być poprzedzona instrukcją pozycjonowania np. „DOKŁADNIE” o uaktywnionej funkcji szukania (szukanie położenia tego obiektu). W cyklu automatycznym współrzędne tego znalezionej rzeczywistego położenia obiektu będą stanowić bazę, względem której odmierzane będą przyrosty ruchów odpowiadających tej sekwencji instrukcji „LINIOWO”.

Przy wykorzystaniu instrukcji LINIOWO jest możliwe uzyskanie ruchu prostoliniowego z nałożonym ruchem dodatkowym. W tym celu należy ustalić w trakcie programowania także wartości dodatkowych argumentów instrukcji (oprócz krotności kroku czasu pozycjonowania). Można nałożyć ruch oscylacyjny odpowiadający realizacji pętli dwóch do sześciu

pozycjonowań prostoliniowych (3 do 7 instrukcji „LINIOWO”). Wynikowy ruch jest ruchem oscylacyjnym płaskim lub przestrzennym, bardzo pożądanym np. w procesie spawania łukowego.

Instrukcja „CHWYTAK” służy do ustawiania chwytaków w żądanym położeniu, określonym stanem przycisków CHWYT./ZWALN. w momencie wprowadzania instrukcji. Argumentem instrukcji jest też wartość czasu opóźnienia (wielokrotność 0,1 s z przedziału od 0 do 5 s), z jakim realizowane jest to ustawienie.

Instrukcje „WYJ. ZAŁ.” i „WYJ. WYŁ.” umożliwiają załączanie i wyłączanie czternastu wyjść oraz szesnastu flag (wskaźników). Wyjścia o numerach od 1 do 14, mogą być zastosowane do przełączania współpracujących urządzeń dwustanowych. Natomiast flagi, o numerach od 17 do 32, służą do sygnalizacji wewnętrznej (jest to mechanizm programowy działający jak wewnętrzny wyłącznik).

Instrukcja „CZEKANIE” umożliwia realizację oczekiwania przez czas będący wielokrotnością $\langle 1, 99 \rangle$ okresu 0,1 s.

Instrukcja „KONIEC” jest ostatnią instrukcją programu. Po jej rozpoznaniu następuje rozpoczęcie wykonywania następnego załączonego programu albo ponowne rozpoczęcie programu danego, jeśli tylko on jest załączony.

Argumentem instrukcji „CZEK. WAR” jest numer jednego z szesnastu wejść binarnych. Od stanu tego wejścia zależy czy program ma być kontynuowany, czy też ma nastąpić czekanie. Gdy zestyk wejścia jest zwarty, program jest kontynuowany. W przeciwnym przypadku układ oczekuje na zwarcie zestyku.

Instrukcja „SKOK Progr.” służy do sprawdzania sygnałów wejściowych, od których zależy czy dany program ma być kontynuowany, czy też robot ma przejść do wykonywania innych załączonych programów. Do sprawdzania służą te same wejścia, jak w przypadku instrukcji „CZEK. WAR.”.

Argumentem instrukcji „SKOK WAR.” jest numer warunku — numer wejścia binarnego (od 1 do 16) lub flagi (od 17 do 32). Aktywna wartość warunku — zwarcie zestyku wejściowego lub ustawiona flaga — powoduje przeskoczenie następnej instrukcji programu. W przeciwnym przypadku następuje przejście do następnej (kolejnej) instrukcji programu użytkowego. Często tą następną instrukcją jest „SKOK” (bezwarunkowy). Jej argumentem jest adres docelowy.

Instrukcje „POWT.” i „KONIEC POWT.” odpowiednio rozpoczynają i kończą fragment programu, który ma być powtórzony wielokrotnie (nie więcej niż 99 razy). Krotność wykonania ustalana jest w trakcie programowania jako argument instrukcji „POWT.”. W jednym programie może być powtarzana większa liczba wycinków, lecz w obrębie jednego takiego wycinka nie mogą być zaprogramowane dalsze powtórzenia.

Instrukcje „WZÓR” i „MODYF.” stosowane są w programach, w których występują pewne czynności powtarzające się i inne zmieniające się. Typowym

przykładem jest zbieranie przedmiotów rozłożonych na palecie i podawanie ich do maszyny. Ruch robota od palety do maszyny, podawanie detali do maszyny i ewentualny powrót do pozycji oczekiwania są takie same dla wszystkich detali znajdujących się na palecie. Ponieważ poszczególne detale leżą w różnych miejscach, ich pobieranie musi być programowane indywidualnie. Podawanie detali odbywa się według pewnego wzoru, który jest modyfikowany dla każdego z nich. Instrukcja „WZÓR” służy do oznaczania początku wycinka programu realizującego takie działanie według wzoru.

Instrukcja „MODYF.” służy do wydzielania różniących się od siebie części wzoru. Jest ona używana przed każdą nową modyfikowaną częścią wzoru, która może składać się z pewnej liczby instrukcji różnych typów.

3.2.5. Możliwości funkcjonalne robota adaptacyjnego

Robot adaptacyjny umożliwia realizację wszystkich funkcji robota standardowego, a ponadto kilku funkcji dodatkowych. Są to:

- szukanie zgrubne,
- szukanie zgrubne z opóźnieniem,
- szukanie dokładne,
- szukanie swobodne,
- konturowanie,
- korekcja prędkości,
- korekcja pozycji,
- korekcja czasu.

Praca robota adaptacyjnego uzależniona jest od informacji przekazywanych przez czujniki. Pojawienie się sygnału z czujnika w trakcie szukania zgrubnego zatrzymuje ruch robota w zaprogramowanym kierunku. Szukanie zgrubne z opóźnieniem różni się tym od poprzedniego, że zatrzymanie ruchu następuje po upływie 0,5 s trwania sygnału z czujnika. Pozwala to na znalezienie naroży zewnętrznych obiektu. Natomiast realizując funkcję szukania dokładnego robot ustawia się dokładnie w tym położeniu, w którym następuje zmiana sygnału czujnika. Pozwala to na precyzyjne określenie położenia powierzchni.

Szukanie swobodne stosuje się przede wszystkim dla odnajdywania naroży wewnętrznych.

Funkcja konturowania umożliwia ruch robota wzdłuż krzywej o nieznanym a priori kształcie. Ruch robota zależy od informacji przekazywanych przez czujniki w czasie pracy robota (np. śledzenie położenia miejsca pod spoinę w trakcie spawania).

Korekcja prędkości pozwala uzależnić prędkość przesuwu robota wzdłuż zaprogramowanej trajektorii od sygnałów czujnika (np. dopasowywanie prędkości do wielkości naddatków materiału przy grатовaniu, szlifowaniu). Funkcja korekcji pozycji pozwala automatycznie korygować zaprogramowane zgrubnie pozycje w oparciu o trajektorię znaną z rezultacie pracy robota i zapisywać trajektorię zgodnie z kształtem obrabianego przedmiotu. Wreszcie funkcja korekcji czasu umożliwia optymalizację

cję prędkości ruchu robota w dowolnie dużych segmentach programu.

Przedstawione rozszerzenie możliwości funkcjonalnych robota adaptacyjnego uzyskane zostało przez modyfikację oprogramowania sterującego zainstalowanego w pamięci stałej oraz modyfikację sprzętową układu — wprowadzenie pakietu adaptacji (por. p. 3.1.4). Oczywiście pełne wykorzystanie tych możliwości wymaga wyposażenia obsługiwanych procesów w odpowiednie czujniki. Właściwe ich rozwiązanie często okazuje się trudne do zrealizowania.

3.2.6. Kontrola i poprawianie programów

W trybie pracy ręcznej można sprawdzać program robota krok po kroku, wywołując kolejną instrukcję naciśnięciem przycisku START PROGRAMU. Największą prędkość jest w tym trybie pracy zredukowana do 50% maksymalnej prędkości. Sygnały wejściowe podczas kontroli programu mogą być symulowane przyciskiem „SYMULACJA”. Zbędne instrukcje w programie można skasować za pomocą przycisku „KASOWANIE” lub w ich miejsce wprowadzić nowe instrukcje, postępując analogicznie jak w fazie programowania.

Do sprawdzanego programu robota można włączyć nowe instrukcje. W tym celu można wykorzystać istniejące 9 miejsc między sąsiednimi (pierwotnymi) instrukcjami lub przesunąć istniejące instrukcje do przodu poprzez skasowanie i wpisanie ich pod wyższymi numerami. Innym sposobem jest zastosowanie instrukcji bezwarunkowego skoku („SKOK”) i przeniesienia poprawek za instrukcje pierwotne. Zakończenie poprawek tworzy wówczas instrukcja typu SKOK z powrotem do odpowiedniego miejsca programu.

Instrukcja KONIEC musi być w tym przypadku uprzednio skasowana i umieszczona za poprawkami. Istnieje możliwość sprawdzenia typu instrukcji, której numer aktualnie jest wyświetlany na panelu programowania. W tym celu należy wcisnąć przycisk TYP INSTRUKCJI. Wówczas dwie pierwsze cyfry na wskaźniku cyfrowym pokazują numer typu instrukcji (odpowiadający numerowi przycisku danej instrukcji), a dwie ostatnie wartości jej argumentu (o ile istnieje). Wyjątek stanowi instrukcja LINIOWO. W jej przypadku po trwającym około 1 s wyświetlaniu numeru typu następuje wyświetlanie wartości argumentu z wykorzystaniem wszystkich czterech wskaźników.

Błędy popełnione przez operatora w różnych fazach obsługi lub programowania są sygnalizowane zapaleniem lampki BŁĄD OBSŁUGI na panelu operacyjnym i panelu programowania. Wyświetlacz cyfrowy pokazuje wtedy dwucyfrowy kod błędu. Dalsze sterowanie robotem lub jego programowanie możliwe jest dopiero po wykonaniu operacji, które spowodują skasowanie popełnionego błędu. Lista kodów błędów znajduje się w każdej dokumentacji techniczno-ruchowej robota [1]. Wyjaśnia ona przyczynę i sposób eliminacji błędu.

4. Sterowanie i programowanie robotów IRp

4.1. Opis układu sterowania

Nowymi wymaganiami, jakie stawia się obecnie układom sterowania robotów, są przede wszystkim:

— możliwość realizacji różnych typów interpolacji ruchu robota, a w szczególności interpolacji liniowej i kołowej,

— możliwość włączenia układu sterowania robota do zautomatyzowanej linii produkcyjnej, a więc możliwość jego włączenia do nadrzędnego sterowania,

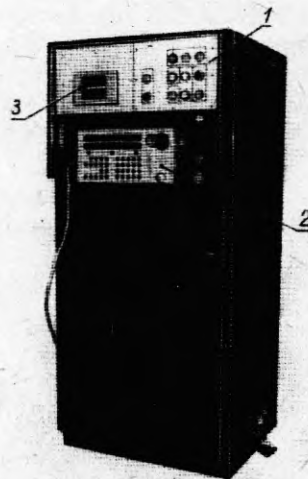
— możliwość programowania na wyższym niż dotychczas poziomie (programowanie interaktywne lub tekstowe),

— możliwość łatwego uzupełniania repertuaru instrukcji o nowe typy,

— zastosowanie najnowszych układów scalonych, zwłaszcza VLSI, w celu zmniejszenia gabarytów układu, poboru mocy oraz zwiększenia jego niezawodności,

— możliwość rozbudowy układu i dodawania nowych bloków funkcjonalnych.

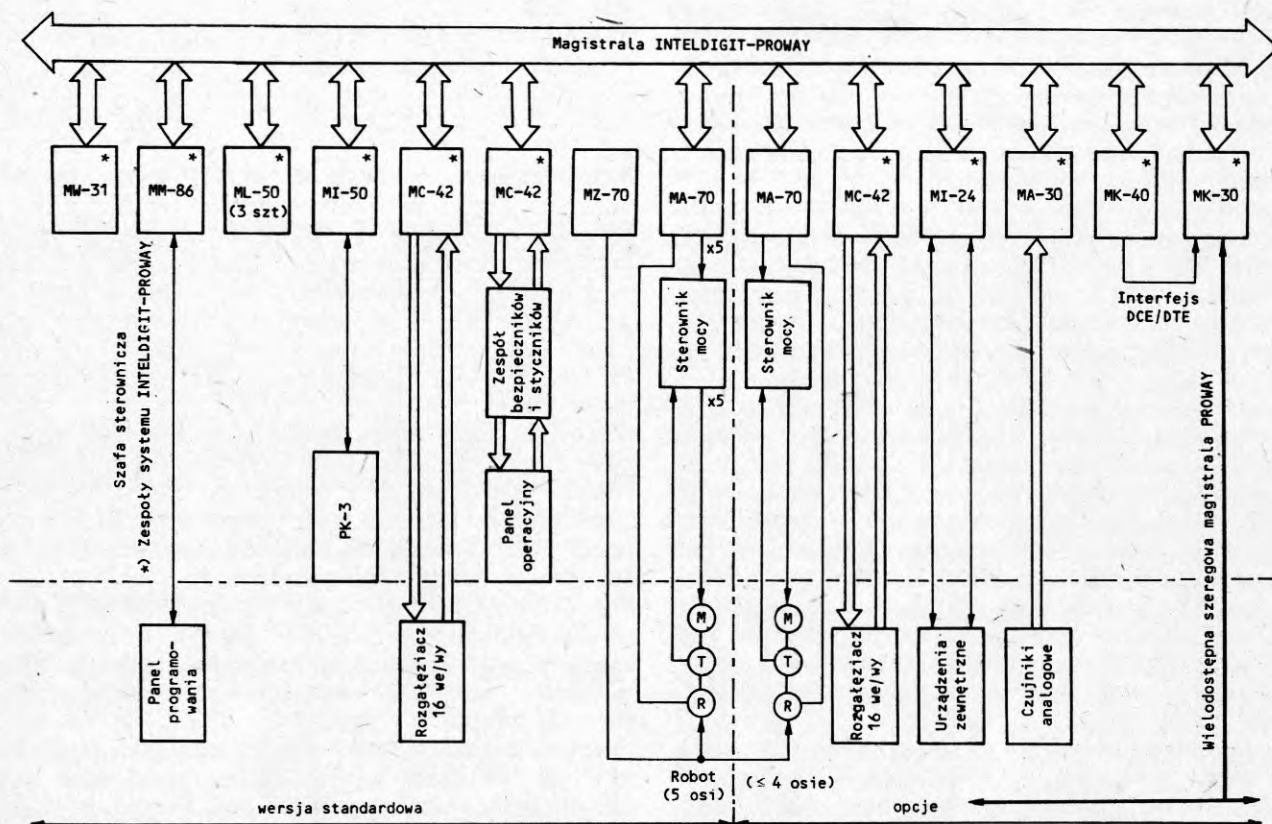
Aby wyjść naprzeciw nowym wymaganiom, w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów w Warszawie opracowany został nowy układ sterowania robotów z napędem elektrycznym. Powstała nowa rodzina robotów przemysłowych, oznaczona symbolem IRp (m.in. IRp-6, IRp-60, IRp-60Z, IRp-10, IRp-6L).



Rys. 18. Szafa układu sterowania robota IRp; 1 — panel operacyjny, 2 — panel programowania, 3 — jednostka pamięci kasetowej PK 3

Cały układ sterowania IRp jest zamontowany w szczelnej szafie (rys. 18), połączonej z częścią manipulacyjną robota kablem o długości maksymalnej do 15 m. Jego schemat blokowy jest przedstawiony na rys. 19. Układ elektroniczny zbudowano w postaci pakietów o wymiarach 233,4 × 220 mm, mniejszych niż w robotach IRb. Umieszczone są one w typowej kasecie 19-calowej, w której mieści się do 21 pakietów.

Transmisja sygnałów pomiędzy poszczególnymi pakietami kasyety odbywa się poprzez drukowany plater. Przyjęto magistralę typu AMS-BUS, wg normy



Rys. 19. Schemat blokowy układu sterowania robota IRp

BN-84/3105-03. Magistrala odpowiada elektrycznie i logicznie amerykańskiej normie IEEE 796 BUS na magistralę MULTIBUS.

4.1.1. Podstawowe bloki funkcjonalne

Część układu sterowania bazuje na pakietach opracowanych dla systemu INTEL DIGIT-PROWAY. Pakiety te oznaczone są na schemacie symbolem (*) i wraz z kasetą, platerem, zasilaczem i konstrukcją mechaniczną szafy stanowią tzw. *układ bazowy*, na podstawie którego można budować układy sterowania robotów różnych typów. Pozostałe pakiety i zespoły związane są już bezpośrednio z typem robota. Pakiety i zespoły standardowego wykonania układu sterowania umieszczone są po lewej stronie schematu blokowego (rys. 19).

Pracą całego układu steruje jednostka centralna MM-86. Wykorzystuje ona 16-bitowy mikroprocesor INTEL-8086. Pakiet ten zawiera między innymi pamięć danych RAM o pojemności 4 k słów 16-bitowych, pamięć programu EPROM o pojemności 4 k słów 16-bitowych, układ przerwań, interfejs równoległy (3 porty 8-bitowe) oraz interfejs szeregowy V-24. W układzie sterowania IRp jest wykorzystany interfejs szeregowy, do którego przyłączony jest panel programowania (do interfejsu równoległego nie jest przyłączone żadne urządzenie zewnętrzne).

Funkcje sterowania są w znacznej mierze określone przez program sterujący, wymagający pamięci o poje-

mności 30 k słów 16-bitowych. Jest zapisany w pamięci typu EPROM, częściowo na pakiecie jednostki centralnej, a częściowo na trzech pakietach pamięci ML-50. Na jednym pakiecie ML-50 można umieścić 16 k słów pamięci EPROM oraz pamięć danych RAM o pojemności 4 k słów 16-bitowych. W pamięci RAM jest zapisywany program użytkownika przy pomocy panelu programowania. W wersji standardowej (z trzema pakietami ML-50) można zapisać ok. 1000 instrukcji pozycjonowania. Liczbę tę można zwiększyć o ok. 300 przez włożenie dodatkowego pakietu pamięci RAM do kasy.

Pamięć programu użytkownika jest zasilana z oddzielnego źródła napięcia +5 V, do którego przyłączony jest zespół akumulatorów. Przy wyłączonym napięciu sieciowym akumulatory mogą podtrzymywać zasilanie pamięci RAM. Bateria akumulatorów w układzie sterowania robotów IRp ma pojemność wystarczającą do zasilania pamięci przy obciążeniu 4 A przez 30 minut.

Aby jednostka centralna mogła przesłać dane po magistrali do innych pakietów, magistrala ta musi być spolaryzowana. Układ polaryzujący linie magistrali kasy znajduje się na pakiecie kontroli MW-31. Na nim umieszczony jest także układ kontroli prawidłowego przekazywania danych po liniach magistrali, który obsługiwany jest przez program sterujący jednostki centralnej. Pakiet kontroli MW-31 kontroluje także napięcia stałe zasilania, używane w kasie. W przypadku wykrycia nieprawidłowej wartości któ-

regokolwiek napięcia, generowany jest sygnał wyłączający zasilanie szafy sterowniczej.

Program użytkownika może być zapisywany na taśmie magnetycznej. Jest wykorzystywana tu jednostka pamięci kasetowej PK-3, bardziej niezawodna i szybsza od pamięci PK-1 stosowanej w sterownikach robotów IRb. Pamięć PK-3 wbudowana jest w przednich drzwiach szafy. Funkcję interfejsu jednostki pamięci kasetowej spełnia pakiet MI-50, do którego można przyłączyć dwie jednostki. Jest opracowywany analogiczny pakiet dla sprzężenia układu sterowania ze stacją dysków elastycznych.

Do sterowania wyjść dwustanowych i przyjmowania informacji z wejść dwustanowych służą pakiety MC-42 (16 we/wy). Jeden z nich obsługuje lampki, przyciski i styki znajdujące się na panelu operacyjnym oraz w zespole bezpieczników i styczników. Drugi obsługuje 16 wejść i wyjść użytkownika. Parametry wyjść — 24 V, 0,5 A; parametry wejść — 24 V, 20 mA. Wejścia i wyjścia są oddzielone galwanicznie od magistrali kasety. Użytkownik ma możliwość dołączenia przewodów instalacji do szafy za pośrednictwem złącza, znajdującego się z boku szafy. Drugą możliwością jest zastosowanie rozgałęziacza wejść/wyjść wraz z odpowiednim kablem. W tym przypadku rozgałęziacz łączy się z szafą kablem, natomiast połączenia użytkownika są doprowadzone do listew zaciskowych umieszczonych wewnątrz rozgałęziacza. Dzięki takiemu rozwiązaniu cała instalacja zewnętrzna może być szybko odłączona od szafy w przypadku awarii.

Zespołem specjalizowanym, zastosowanym w robotach IRp, jest panel programowania (2 na rys. 18) służący do programowania (uczenia) robota. Programista „porozumiewa” się z układem sterowania, odpowiadając na wyświetlane pytania lub wybierając pewne warianty odpowiedzi lub parametry, jakie daje mu do wyboru układ. Na panelu programowania znajduje się wyświetlacz alfanumeryczny dwuwierszowy posiadający po 24 znaki w każdym wierszu. Górny wiersz wyświetlacza służy do pokazywania treści instrukcji programu użytkowego, informowania operatora o stanie robota, zadawania pytań itp. Dolny — pokazuje aktualną interpretację znaczenia grupy trzech przycisków instrukcji umieszczonych pod wyświetlaczem. Zastosowanie przycisków o zmiennym znaczeniu pozwoliło ograniczyć ich liczbę przy jednoczesnym umożliwieniu dowolnego powiększania repertuaru instrukcji. Do sterowania ruchami robota zastosowano dźwignię sterującą typu *joystick*. Przy jej pomocy można poruszać część manipulacyjną w trzech rodzajach współrzędnych: we współrzędnych wewnętrznych robota, we współrzędnych kartezjańskich x , y , z oraz we współrzędnych cylindrycznych. Układ elektroniczny panelu zawiera mikroprocesor 8080. Komunikacja między panelem a jednostką centralną realizowana jest interfejsem V-24.

4.1.2. Serwomechanizm położenia

Zespołami specjalizowanymi w wersji standardowej układu sterowania, charakterystycznymi dla robotów IRp, są także zespoły służące do realizacji ruchu wokół poszczególnych osi. Są nimi sterownik położenia, sterownik mocy oraz zasilacz rezolwerów. Przekonstruowaniu w stosunku do układu sterowania

IRb nie uległy sterowniki mocy napędzające silniki prądu stałego. W robotach IRp-6 są nimi układy TAR 1-A, a w IRp-60 — MAK-1 produkcji Instytutu Elektrotechniki. Zachowane zostały także sprzężenia zwrotne stosowane w układzie. Czujnikiem położenia jest transformator położenia kąтового (rezolwer), natomiast prędkość mierzona jest przez zastosowanie prądnicy tachometrycznej.

Znacznej zmianie uległy natomiast konstrukcje pakietów zasilania rezolwerów i sterownika położenia osi.

Pakiet zasilania rezolwerów MZ-70 wytwarza dwa napięcia sinusoidalne o częstotliwości ok. 2 kHz, przesunięte w fazie o 90° . Zmianie uległa postać sygnałów, które są sygnałami analogowymi o kształcie sinusoidy i cosinusoidy, a nie — jak w układzie sterowania IRb — sygnałami o przebiegu prostokątnym. Układ generowania tych sygnałów jest układem cyfrowym z przetwornikami cyfrowo/analogowymi na wyjściu.

Sterownik położenia osi MA-70 znajduje się na oddzielnym pakiecie i jest układem całkowicie cyfrowym. Sterownik ten bazuje na mikroprocesorze 8080, którego pracę określa program zapisany w pamięci stałej. Spełnia on podobne funkcje jak pakiet sterownika osi w robotach IRb.

Sterownik MA-70 odczytuje zmiany położenia wału silnika z dokładnością $1/1024$ obrotu i na podstawie tego odczytu uaktualnia zawartość rejestru błęd położenia przez dodawanie lub odejmowanie wartości tych zmian.

W czasie realizacji ruchu robota jednostka centralna MM-86 cyklicznie wysyła rozkazy przyrostu kąta obrotu wokół poszczególnych osi. Przyrosty te odczytuje sterownik i na ich podstawie uaktualnia odpowiednio zawartość rejestru błęd położenia. Istnienie błęd położenia w rejestrze powoduje, że następuje ruch względem tej osi, gdyż zawartość rejestru błęd położenia zostaje przekształcona na wyjściowy sygnał analogowy, który jest sygnałem zadanej prędkości dla sterownika mocy.

Sterownik położenia MA-70 umożliwia wykonywanie przyrostów elementarnych ruchu o wielkości $1/256$ obrotu (w robotach IRb — $1/200$ obrotu).

Dodatkową funkcją, jaką wykonuje sterownik położenia MA-70, jest ciągle informowanie nadrzędnej jednostki centralnej o rzeczywistym położeniu osi. Informacja ta jest oczywiście podawana po zsynchronizowaniu robota, co musi być wykonywane ze względu na stosowanie rezolwera jako czujnika położenia. W układzie sterowania znajduje się standardowo po 5 sterowników położenia i mocy, ale liczbę tę można zwiększyć do 9.

4.1.3. Możliwości rozbudowy układu

W układzie sterowania można wielokrotnie niektóre opisane pakiety i przez to zwiększyć jego możliwości. Dotyczy to w szczególności zwiększenia pojemności pamięci, zwiększenia do 32 liczby wejść i wyjść oraz zwiększenia do 9 liczby jednostek ruchu z silnikami prądu stałego. Można również zastosować inne pakiety należące do systemu INTEL DIGIT—PROWAY i umożliwić przez to realizację dodatkowych funkcji ważnych w niektórych zastosowaniach robotów. Przykładowo pakiet interfejsu MI-24 mający dwa kanały transmisji szeregowej V-24 stosuje się

w przypadku konieczności komunikacji z takimi urządzeniami zewnętrznymi, jak układ wizyjny lub nadrzędny komputer.

W razie konieczności użycia czujników o wyjściach analogowych, można zastosować pakiet wejść analogowych MA-30. Zawiera on 8 kanałów wejść sygnałów analogowych o zakresie 0—10 V. Wejścia te są oddzielone galwanicznie od magistrali kasyety. Jeśli układ sterowania robotów ma pracować w elastycznych systemach produkcyjnych [5], należy użyć dwa dodatkowe pakiety — kontroler komunikacyjny MK-40 i sterownik linii MK-30. Zapewniają one połączenie układu sterowania z wielodostępną szeregową magistralą systemu PROWAY, określoną dokumentami normalizacyjnymi Komitetu 65 IEC. Interfejs komunikacyjny DTE/DCE pomiędzy układem sterowania a magistralą systemu PROWAY określony jest dokumentami IEC-TC 65 A.

4.2. Programowanie

4.2.1. Charakterystyka ogólna możliwości funkcjonalnych

W porównaniu z układem sterowania robotów IRb układ sterowania robotów IRp:

- ma wielokrotnie większą moc obliczeniową, która może być dalej zwiększona przez dodanie koprocссора arytmetycznego,
- jest wyposażony w panel programowania mający wyświetlacz alfanumeryczny, joystick i rozbudowaną klawiaturę.

Cechy te umożliwiły realizację oprogramowania podstawowego, które nadało robotom IRp zupełnie nowe właściwości.

Zmianie uległa forma programowania. Programista przygotowuje program użytkowy w trybie rozwiniętej konwersacji. Jego praca jest wspomagana komentarzami podawanymi przez system. Dużą część parametrów programyści określa przez wskazanie jednej z możliwości podawanych przez system na wyświetlaczu. Programowanie jest szybsze, kontrolowane przez system, a prawdopodobieństwo popełnienia pomyłek jest mniejsze. Wyposażenie robota w joystick dodatkowo przyspiesza i ułatwia programowanie instrukcji ruchu robota.

Zasadniczej zmianie uległa realizacja ruchu ramienia robota. W przypadku układu sterowania IRp trajektorię ruchu można określić w najwygodniejszych dla użytkownika współrzędnych kartezjańskich z wykorzystaniem interpolacji liniowej i kołowej. W trakcie ruchu kontrolowana jest prędkość liniowa i orientacja narzędzia, przy czym ruch jest określany dla zadanego punktu roboczego i orientacji narzędzia (dla robotów 5-osiowych orientacja narzędzia jest definiowana przez orientację wskazanej osi narzędzia). Dla zaprogramowania takiej samej trajektorii, w przypadku robota IRp, konieczne jest wprowadzenie mniejszej liczby instrukcji pozycjonowania niż w przypadku robota IRb.

4.2.2. Zasady programowania

Ogólna zasada programowania robotów IRp jest taka sama jak robotów IRb. Operator uczy robota, do jakich punktów ma być wykonywane pozycjonowanie w trakcie pracy automatycznej. Jednakże sposób określania tych punktów uległ istotnej zmianie. W przypadku robota IRb operator manipulując poszczególnymi osiami części manipulacyjnej robota tak dobiera ich konfigurację, aby narzędzie przyjęło żądane położenie w przestrzeni roboczej. Przy programowaniu robota IRp zadaniem operatora jest doprowadzenie, przy użyciu joysticka, punktu roboczego narzędzia (TCP — tool center point) i orientacji jego osi do wymaganego położenia. Nie zważając na to, jaka musi być konfiguracja osi manipulatora, operator przemieszcza punkt TCP w wybranym układzie współrzędnych tak, aby punkt TCP poruszał się w żądanym kierunku i żeby narzędzie uzyskało właściwą orientację. Problem sterowania poszczególnymi osiami części manipulacyjnej robota jest rozwiązywany autonomicznie przez układ sterowania. Możliwość wykorzystania joysticka do poruszania narzędziem w wybranym układzie współrzędnych znacznie ułatwia zaprojektowanie i zaprogramowanie właściwej trajektorii ruchu punktu TCP.

Dzięki zastosowaniu wyświetlaczy alfanumerycznych, forma wyświetlanej informacji stała się bardziej przystępna dla operatora. W szczególności instrukcje wchodzące w skład programu użytkowego mają mnemoniki literowe, będące polskimi słowami (lub ich skrótami) opisującymi czynność, która ma zostać wykonana przy interpretacji instrukcji. Jest rzeczą oczywistą, że mnemoniki alfanumeryczne są bardziej czytelne dla operatora niż oznaczenia numeryczne, stosowane przy programowaniu robotów IRb. Wyświetlacze alfanumeryczne, oprócz zwiększenia czytelności informacji, pozwoliły na zastosowanie przycisków funkcyjnych i nowej techniki komunikacji operatora z systemem, tzw. *menu*. W technice tej przyciski funkcyjne mają zmienne znaczenie, w zależności od sytuacji, w której zostaną użyte. Aktualne znaczenie tych przycisków uwidocznione jest na wyświetlaczu znajdującym się powyżej nich.

Dialog operatora z systemem polega na wyświetlaniu przez system menu dostępnych w danej chwili możliwości wykonania określonych akcji i wybieraniu przez operatora czynności, które mają zostać wykonane. Jeżeli zrealizowanie zlecenia wymaga dostarczenia dodatkowych informacji, to precyzowanie żądania operatora odbywa się na kolejnych poziomach menu. Jeżeli na danym poziomie menu jest do wyboru więcej możliwości niż przycisków, to do kolejnych elementów menu operator może dotrzeć posługując się przyciskiem przeglądania menu.

Programowanie przy użyciu techniki menu uwalnia operatora od konieczności pamiętania kolejności wprowadzania poszczególnych parametrów programowanej instrukcji. O wszystkim pamięta system i odpowiada operatorowi, co należy w danej chwili zrobić. Zadaniem operatora jest wybranie jednej z przedstawionych możliwości. Taki sposób współ-

pracy z operatorem znacznie zmniejsza możliwość popełnienia błędów — operator ma do wyboru jedynie opcje dopuszczalne w danym stanie pracy systemu.

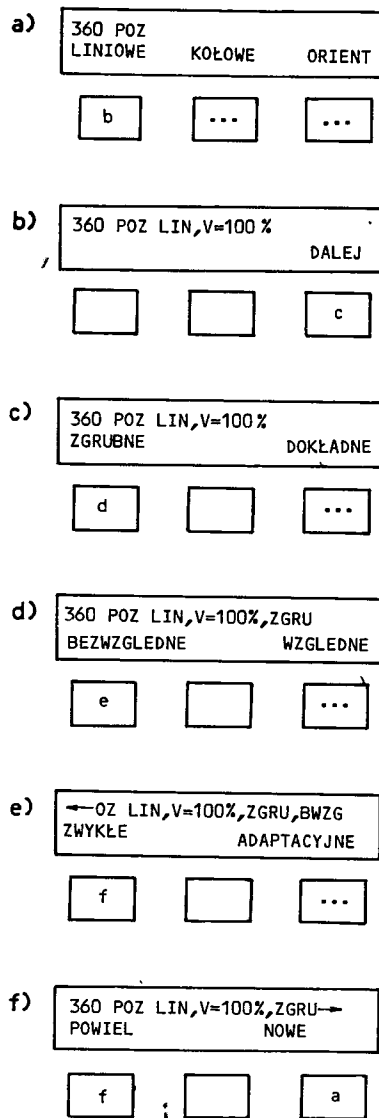
Możliwość popełnienia błędu w programie użytkowym zmniejszono również dzięki zastosowaniu kontroli wpisywania parametrów numerycznych. Każdy parametr numeryczny ma takie cechy jak typ (całkowity, stałoprzecinkowy), znak (bez znaku, ze znakiem), zakres zmienności. System na bieżąco kontroluje, czy operator wprowadza parametr o właściwych cechach. W przypadku wykrycia błędnych działań operatorem system sygnalizuje to, wyświetlając kod błędu i jego krótki opis. Pozwala to operatorowi na szybkie wyeliminowanie przyczyny powstania błędu.

W dialogu operator — system wyróżniono kilka tematów, których dialog może dotyczyć. Każdemu tematowi przyporządkowano przyciski na panelu programowania. Dzięki temu operator w dowolnej chwili, w prosty sposób przez naciśnięcie przycisku może zainicjować dialog na wybrany temat.

Dla zilustrowania sposobu programowania obowiązującego w robotach IRp poniżej przedstawiono przykład programowania instrukcji pozycjonowania. Kolejne stany wyświetlaczy alfanumerycznych przedstawiono symbolicznie na rys. 20. Większa, prostokątna ramka symbolizuje wyświetlacz, a trzy mniejsze prostokąty reprezentują przyciski znajdujące się pod wyświetlaczem. Litery umieszczone na przyciskach wskazują na fragment rys. 20, na którym przedstawiono stan wyświetlaczy po wybraniu opcji przypisanej temu przyciskowi. Przyciski dla opcji, które nie mają rozwinięć na rysunku, oznaczono wielokropkiem.

Załóżmy, że poprzednio operator programował instrukcję o numerze 360 inną niż instrukcja pozycjonowania. Przed rozpoczęciem programowania operator przy użyciu joysticka doprowadza punkt roboczy narzędzia do wybranej pozycji i odpowiednio orientuje oś narzędzia. Następnie naciskając przycisk inicjujący dialog na temat „programowanie instrukcji pozycjonowania” rozpoczyna wprowadzanie parametrów instrukcji (rys. 20a). Załóżmy, że operator chce, aby wykonanie pozycjonowania odbyło się przez przemieszczenie punktu TCP po linii prostej. Dla uzyskania takiego efektu musi wybrać opcję LINIOWE (por. p. 4.2.3).

Następnie przechodzi do programowania kolejnego parametru, tzn. prędkości ruchu (rys. 20b). Prędkość dla ruchu prostoliniowego jest określana w procentach prędkości podstawowej (programowanej przy użyciu innej instrukcji). Prędkość pokazana na wyświetlaczu jest taka sama, jak w ostatnio wyświetlonej instrukcji pozycjonowania. Dzięki temu operator programując kolejne instrukcje pozycjonowania, które mają być wykonywane z tą samą prędkością, nie musi za każdym razem wprowadzać tej samej sekwencji cyfr. Ułatwia to i przyspiesza proces programowania. Jeśli jednak zachodzi konieczność zmiany wartości prędkości, to operator może tego dokonać przy użyciu klawiatury numerycznej znajdującej się na panelu programowania. Załóżmy, że w prezentowanym tu przykładzie wartość prędkości jest prawidłowa, a więc operator wybiera opcję DALEJ. Teraz następuje przejście do określenia sposobu osiągnięcia punktu w trakcie wykonywania pozycjo-



Rys. 20. Przykładowa sekwencja stanów wyświetlaczy panelu programowania przy wprowadzaniu instrukcji pozycjonowania (objaśnienia w tekście)

wania (rys. 20c). Dla zapewnienia płynnego ruchu w przypadku ciągu instrukcji pozycjonowania operator może wybrać opcję ZGRUBNE.

Kolejnym parametrem, który należy wprowadzić, jest parametr określający sposób interpretacji pozycji zapamiętanej w instrukcji (rys. 20d). Przypuśćmy, że względy technologiczne wymagają, aby pozycjonowanie było wykonywane zawsze do tego samego punktu w przestrzeni roboczej, niezależnie od położenia punktu początku pozycjonowania. Taki przypadek operator może zaprogramować wybierając opcję BEZWZGLEDNE.

Ostatnim parametrem ruchu, który pozostał jeszcze do wprowadzenia, jest parametr określający, czy ruch będzie adaptacyjny czy zwykły, tzn. czy na sposób wykonania ruchu będą oddziaływały sygnały z czujników, czy też nie (rys. 20e — strzałka z lewej strony wyświetlacza oznacza, że nie cały tekst mieści się na wyświetlaczu, a pozostałą część tekstu można obejrzeć po przesunięciu okienka wyświetlacza w kierunku wskazywanym przez strzałkę). Ponieważ ruch ma odbywać się niezależnie od stanu czujników, operator wybiera opcję ZWYKŁE.

W tym momencie instrukcja pozycjonowania została

zaprogramowana. Oznacza to, że do parametrów wprowadzonych przez operator zostały dołączone współrzędne punktu TCP o orientacji, jaką miało narzędzie w chwili wybrania opcji ZWYKŁE, i tak powstała paczka informacji została wpisana do pamięci systemu jako instrukcja pozycjonowania o numerze 360 (rys. 20f).

Operator może teraz przejść do programowania nowej instrukcji pozycjonowania o parametrach takich samych, jak instrukcja nr 360 — opcja POWIEL, lub całkowicie nowej instrukcji pozycjonowania — opcja NOWE lub może zmienić temat dialogu.

4.2.3. Instrukcje programowania

Programy użytkowe robotów IRp są tworzone przy wykorzystaniu następujących instrukcji (realizowanych przez program sterujący):

POZ LIN — pozycjonowanie liniowe,

POZ ORIENT — pozycjonowanie bez zmiany położenia TCP (zmiana orientacji),

POZ TCP — pozycjonowanie bez zmiany orientacji,

POZ QLIN — pozycjonowanie quasiliniowe,

POZ KOŁO — pozycjonowanie kołowe,

POZ SWOB — pozycjonowanie z szukaniem swobodnym,

NARZĘDZIE — wybór narzędzia,

UKŁAD — wybór układu współrzędnych,

PRĘDKOŚĆ — określenie prędkości,

CHWYTAK — operacja na chwytakach,

USTAW — ustawienie wartości zmiennej,

CZEKAJ — czekanie,

CZEKAJ NA — czekanie na spełnienie warunku,

SKOK — skok bezwarunkowy,

SKOK GDY — skok warunkowy,

POWTÓRZ — początek pętli,

WYSKOCZ — przerwanie pętli,

KONIEC POWTARZANIA — koniec pętli,

CZUJNIK — aktywizacja lub dezaktywizacja czujnika,

KOR POZ — korekcja pozycji,

WYKONAJ — wywołanie podprogramu,

POWRÓC — powrót z podprogramu,

PALETA — obsługa palety.

Najważniejszą grupą instrukcji są instrukcje ruchu (pozycjonowania). Wykonanie instrukcji ruchu, w zależności od jej typu, polega na zmianie położenia punktu centralnego i orientacji narzędzia po zadanej trajektorii.

W zależności od sposobu wykonywania pozycjonowania instrukcje ruchu dzielą się na następujące rodzaje:

— pozycjonowanie liniowe (POZ LIN),

— zmiana orientacji osi narzędzia (POZ ORIENT),

— pozycjonowanie liniowe bez zmiany orientacji (POZ TCP),

— pozycjonowanie kołowe (POZ KOŁO),

— pozycjonowanie quasiliniowe (POZ QLIN),

— pozycjonowanie swobodne (POZ SWOB).

Pozycjonowanie liniowe jest takim ruchem, podczas którego punkt centralny narzędzia przycelowanego do końcówki ramienia robota (kołnierza) porusza się po linii prostej ze stałą prędkością. Orientacja narzędzia zmienia się do zadanej wartości końcowej w sposób jednostajny.

Zmiana orientacji osi narzędzia jest ruchem, w którym położenie punktu TCP jest stałe, a zmienia się jedynie orientacja narzędzia (zadaną prędkością). Pozycjonowanie liniowe bez zmiany orientacji jest szczególnym przypadkiem pozycjonowania liniowego, w którym orientacja narzędzia nie zmienia się podczas wykonywania ruchu.

Pozycjonowanie kołowe umożliwia wykorzystywanie ruchu punktu TCP po trajektorii będącej okręgiem lub odcinkiem okręgu. W przypadku pozycjonowania kołowego bezwzględnie wykonana trajektoria przechodzi przez punkt początkowy, z którego rozpoczęte zostało wykonywanie instrukcji i przez dwa bezwzględnie określone (zapamiętane podczas programowania) punkty: punkt pośredni i końcowy. Tak więc promień i orientacja wykonanej trajektorii kołowej zależą od punktu początkowego. W przypadku pozycjonowania kołowego względnego promień, orientacja i droga katowa przebytej trajektorii kołowej są niezależne od położenia punktu początkowego.

Pozycjonowanie quasiliniowe polega na tym, że ruch ramienia robota do zadanego położenia końcowego narzędzia jest wykonywany w sposób jednostajny względem współrzędnych wewnętrznych robota (położenia osi silników). Wszystkie osie rozpoczynają i kończą ruch w tym samym momencie. Pozycjonowanie swobodne jest ruchem, którego kierunek zależny jest od stanu czujników. Wypadkowa prędkość ruchu jest wypadkową składowych, z których każda zależy od innego czujnika.

Większość instrukcji pozycjonowania ma dodatkowe parametry określające sposób wykonywania ruchu. Ruch może być wykonany dokładnie lub zgrubnie. Pozycjonowanie dokładne oznacza, że wykonywanie następnej instrukcji za daną instrukcją ruchu rozpocznie się dopiero wtedy, gdy robot osiągnie zadane położenie końcowe zadaną dokładnością. Podczas pozycjonowania zgrubnego, układ sterowania robota kontynuuje wykonanie programu użytkowego bez dokładnego dojścia do położenia końcowego.

Ponadto ruch może być wykonywany w sposób adaptacyjny. Możliwe są następujące funkcje adaptacyjne:

— konturowanie,

— szukanie,

— sterowanie prędkością.

Konturowanie umożliwia korekcję zaprogramowanej trajektorii w zależności od sygnałów z czujników.

Szukanie jest funkcją służącą do wykonywania instrukcji ruchu z nieznanym dokładnie położeniem końcowym. Ruch jest przerywany w chwili pojawienia się sygnału z czujnika.

Sterowanie prędkością jest funkcją adaptacyjną

służącą do wykonywania ruchu z prędkością zależną od sygnału z czujnika.

Poza instrukcjami ruchu występują następujące instrukcje sterowania wykonaniem programu użytkowego:

- skok bezwarunkowy (SKOK),
- skok warunkowy (SKOK GDY),
- instrukcje początku i końca pętli (POWTÓRZ, KONIEC POWTARZANIA),
- instrukcja przerwania pętli (WYSKOCZ),
- instrukcje wywołania i powrotu z podprogramu (WYKONAJ, POWRÓC).

Do wykonania skoku do instrukcji o zadanym numerze służą instrukcje skoku bezwarunkowego. W przypadku skoku warunkowego skok jest wykonywany, jeśli jest spełniony odpowiedni warunek.

Do zdefiniowania obszaru programu, który zostanie wykonany zadaną ilość razy, służą instrukcje początku i końca pętli. Jest możliwe przerwanie wykonywania pętli za pomocą instrukcji przerwania pętli.

Realizację często wykonywanych zadań w postaci podprogramów oraz podział dużego programu użytkowego na mniejsze procedury składowe umożliwiają instrukcje wywołania i powrotu z podprogramu.

Realizację zadanego czasu czekania w programie użytkowym (czekanie bezwarunkowe (CZEKAJ)) lub wstrzymanie wykonywania programu użytkowego do momentu spełnienia zadanego warunku (czekanie warunkowe (CZEKAJ NA)) umożliwiają instrukcje czekania.

Do otwierania i zamykania chwytaków zamocowanych na kołnierzu ramienia robota służy instrukcja operowania chwytakami (CHWYTAK). Maksymalnie mogą być zainstalowane dwa chwytaki.

Do określenia geometrycznych parametrów narzędzia służy instrukcja definicji narzędzia (NARZĘDZIE). Narzędzie zostaje zdefiniowane przez podanie współrzędnych punktu centralnego narzędzia oraz kątów Eulera orientacji narzędzia. Parametry te wyrażone są w układzie współrzędnych związanym z kołnierzem piątej osi robota.

Do określenia układu współrzędnych, względem którego będą wykonywane instrukcje ruchu, służy instrukcja wyboru układu współrzędnych (UKŁAD).

Do nadawania wartości zmiennym służy instrukcja podstawienia (USTAW). Wyrażenie podstawiane pod zmienną musi być takiego samego typu jak ustawiana zmienna. Jednym wyjątkiem jest zmienna typu rzeczywistego, dla której dopuszczalne jest podstawienie wyrażenia całkowitego.

Instrukcja podstawienia ma bardzo szerokie zastosowanie. Przede wszystkim instrukcja ta umożliwia wykonywanie operacji arytmetycznych, gdyż podstawiane wyrażenie może składać się z dwóch wielkości połączonych odpowiednim operatorem. Oprócz podstawiania pod zwykłe zmienne można ustawiać niektóre zmienne systemowe, np. wyjście. Podobnie, w wyrażeniu mogą występować zmienne systemowe, np. wejście. Tak więc instrukcja podstawienia obejmuje również instrukcje we/wy.

Instrukcje związane z funkcjami adaptacyjnymi to:

- aktywizacja lub dezaktywizacja czujnika (CZUJNIK),
- korekcja pozycji (KOR POZ).

Instrukcje aktywizacji i dezaktywizacji czujników służą do definicji tzw. wektorów korekcji określających sposób wykonywania korekcji trajektorii pod-

czas wykonywania instrukcji ruchu ze śledzeniem trajektorii.

Instrukcja korekcji pozycji umożliwia, podczas wykonywania programu użytkowego, zmianę położenia końcowego w dowolnej instrukcji ruchu.

Instrukcja PALETA umożliwia zaprogramowanie robota do obsługi obiektów umieszczonych na palecie (zdejmowanie z palety, umieszczanie na palecie, obróbka przedmiotów umieszczonych na palecie).

5. Zasady projektowania i przykłady zastosowań

5.1. Techniczno-organizacyjne aspekty robotyzacji

Zainteresowanie (a nawet fascynacja) takimi nowoczesnymi maszynami, jakimi dziś są jeszcze roboty przemysłowe, może być bardzo pomocne przy wdrażaniu robotów, w żadnym jednak przypadku nie powinno być tego jedyną czy choćby najważniejszą motywacją. Automatyzacja, a tym bardziej robotyzacja gniazda lub linii produkcyjnej, wiąże się zawsze ze znacznymi kosztami. Należy się przy tym liczyć, że w naszych warunkach gospodarczych często trudno jest uzasadnić ekonomiczną opłacalność tego rodzaju przedsięwzięcia. Decydując się na robotyzację jakiegoś procesu, zarówno przy jego wyborze jak również już przy projektowaniu instalacji należy mieć na uwadze, że w ostatecznym wyniku powinny być osiągnięte pewne cele produkcyjno-organizacyjne i techniczne.

Celami takimi mogą być:

- rozwiązanie problemu „wąskich gardeł” procesu, powodowanych przez brak chętnych do wykonywania ciężkich i monotonicznych prac czy absencją chorobową powodowaną przez złe warunki pracy,
- poprawienie i ujednoczenie jakości wyrobów,
- ogólne zwiększenie wydajności procesu,
- skrócenie czasu produkcji gotowego wyrobu,
- poprawa warunków BHP.

Decyzję o robotyzacji należy poprzedzić dogłębną i rzetelną analizą jej zasadności w każdym konkretnym przypadku. Pomocne w tym może być skorzystanie z poniższych wskazówek oraz rozważenie następujących zagadnień.

1. Stanowisko zrobotyzowane, dla zapewnienia jego maksymalnej opłacalności, powinno być jak najintensywniej wykorzystywane, najlepiej przez trzy zmiany, z niewielkimi przerwami konserwacyjnymi.

2. Należy dążyć do takiego zorganizowania i wyposażenia stanowiska, by mogło ono działać samodzielnie lub jedynie z niewielkim udziałem pracy ludzkiej, przez jak największą część zmiany. Tam, gdzie konieczny jest udział operatora, nie powinien on wpływać na wydłużenie cyklu pracy robota, ani też powodować jego bezużytecznego postoju.

3. Eliminowanie bezpośredniego udziału operatora i umożliwienie kontynuowania produkcji stanowiska zrobotyzowanego także podczas jego nieobecności wymaga, by wszystkie przez robot obsługiwane i nadzorowane sterowane maszyny pracowały w cyklu automatycznym. Ponadto należy zautomatyzować czynności pomocnicze wykonywane uprzednio ręcznie oraz zapewnić przetworzenie na odpowiednie sygnały elektryczne i doprowadzenie do robota wszystkich kluczowych informacji decyzyjnych o procesie.

4. Do czynności pomocniczych, które trzeba automatyzować, należą najczęściej:

- mocowanie i pozycjonowanie detalu,
- czyszczenie uchwytów obróbkowych,
- czyszczenie i smarowanie urządzeń, np. form,
- usuwanie wiórów i odpadów z przestrzeni roboczej i z maszyn,
- gratowanie,
- sprawdzanie itp. czynności kontrolne potwierdzające prawidłowy przebieg procesu,
- sprawdzenie jakości i stanu zużycia narzędzi (np. zużycia ściernicy),
- wymiana narzędzi.

5. Osobną sprawą są urządzenia wejściowe i wyjściowe gniazda. Są one najistotniejsze zwłaszcza tam, gdzie pierwotna instalacja wymagała w każdym cyklu ręcznego załadunku i rozładunku maszyn. Najczęściej urządzenia te rozwiązywane są w formie magazynów gwarantujących samodzielną pracę stanowisk co najmniej w ciągu 20 ÷ 60 minutowej nieobecności operatora. Zalecane jest przy tym, by ręczna obsługa magazynów mogła odbywać się spoza stanowiska, ze strefy bezpiecznej, bez konieczności zatrzymywania robota.

6. W przypadku przewidywanej zmiennej produkcji w stanowisku należy pamiętać o umożliwieniu jak najszybszego przezbierania maszyn stanowiska oraz samego robota. Czasy te powinny być tym krótsze, im krótsze są serie produkcyjne wyrobów.

7. Każde ze współpracujących urządzeń stanowiska musi gwarantować wysoki stopień niezawodności działania.

8. Przy analizie i ustalaniu zadań dla stanowiska zrobotyzowanego należy rozpatrzyć operacje poprzedzające i następujące po zrobotyzowanym procesie oraz starać się, o ile jest to możliwe bez uszczerbku dla całościowej wydajności procesu, włączyć je do automatyzowanego procesu. Należy przy tym dążyć do pełnego obciążenia zainstalowanych maszyn i robota.

Do wstępnego, orientacyjnego oszacowania, czy proponowana aplikacja ma szansę na racjonalne wdrożenie robota, mogą być pomocne odpowiedzi na zestawione poniżej pytania.

1. Czy z programu produkcyjnego i planów na najbliższe lata wynika dostateczne obciążenie dla proponowanego stanowiska zrobotyzowanego?

2. Jakie są spodziewane najważniejsze korzyści z tego wdrożenia (lepsze wykorzystanie maszyn, zmniejszenie zatrudnienia, poprawa wydajności, jakości produkcji itp.)?

3. Czy można rozszerzyć zadania produkcyjne stanowiska zrobotyzowanego o sąsiednie operacje w cyklu produkcyjnym (koncentracja procesu obróbkowego w jednym miejscu)?

4. Czy robotyzacja procesu wymaga wprowadzenia zmian technologicznych; na ile są one istotne w działaniu gotowego wyrobu i czy wprowadzenie ich może napotkać trudności?

5. Czy właściwości robota gwarantują dla analizowanego zastosowania dostateczny udźwig, zasięg, do-

kładność i szybkość działania, możliwość współpracy sygnałowej, pojemność pamięci itp.

6. Czy w stanowisku zrobotyzowanym będzie można wykorzystać urządzenia stosowane w dotychczasowym procesie; w jakim stopniu?

7. Czy robotyzacja stanowiska pozwoli zautomatyzować wszystkie realizowane tam czynności oraz na ile skomplikowane i dostępne urządzenia potrzebne są w tym celu?

8. Czy potrzebne będą badania laboratoryjne dla zweryfikowania nowych metod czy aparatury, proponowanych do zastosowania w stanowisku zrobotyzowanym, i na ile będą one skomplikowane?

9. W jakim stopniu wykorzystywane będą poszczególne urządzenia instalacji?

10. Czy w stanowisku zrobotyzowanym można będzie zrealizować cykl produkcyjny w wymaganym czasie?

Odpowiedzi na dwa pierwsze pytania mogą od razu wskazać na bezzasadność rozważanej propozycji zwłaszcza, gdy sytuacji tej nie zmieni odpowiedź na pytanie następne.

Gdy wstępna ocena wykaże, że aplikacja jest technicznie możliwa oraz uzasadniona ekonomicznie i organizacyjnie, należy zająć się opracowaniem założeń techniczno-ekonomicznych stanowiska zrobotyzowanego. Przygotowaniem do tego opracowania jest zweryfikowanie i uzupełnienie posiadanych już informacji i danych o robotyzowanym procesie. Pełne zestawienie materiałów wyjściowych do opracowania założeń powinno zawierać informacje:

- o wyrobach przeznaczonych do wykonywania w stanowisku, a w tym liczbę wariantów detali, rysunki gotowych wyrobów i półfabrykatów, ich ciężary, wymagania jakościowe, odporność na uszkodzenia,

- technologiczne: opis dotychczasowego procesu technologicznego na stanowisku, stosowane maszyny i urządzenia produkcyjne i kontrolne, czynności ręczne, wymagania specjalne dotyczące np. baz technologicznych, odpowiedniego ułożenia i mocowania podczas obróbki itp.,

- o wyposażeniu dotychczas stosowanym i przewidywanym, a w tym: dane techniczne, wymiary gabarytowe urządzeń technologicznych oraz ich położenie, wymiary i dostępność przestrzeni roboczej (zwłaszcza tej, w której będzie pracował robot), stosowane zabezpieczenia; należy tu również zwrócić uwagę na mocowanie detali w urządzeniach technologicznych, wymagania związane z załadunkiem i rozładunkiem maszyn oraz na sposoby sterowania nimi, stopień automatyzacji ich działania lub podatność na automatyzację,

- o czasach trwania czynności ręcznych i maszynowych oraz czasach trwania całego procesu obróbkowego dla każdego wariantu,

- o czasach przestawiania maszyn,
- o produkcji: zmienności, wielkości produkcji całorocznej, wielkości serii produkcyjnych i liczby przebrojeń rocznie, planach produkcyjnych na najbliższe lata, planach wprowadzania nowych wariantów.

tów wyrobów lub o przewidywanych zaniechaniach produkcji.

Powyższy materiał powinien być cały czas uzupełniany o nowo zdobywane informacje oraz notować należy wynikające z nich pomysły rozwiązań docelowych. Na podstawie tych informacji powinna być opracowana wstępna koncepcja robotyzacji stanowiska. Przed jej ostatecznym zatwierdzeniem do realizacji, należy wyselekcjonować jej fragmenty wymagające praktycznego sprawdzenia, np. przeprowadzenia prób laboratoryjnych we własnym zakresie lub w specjalistycznych instytucjach.

W tej wstępnej fazie istotne jest wytypowanie urządzeń do pracy w przyszłym stanowisku oraz znalezienie sposobów automatyzacji pracy wszystkich jego urządzeń składowych. Należy również stworzyć plan pracy robota (sekwencja czynności i sygnały wymieniane w stanowisku) oraz wstępnie zaplanować położenie urządzeń instalacji. Ważne jest też ustalenie wymagań dla chwytaka robota, stawianych przez poszczególne urządzenia stanowiska oraz zmieniający się kształt i położenie obrabianego detalu.

Kolejnym krokiem jest rozważenie zagadnienia urządzeń wejściowych i wyjściowych zrobotyzowanego stanowiska. Najczęściej problem ten sprowadza się do opracowania magazynów WE/WY. Przy ich opracowaniu należy zwracać uwagę na właściwe pozycjonowanie detali oraz na pojemność magazynów, zapewniającą dostatecznie długą, automatyczną pracę stanowiska.

Robot, zwłaszcza o dużym udźwigu i zasięgu, jest urządzeniem niebezpiecznym, zagrażającym ludziom znajdującym się w jego otoczeniu. Dlatego koncepcja stanowiska zrobotyzowanego musi uwzględniać wymagania zapewnienia bezpieczeństwa pracowników. Ponieważ nie ma jeszcze specjalnych przepisów regulujących warunki BHP w instalacjach zrobotyzowanych, przy projektowaniu należy przyjąć następujące zasady:

1. Stanowisko powinno być tak zorganizowane, by w jak najwyższym stopniu wyeliminować ryzyko kolizji obsługi z pracującym robotem.
2. Stanowisko zrobotyzowane powinno być ogrodzone tak, by nikt nie mógł znaleźć się przypadkowo w strefie niebezpiecznej pracy robota oraz pozostałych urządzeń technologicznych stanowiska (urządzenia te pracują najczęściej z wyłączonymi swoimi zwykłymi standardowymi zabezpieczeniami).
3. W ogrodzeniu stanowiska należy przewidzieć bramki wejściowe dla osób programujących robot, konserwujących czy ustawiających urządzenia stanowiska. Warunkiem koniecznym jest przy tym zainstalowanie wyłączników powodujących automatyczne zatrzymanie robota („STOP PROGRAMU”) w chwili otworzenia bramki. Ponowne uruchomienie powinno być możliwe dopiero po jej zamknięciu, ale przyciskiem niedostępnym z wnętrza ogrodzenia.
4. Należy starać się tak usytuować magazyny WE i WY, by ich obsługa przy załadunku i rozładunku odbywała się poza strefą niebezpieczną i aby mogła być realizowana w czasie pracy stanowiska.
5. Należy zainstalować wyłączniki awaryjne umieszczone w miejscach łatwo dostępnych, dla umożliwienia natychmiastowego zatrzymania robota w razie niebezpieczeństwa.
6. W wielu przypadkach godne zalecenia jest zain-

stalowanie pulpitu sterowniczego stanowiska zrobotyzowanego, umożliwiającego zdalne sterowanie pracą poszczególnych urządzeń stanowiska.

Ostateczna koncepcja wykrystalizuje się stopniowo, najczęściej dopiero po kilkurazowym, iteracyjnym przemyśleniu powyższych etapów. Dlatego cały czas przy tej pracy warto rejestrować nasuwające się pomysły, koncepcje i uwagi, które mogą zostać wykorzystane przy kolejnej weryfikacji pierwotnej koncepcji. Ostatecznie przyjęta koncepcja stanowi podstawę do opracowania projektu stanowiska. Projekt ten powinien zawierać:

1. Opis technologii i działania zrobotyzowanego stanowiska (gniazda, linii) wraz z planem lokalizacji urządzeń.
2. Specyfikację urządzeń technologicznych i osprzętu stanowiska.
3. Projekt urządzeń nietypowych, w tym chwytaka robota.
4. Projekt instalacji elektrycznej (zasilania, sygnalizacja, okablowanie, ew. pulpit sterowniczy całego stanowiska).
5. Projekt instalacji pneumatycznej (o ile będzie potrzebny).
6. Projekt budowlany (fundamentowanie, kanały kablowe itp).
7. Projekt instalacji BHP (wentylacje, odciągi miejscowe, chłodzenie, system bezpieczeństwa i inne).

Poza projektem stanowiska, w harmonogramie prac aplikacyjno-wdrożeniowych należy przewidzieć:

- badania testujące przyjętych koncepcji rozwiązań poszczególnych urządzeń,
- wykonanie, badania i poprawki nietypowych urządzeń stanowiska, traktowanych jako prototypy użytkowe,
- koncepcję sprzętu i montaż stanowiska,
- nadzór nad montażem instalacji stanowiska,
- rozruch stanowiska,
- oprogramowanie robota,
- szkolenie i trening personelu w obsłudze robota i całego stanowiska zrobotyzowanego,
- opracowanie DTR stanowiska.

Według dotychczasowych doświadczeń, średni koszt aplikacji wynosi ok. 1,5 ÷ 2,5 kosztu zakupu robota. Najkosztowniejsze są nietypowe urządzenia stanowiska, np. magazyny WE/WY, których koszt, w skrajnych przypadkach osiąga nawet wielkość przekraczającą cenę robota.

5.2. Instalowanie robotów IRb i IRp

Staranność w zamocowaniu części manipulacyjnej robota na stanowisku w decydującym stopniu wpływa na późniejszą dokładność jego pracy oraz wierne odtwarzanie programów roboczych. Dlatego należy zapewnić jej stabilne zamocowanie i unieruchomienie na poziomym fundamencie. Najczęściej ustawia się ją na płycie stalowej lub ramie zespawanej z kształtowników, zabetonowanej w podłożu. Część manipulacyjną przykręca się do podłoża czterema śrubami specjalnymi, z walcowymi łbami wpuszczanymi w podstawę robota. Dla ułatwienia pracy przy ewentualnym ponownym ustawianiu robota na stanowisku, do stalowej części fundamentu warto przyspawać płytki oporowe wyznaczające na niej położenie podstawy robota.

Mniej problemów stwarza ustawienie szafy układu sterowania robota. Wystarczy, by stała ona na płaskiej i poziomej powierzchni. W przeciwnym bowiem razie może grozić jej rozszczerlenie. Choć w zasadzie szafa ta jest wolno stojąca, dla zabezpieczenia podłączonych do niej kabli należy ją unieruchomić, np. przez wstawienie w luźną ramkę z kątowników zabetonowanych w podłożu.

Część manipulacyjna robota połączona jest z szafą układu sterowania wielożyłowym kablem o długości do 15 m. Dzięki temu hermetyzowana szafa układu sterowania robota może być ustawiona w miejscu dogodnym dla obsługi, a zarazem w pewnym oddaleniu od zagrożeń panujących w strefie bezpośredniej pracy robota. Dla ochrony kabla, połączenia obu części robota należy wykonywać dopiero po ich ustawieniu i zamocowaniu na stanowisku.

Kolejną czynnością po ustawieniu robota na stanowisku jest podłączenie zasilania. Robot należy zasiląć kablem 3-żyłowym, z ochronnym przewodem zerowym, o przekroju max 6 mm². Trzy fazy zasilające zabezpieczone są bezpiecznikami 10 A (16 A) umieszczonymi w szafie robota. Zalecane jest zastosowanie ponadto bezpieczników zewnętrznych o wartościach 16 A (20 A). W nawiasach podano wartości dla wersji udźwigowej 60 kg. Schemat podłączenia kabla sieciowego do szafy robota IRb przedstawiono na rys. 12. Przymocowanie robota do podstawy i podłączenie zasilania kończy rutynowe czynności związane z instalowaniem robota. Dostosowanie robota do konkretnego zadania wymaga natomiast jeszcze dalszych czynności związanych z realizacją elektrycznych połączeń sygnałowych (wejść uzależnień, wyjść programowych), zainstalowaniem urządzeń wykonawczych (np. chwytak) i montażem urządzeń ochronnych. Zakres tych czynności jest różny i zależy od zastosowania, lecz dopiero po ich wykonaniu robot jest w pełni przygotowany do współpracy z urządzeniami gniazda technologicznego.

Najczęściej w zrobotyzowanym gnieździe technologicznym, robot przejmuje funkcje kierowania pracą gniazda w ruchu automatycznym, wykorzystując w tym celu binarne wejścia i wyjścia układu sterowania. Dlatego do szafy sterowniczej robota muszą być doprowadzone połączenia informacyjne i sterujące ze współpracującymi urządzeniami gniazda. Połączenia te należy wykonywać wielożyłowym, ekranowanym kablem giętkim o przekroju 0,2 .. 2,5 mm². Izolację kabli należy dobierać do istniejących na stanowisku warunków zewnętrznych. W instalacji przemysłowej wszelkie kable w gnieździe należy, w miarę możliwości, prowadzić w zamkniętych kanałach lub rurkach ochronnych. Przewody sygnałowe nie powinny być układane w tych samych kanałach równoległe z przewodami energetycznymi (zasilającymi), mogącymi powodować zakłócenia. O ile jest to możliwe, zasilane elementy muszą mieć układy eliminujące zakłócenia. Układy takie mają również wszystkie znajdujące się w szafie układu sterowania wejścia i wyjścia robota. Przez odpowiednie zestyki rezerwowe listwy zaciskowej (por. rys. 12) można wyprowadzić na zewnątrz szafy układu sterowania sygnały istotnych stanów

pracy robota (np. stanów awarii). Mogą one być wykorzystywane dla potrzeb sygnalizacji poza robotem lub inicjacji odpowiedniego funkcjonowania urządzeń zewnętrznych. Dopuszczalna obciążalność tych styków wynosi 220 V pr. zm., 1 A.

Do listwy zaciskowej w szafie sterującej można dołączyć również zewnętrzne przyciski, powielające funkcje przycisków „STOP AWARYJNY”, „START PROGRAMU” i „STOP PROGRAMU” robota (por. rys. 12). Umożliwia to stworzenie układów ułatwiających obsługę robota i zwiększających bezpieczeństwo pracy np. przez możliwość połączenia zatrasku bramki w barierze ochronnej, otaczającej przestrzeń pracy robota, z wyłącznikiem „STOP PROGRAMU”. Dzięki temu otworzenie bramki spowoduje programowe zatrzymanie robota. Ponowne jego uruchomienie jest wówczas możliwe przyciskiem „START PROGRAMU”, umieszczonym na zewnątrz bariery ochronnej, dopiero po wyjściu ze strefy zagrożonej i po zamknięciu bramki.

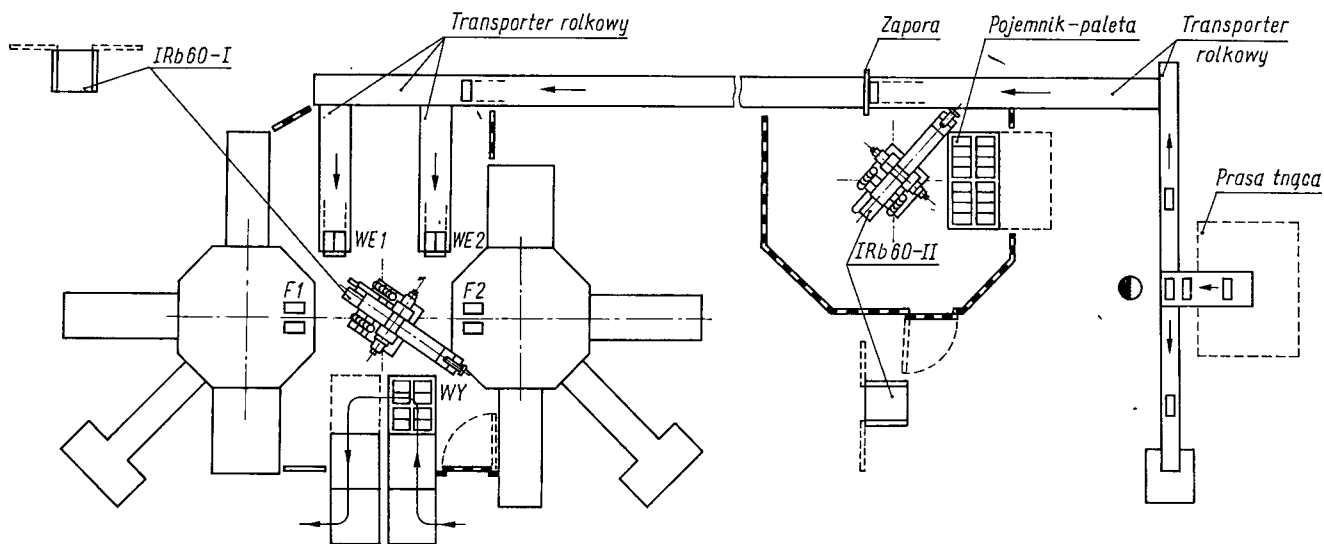
Chwytnak, narzędzie lub inne urządzenie wykonawcze mocuje się do kołnierza, jakim zakończony jest przegub robota (por. rys. 6). Można stosować rozmaite chwytaki mechaniczne, bez napędu lub z napędem. Najczęściej stosuje się chwytaki z napędem pneumatycznym, zasilane powietrzem o ciśnieniu 0,6 MPa. Przyłącze do przewodu sprężonego powietrza dla podłączenia chwytaka znajduje się w przedniej części ramienia górnego. W tylnej części tego ramienia znajduje się przyłącze zewnętrznego zasilania robota sprężonym powietrzem. Sprężone powietrze najlepiej doprowadzić do robota od góry elastycznym przewodem. Przewód ten powinien mieć pewien zapas długości dla umożliwienia pełnej ruchliwości robota. Swobodny zwis przewodu pneumatycznego należy wykasować spęzystym odciągiem.

Roboty IRb i IRp przystosowane są do pracy w ciężkich warunkach otoczenia. Należy je jednak chronić przed bryzgami cieczy i pyłem o właściwościach ściernych oraz przewodzącym elektryczność. Najczęściej dostateczną ochronę robota można osiągnąć przez:

- właściwe zaprojektowanie, usytuowanie i użytkowanie stanowisk zrobotyzowanego gniazda tak, by zminimalizować ich szkodliwy wpływ na robot,
- omijanie stref największego zanieczyszczenia poprzez odpowiednie programowanie ruchów robota,
- stosowanie lekkich ekranów, zawieszanych na ramieniu robota i osłaniających część manipulacyjną przed bezpośrednim działaniem szkodliwych czynników.

W skrajnych przypadkach stosuje się specjalnie zaprojektowane i wykonywane elastyczne „płaszczki” ochronne, całkowicie osłaniające część manipulacyjną robota przed wpływem otoczenia. W instalacjach przemysłowych należy też zwrócić szczególną uwagę na ochronę i stosowanie osłon przyłączy kablowych szafy i części manipulacyjnej robota oraz wyjść kabli z kanałów.

W wersji udźwigowej 60 kg zastosowane są hamulce służące do odciążenia silników przy podtrzymywaniu ramienia, o ile nie wykonuje ono żadnych ruchów.



Rys. 21. Zrobotyzowana linia produkcji podkładek kolejowych

Czas zwłoki zadziałania hamulców jest nastawiany przy pomocy przekaźnika czasowego umieszczonego w szafie sterowniczej. Dla pracy automatycznej opóźnienie powinno być nastawione na $3 \div 5$ s. Przy programowaniu opóźnienie to może być wydłużone do kilkudziesięciu sekund, aby ułatwić dokładne przemieszczenie robota na niewielkie odległości.

Osoby, które zajmują się programowaniem i obsługą robota, powinny znać BHP w zakresie prac wykonywanych przez robot oraz znać instrukcję BHP dotyczącą stanowiska, opracowaną przed wdrożeniem robota.

Główne źródła zagrożeń ze strony robotów IRb i IRp to: duże siły i duży obszar pracy, możliwość realizacji ruchu ramienia w dowolnym kierunku ze znaczną prędkością, możliwość wypuszczenia obiektu z chwytaka itp. Szczególnie silne zagrożenie występuje przy programowaniu, dlatego też należy używać kasków ochronnych, a programować powinny 2 osoby: programująca i osoba znajdująca się w pogotowiu w pobliżu przycisku stopu awaryjnego wyłączającego robot i stanowisko.

5.3. Podstawowe dziedziny zastosowań robotów IRb i IRp

Można wyróżnić dwie główne kategorie zastosowań robotów IRb i IRp — jako robotów technologicznych oraz manipulacyjnych.

Jako roboty technologiczne są one wyposażone w narzędzia, którymi obrabiają detale lub wykonują ich połączenia. Przykładem mogą tu być spawalnicze czy zgrzewalnicze zastosowania tych robotów. Mogą one także obrabiać przedmiot trzymany w swoim chwytaku, manipulując nim względem stacjonarnych narzędzi, np. przy gratowaniu czy oczyszczaniu odlewów szlifowaniem.

W manipulacyjnych zastosowaniach robotów IRb i IRp zadaniem ich jest przeniesienie przedmiotów od pozycji początkowej, poprzez różne położenie pośrednie (maszyny obróbkowe, sprawdzania, obrotniki itp.) aż do pozycji wyjściowej stanowiska. W zastosowaniach tych, roboty IRb i IRp nadają się najbardziej tam, gdzie konieczna jest obsługa gniazda

z kilkoma urządzeniami, wymagana jest wysoka dokładność pozycjonowania lub obsługa palet oraz koniecznych jest kilka różnych procedur manipulacji. Ich korzystna struktura kinematyczna, pięć lub sześć stopni swobody, wysokiej klasy serwowmotoryczne jednostki ruchu oraz bogaty repertuar instrukcji programowania umożliwiają łatwe dopasowanie wymaganych położen roboczych względem obsługiwanej sprzety. Ułatwia to zarówno projektowanie stanowiska, jak też późniejsze wprowadzanie w nim zmian w instalacji, m.in. można zmienić konfigurację urządzeń stanowiska, uzupełnić je nowymi urządzeniami, rozbudować program produkcyjny o obróbkę nowych wariantów pierwotnego wyrobu.

Szczególnie przydatne w technologicznych zastosowaniach robotów IRb i IRp są ich możliwości sterowania prędkością ruchów, niewielkiego przesuwania układu współrzędnych, wykonywania ruchów oscylacyjnych oraz szukania, połączone z dużą dokładnością pozycjonowania końcówki roboczej.

5.3.1. Obsługa maszyn

Pojawienie się robotów umożliwiło tworzenie gniazd obróbkowych i montażowych tańszych i bardziej elastycznych produkcyjnie od tradycyjnych linii transferowych. Najogólniej, gniazdo obróbkowe tworzy grupa obrabiarek automatycznie obsługiwanych przez robot i przeznaczonych do obróbki grupy wyrobów.

Zadaniami robota w takim gnieździe jest załadunek i rozładunek obrabiarek. Robot może obsługiwać obrabiarki kolejno (szeregowo) lub równolegle („na zakładkę”, co jest opłacalne zwłaszcza wtedy, gdy indywidualne czasy maszynowe są dłuższe niż 0,5 min).

Cechy predysponujące roboty IRb i IRp do tego rodzaju zastosowań są następujące:

- pięć lub sześć stopni swobody ruchów części manipulacyjnej,
- możliwość obsługi podwójnego chwytaka, zasilanego pneumatycznie lub elektrycznie,
- wysoka powtarzalność pozycjonowania końcówki roboczej,
- duża szybkość działania,

- możliwość wykonywania ruchów prostoliniowych,
- łatwość przygotowania i korygowania programów użytkowych i ich szybkie wczytywanie przy zmianie produkcji,
- łatwość przyłączania binarnych wyjść sterujących i wejść informacyjnych,
- możliwość podejmowania decyzji i wykonywania programów wariantowych,
- możliwość obsługi palet.

Zrobotyzowane gniazdo obsługi maszyn powinno pracować w pełni samodzielnie, a zatem przy jego opracowaniu konieczna jest automatyzacja wielu dodatkowych funkcji pomocniczych, takich jak np. orientowania detali, sprawdzania jakości produkcji, kontroli stanu maszyn i urządzeń oraz narzędzi, usuwania wiórów itp. Zmienna produkcja gniazda wymaga opracowania odpowiedniego zestawu chwytaków (lub chwytaka uniwersalnego) oraz przygotowania odpowiednich programów roboczych.

Przy opracowywaniu zrobotyzowanego gniazda należy przestrzegać następujących zasad:

- w pracy automatycznej gniazda, robot przejmuje funkcje sterowania urządzeniami technologicznymi gniazda,
- robot wysyła polecenia i żąda potwierdzenia ich wykonania,
- sygnały informujące robot o gotowości maszyny do pracy należy traktować jako najważniejsze; każdy taki sygnał musi być wynikiem spełnienia wielu warunków cząstkowych; sygnały gotowości muszą być koniecznie kasowane w chwili, gdy robot przystępuje do obsługi maszyn oraz w przypadku interwencji operatora,
- urządzenia gniazda powinny być przystosowane do pracy automatycznej i charakteryzować się wysoką niezawodnością działania.

Wszędzie tam, gdzie tylko można, do czyszczenia maszyn, uchwytów itp. należy stosować spłukiwanie, a nie zdmuchiwanie zanieczyszczeń. Należy się przy tym liczyć z koniecznością zwiększenia wydatku medium płuczącego.

Przykład aplikacji [14]: Linia produkcyjna podkładek kolejowych, Huta Kościuszko, Wydział Akcesoriów Kolejowych, Chorzów (rys. 21).

Rodzaj produkcji: frezowanie wybrań w dwóch rodzajach podkładek typu ZM lub ZZ wykonywanych w produkcji ciągłej i w długich seriach; masa podkładek: ZM — 9 kg, ZZ — 22 kg. Magazyn wejściowy: transporter rolkowy. Magazyn wyjściowy: pojemniki do paletyzowania gotowych wyrobów o pojemności 130 podkładek ZM; pojemnik-paleta na półfabrykaty ma pojemność 224 podkładek ZM; pojemniki wymieniane są automatycznie.

Robot: dwa IR5 60, wykonanie standardowe. Wposażenie dodatkowe: podwójna pamięć w robocie I. Stanowiska i urządzenia robocze: dwie specjalizowane frezarki typu LKP 198 prod. Wiepofama, Poznań. *Chwytnak:* dla robota I chwytnak dla pary podkładek ZM ze zmienianym automatycznie rozstawieniem podkładek, dla robota II chwytnak dla czterech pod-

kładek ZM; dla podkładek ZZ stosowany jest ten sam chwytnak.

Czujniki: w chwytakach zastosowano czujniki szukania wykorzystywane przy paletyzowaniu, czujniki obecności podkładek w chwytaku oraz czujniki badające stan rozstawienia podkładek (tylko w chwytaku robota I).

Program roboczy: dla robota I składa się z 213 instrukcji, w tym 82 instrukcje pozycjonowań, dla robota II składa się z 166 instrukcji, w tym 72 instrukcje pozycjonowań.

Krótki opis czynności: Półfabrykaty podkładek cięte są na prasie z profili walcowanych. Półfabrykaty podawane są systemem transporterów rolkowych na stanowiska pobierania WE1 i WE2, gdzie są pozycjonowane. Robot I rozładowuje pierwszą frezarkę F1, pobierając z niej gotowe wyroby i odkładając je do pojemnika WY. Następnie robot ten pobiera przygotowane półfabrykaty ze stanowiska WE1 i dostarcza je do opróżnionej frezarki F1, po czym uruchamia jej cykl produkcyjny, a sam obraca się do obsługi drugiej frezarki F2. Obsługując naprzemiennie obie frezarki, zapewnia pojemnik WY gotowymi wyrobami. Po wypełnieniu pojemnika robot poleca wymienić pojemnik, czego wynikiem jest podstawienie nowego, pustego pojemnika na stanowisko WY. Pojemnik napełniony odsyłany jest automatycznie do miejsca odbioru suwnicą. W pamięci robota I przechowywane są równocześnie: jeden program główny dla obsługi pary obrabiarek oraz dwa programy pomocnicze dla obsługi poszczególnych obrabiarek.

Robot II służy do odbierania nadmiaru produkcji półfabrykatów wtedy, gdy stanowisko frezowania nie nadąża z ich przerabianiem. Zabiera wtedy półfabrykaty podkładek z transportera rolkowego, sprzed zapory i odkłada je do pojemnika — palety. W przypadku wyczerpania się magazynu wejściowego gniazda frezarek, robot II zatrzymuje się i poleca dostać podkładki do tego gniazda. Po wypełnieniu magazynu wznowia swoją działalność. Zmagazynowane przez robot II na pojemniku — palety półfabrykaty mogą być przez niego ponownie przełożone na transporter w sytuacji, gdy wyłączona jest prasa tnąca i trzeba zasilać stanowisko frezarek.

5.3.2. Spawanie elektryczne

Z uwagi na stały wzrost znaczenia konstrukcji spawanych oraz ze względu na ciągły deficyt wykwalifikowanych spawaczy spawanie należy do grupy najczęściej robotyzowanych procesów przemysłowych. Wśród stosowanych metod spawania dominuje spawanie łukowe (MAG lub MIG/MAG). Dzięki robotyzacji można uzyskać zwiększenie wydajności pracy (2 ÷ 3-krotne) oraz wysoką jakość połączeń spawanych. Przy większym stopniu skomplikowania oraz większej liczbie spawanych podzespołów (przy jednym zamocowaniu) można wprowadzić obsługę wielostanowiskową. Ponadto zastosowanie robotów do spawania łukowego powoduje odsunięcie ludzi od szkodliwych warunków pracy, tj. oślepiającego świat-

ła łuku elektrycznego, gorących odprysków metalu, zapylenia i szkodliwych dymów. Dużą zaletą jest również możliwość zatrudnienia pracowników o niższych kwalifikacjach.

Najkorzystniejsze jest stosowanie robotów w produkcji małoseryjnej i seryjnej, z często zmieniającym się asortymentem wytwarzanych podzespołów. Na efektywność procesu spawania oprócz samego robota istotny wpływ ma przede wszystkim jakość wyposażenia zrobotyzowanego stanowiska spawalniczego. Często cena tego wyposażenia przekracza cenę robota.

W zrobotyzowanym stanowisku spawalniczym zadaniem robota przemysłowego jest manipulowanie końcówką spawalniczą po określonej trajektorii według zadanego programu oraz sterowanie całym przebiegiem procesu technologicznego. Trajektorie ruchów roboczych przy spawaniu może być realizowana jako zwykły ruch robota lub też z nałożonym ruchem dodatkowym (oscylacyjnym).

Znalezienie początku spoiny, określenie położenia spawanego podzespołu, śledzenie osi rowka spoiny i rozpoznanie końca spoiny wymaga zastosowania urządzeń sensorycznych. Otrzymane sygnały mogą być wykorzystywane przez układ adaptacyjny robota IRp do korygowania trajektorii końcówki spawalniczej [7, 8, 9].

Zrobotyzowane stanowisko do spawania metodą MAG lub MIG/MAG składa się z następujących elementów: robota przemysłowego, pozycjonera z uchwytami mocującymi spawane detale i sprzętu spawalniczego (spawarka, podajnik drutu elektrodowego, programator, układ czyszczenia dyszy palnika, układ chłodzenia dyszy palnika).

Pozycjoner jest istotnym elementem wyposażenia stanowiska. Służy do orientowania i ustalania podzespołu spawanego w pozycji dogodnej do spawania, a tym samym rozszerza możliwości i zakres pracy robota, powiększając liczbę stopni swobody stanowiska. Niezbędnym wyposażeniem pozycjonerów są

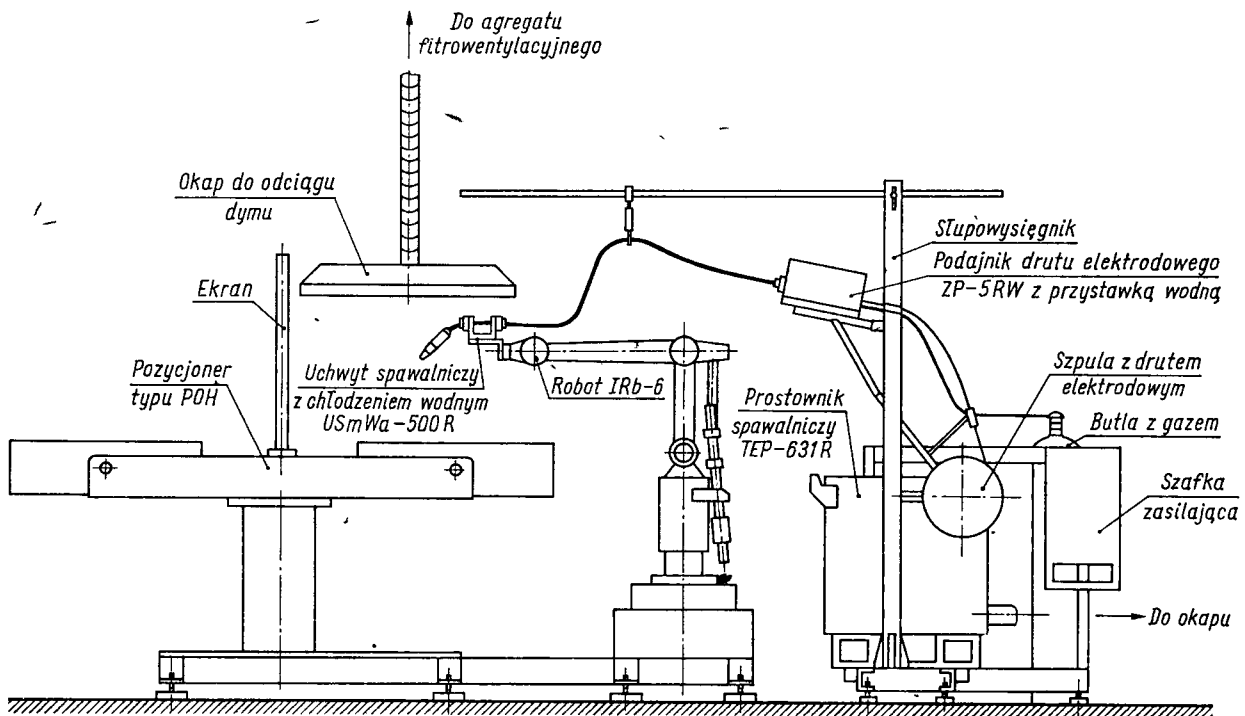
Tablica 2. Dane techniczne zespołu urządzeń spawalniczych ZUS produkcji OZAS — Opole

Lp.	Wskaźnik	Jedn. miary	Wielkość	
			ZUS-1	ZUS-2
1.	Prąd spawania przy pracy ciągłej	A	300	500
2.	Zakres regulacji prądu spawania	A	50 ÷ 410	100 ÷ 630
3.	Napięcie spawania	V	15 ÷ 44	18 ÷ 51
4.	Zakres średnic spoiwa	mm	0,8; 1,2; 1,6	1,2; 1,6; 2,0
5.	Ilość programów spawania	szt.	5	5
6.	Chłodzenie uchwytów spoiwa	—	gazem	wodą
7.	Szybkość podawania	m/s	0,025 ÷ 0,25	
8.	Zużycie gazu ochronnego	dm ³ /s	0,16 ÷ 0,30	
9.	Napięcie zasilania	V	3 × 380 + N; 50 Hz	
10.	Moc	kV·A	22	38
11.	Współczynnik mocy $\cos \varphi$	—	0,84	0,91
12.	Sprawność	%	81	88
13.	Orientacyjne wymiary	mm	2000 × 1120 × 2200	
14.	Masa	kg	430	460

uchwyty mocujące spawane detale i podzespoły (głównie ręczne uchwyty szybko mocujące i specjalne przyrządy spawalnicze).

Spawarce stawia się wysokie wymagania eksploatacyjne, gdyż współczynnik jej wykorzystania we współpracy z robotem w porównaniu z zastosowaniem konwencjonalnym wzrasta z 60 do 90%. Wzrost ten wynika ze skrócenia czasów pomocniczych oraz wyższych parametrów spawania. Spawarka powinna umożliwiać automatyczną zmianę parametrów spawania w czasie pracy (prądu, napięcia spawania, posuwu drutu elektrodowego).

Zastosowanie układu do czyszczenia dyszy palnika daje gwarancję prawidłowego i nieprzerwanego przebiegu procesu, a przede wszystkim podwyższa trwałość palnika oraz poprawia jakość łączonych elementów dzięki zmniejszeniu ilości powstających odprys-



Rys. 22. Szkic zrobotyzowanego stanowiska spawalniczego (widok z boku)

ków. Chłodzenie dyszy palnika może być realizowane za pomocą powietrza (przy prądzie spawania niższym od 400 A) lub wody (przy prądzie spawania powyżej 400 A), która krąży przez palnik w obiegu zamkniętym. Przy spawaniu z dużą częstotliwością, także poniżej 400 A należy stosować chłodzenie wodne. Obecnie możliwe jest wykonanie zrobotyzowanego stanowiska spawalniczego z wykorzystaniem sprzętu produkcji krajowej. W skład takiego stanowiska mogą wchodzić:

- robot IRb lub IRp,
- zespół urządzeń spawalniczych ZUS-1 lub ZUS-2 produkcji Opolskich Zakładów Aparatury Spawalniczej OZAS w Opolu; dane techniczne ZUS podaje tabl. 2.

- pozycjoner; na rynku krajowym dostępne są obecnie w ograniczonej ilości pozycjonery (stoły obrotowe podziałowe lub obrotowo-uchylne) opracowane przez Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Urządzeń Sterowania Napędów w Toruniu (SPOe-1200, 1500 i 1800; SPOp-150 i POH), Zakład Doświadczalny Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach (OP 2 × 350) i OBR-DOMGOS w Chorzowie (SPG-500). Przykład zrobotyzowanego stanowiska spawalniczego przedstawia rys. 22. W stanowisku tym obsługa ludzka sprowadza się do:

- uruchomienia stanowiska,
- wyjęcia gotowego zespołu i zamocowania następnego kompletu części do spawania w przyrządzie mocującym pozycjonera,
- ogólnego nadzoru nad poprawnością pracy stanowiska.

Po założeniu spawanych elementów w przyrządzie mocującym i wciśnięciu przycisku „START PROGRAMU” cykl pracy stanowiska odbywa się całkowicie automatycznie. Robot przejmuje obsługę stanowiska sterując bezpośrednio ruchami końcówki spawalniczej i pozycjonera oraz włączaniem i wyłączaniem spawarki.

Pozycjoner wyposażony w przyrządy mocujące spawane detale umożliwia właściwe ich ustawienie do spawania, a przesłona zamocowana na pozycjonerze oddziela strefę pracy robota od strefy obsługi ludzkiej. Po zamontowaniu spawanych elementów w przyrządzie mocującym następuje obrót pozycjonera i nowo założony zespół zostaje przemieszczony w strefę pracy robota. Po zakończeniu cyklu spawania i potwierdzeniu przez obsługę zakończenia pracy związanej ze zdjęciem pospawanego zespołu i zamocowaniem następnych detali, następuje automatycznie obrót pozycjonera i cykl powtarza się. Stanowiska do spawania za pomocą robotów IRb pracują w kraju m.in. w: Fabryce Aparatów Elektrycznych APENA — Bielsko-Biała, Pomorskich Zakładach Aparatury Elektrycznej EMA-APATOR — Toruń, TAGOR — Tarnowskie Góry, ZASTAL — Zielona Góra, Zakładach Rowerowych ROMET — Bydgoszcz oraz na Węgrzech w zakładach: Mezögép — Szolnok, Mezögép — Kiskörös, Csepel — Budapest. Wdrażanie robotów w procesach spawania jest z technicznego punktu widzenia zagadnieniem złożonym i trudnym, gdyż o sukcesie decyduje wiele

czynników (np. jakość i dostępność sprzętu, jakość przygotowanych do spawania detali, jakość drutu elektrodowego).

Duże znaczenie w rozwoju robotyzacji spawania w kraju mają realizowane obecnie prace w ramach: Centralnego Programu Badawczo-Rozwojowego 7.1 pn. „Roboty Przemysłowe” (koordynowanego przez MERA — PIAP — Warszawa), Centralnego Programu Badawczo-Rozwojowego 7.3 pn. „Techniki spawalnicze” (koordynowanego przez IS Gliwice) oraz Resortowego Programu Badawczo-Rozwojowego Nr 9 pn. „Aplikacja Robotów Przemysłowych” (koordynowanego przez OBRUSN — Toruń). Dzięki tym pracom zostaną udoskonalone istniejące oraz powstaną nowe konstrukcje robotów przemysłowych, opracowane zostaną nowe urządzenia peryferyjne, a w tym modułowy system urządzeń manipulacyjno-pozycjonujących oraz wdrożone zostaną konkretne zrobotyzowane stanowiska o nowych właściwościach technologicznych.

5.3.3. Zgrzewanie punktowe

Zgrzewanie punktowe jest technologią szeroko stosowaną, zwłaszcza w przemyśle motoryzacyjnym, dość łatwo poddającą się robotyzacji, choć stawiająca robotom przemysłowym pewne specyficzne wymagania. Zgrzeiny często występują nie pojedynczo, lecz tworzą ciąg blisko położonych punktów. Nie jest więc istotna prędkość robota na dłuższych odcinkach, lecz ważne jest skrócenie czasu przysięcia od jednej do drugiej zgrzeiny, a więc odpowiednie przyspieszenie i hamowanie robota. Ze względu na możliwość przegrzania elektrod do zgrzewanych blach robot powinien być również wyposażony w system wykrywania takich awaryjnych sytuacji. Wymienione powyżej cechy mają roboty IRb/IRp-60Z powstałe jako modyfikacje robota standardowego IRb-60.

Drugim obok robota podstawowym elementem wyposażenia zrobotyzowanego stanowiska zgrzewalniczego jest zgrzewarka. W zależności od jej mocy można zgrzewać blachy różnej grubości. W zależności od ciężaru zgrzewarki jest ona umieszczana na robocie lub poza nim. Najkorzystniejsze jest umieszczenie transformatora zgrzewalniczego jak najbliżej kleszczy ze względu na najmniejsze wtedy straty energii elektrycznej, przesyłanej z transformatora do kleszczy. Wymaga to jednak takiej masy zgrzewarki, aby mógł ją unieść robot. W Polsce dysponujemy obecnie zgrzewarką o mocy ok. 22 kVA, o masie ok. 35 kg, a więc może być ona noszona przez robot IRb/IRp-60Z o udźwigu ok. 45 kg. Transformator tej zgrzewarki jest zblokowany z kleszczami i mocowany na przegubie robota. Zgrzewarka ta wraz z układem sterowania jest produkowana przez Instytut Spawalnictwa w Gliwicach. W zgrzewarkach o większych mocach (80 i 130 kVA) masa transformatora przekracza udźwig robota IRb/IRp-60Z i transformator musi być umieszczony poza robotem (podwieszony nad nim lub ustawiony obok). Do takich zgrzewarek również może być zastosowany układ sterowania

z Instytutu Spawalnictwa. Instytut ten pracuje obecnie nad wersją pośrednią zgrzewarki o mocy ok. 40 kVA, która będzie mocowana na robocie IRb/IRp-60Z. Jej transformator, w zależności od uzyskanego ciężaru, będzie umieszczony bądź na ramieniu, bądź na przegubie robota. Da to mniejsze straty energii niż przy transformatorze umieszczonym poza robotem.

Zastosowane w FŚM Tychy zrobotyzowane stanowisko zgrzewalnicze zostało wyposażone w robot IRb-60Z, zgrzewarkę o mocy 80 kVA z transformatorem stojącym obok robota oraz stół obrotowy z dwoma stanowiskami roboczymi. Zgrzewane są w tym stanowisku nadkola fiata 126p o grubości 0,8 + 0,8 mm. Średni czas wykonania jednej zgrzeiny wynosi ok. 1,5 sekundy i jest to wynik równy podawanym przez literaturę zachodnią. Przy określaniu czasu jednego cyklu pracy należy brać pod uwagę również mniej czy bardziej skomplikowane rozłożenie zgrzein oraz, czasy ruchów robota przed rozpoczęciem i po zakończeniu zgrzewania. Czasy te wynoszą zwykle od kilku do kilkunastu sekund.

W FSO zostały zastosowane roboty IRb-60Z wyposażone we włoskie zgrzewarki MSY, ustawione wzdłuż linii technologicznej zgrzewania boków poloneza. Doświadczenia zdobyte przy wdrażaniu tej linii zostaną wykorzystane przy stosowaniu dalszych robotów IRb-60Z i IRp-60Z.

5.3.4. Czyszczenie (szlifowanie) odlewów

Jedną z najcięższych prac przy produkcji odlewów jest ich oczyszczanie, tzn. usuwanie zbędnych wypływek, przelewów oraz belki wlewowej. Przelewy i belki wlewowe najczęściej są odcinane palnikami acetylenowymi lub piłami mechanicznymi, lub cienkimi tarczami ściernymi, tzw. „gumówkami”, stacjonarnymi lub podwieszonymi. Przy odlewach żeliwnych często obłamywane są młotkiem. Wypływkę usuwane są za pomocą ręcznych szlifierek pneumatycznych, szlifierek stacjonarnych lub podwieszonych oraz dłutami pneumatycznymi. Prace te wykonywane są w warunkach dużego natężenia hałasu, w kurzu i pyłe, a ponadto pracownik narażony jest na bardzo duże wibracje trzymany w ręku przedmiotów, które do tego są jeszcze dość ciężkie.

Oczyszczalnie odlewów stanowią najczęściej wąskie gardło procesu produkcyjnego, cierpią na chroniczny niedobór personelu oraz wysoką absencję chorobową. Roboty stwarzają szansę poprawy warunków pracy w oczyszczalni odlewów i odciążenie ludzi od najbardziej uciążliwych czynności, lecz wiele jest przyczyn ograniczających rozpowszechnianie się zastosowań robotów do oczyszczania odlewów. Przede wszystkim są to:

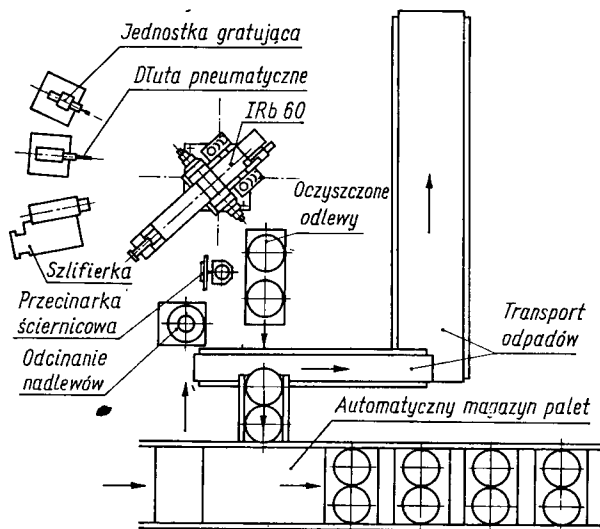
- bardzo duża różnorodność wyrobów, produkowanych najczęściej w krótkich seriach,
- duży rozrzut tolerancji wykonania odlewów,
- niewielka „zwinność” robotów, wyposażonych w narzędzia obróbkowe,
- wysokie koszty robotyzacji procesu.

Zrobotyzowane gniazda oczyszczania odlewów wykonywane są najczęściej jako osobne stanowiska, składające się z obrotownika odlewów z dwoma stanowiskami — pracy robota i człowieka. Są również gniazda w pełni automatyczne, z magazynami wejściowymi i wyjściowymi. Proces oczyszczania odlewów charakteryzuje się zmiennością obciążeń podczas obróbki, nieregularnością występowania wypływek oraz najczęściej niewysokimi wymaganiami dokładności obróbki. Przy zrobotyzowanym oczyszczaniu można stosować większe naciski, w porównaniu z pracą ludzką, a tym samym stosować maszyny obróbkowe o większej mocy. Dla zapewnienia stałości nacisku stosuje się elastyczne zawieszania narzędzia lub chwytaaka.

Podstawowym zagadnieniem przy rozwiązywaniu problemu robotyzacji oczyszczania odlewów jest rozważenie, czy robot powinien nosić odlew, czy narzędzie. Jeśli udźwig robota jest wystarczający, manipulowanie odlewem umożliwia zastosowanie kilku stacjonarnych narzędzi o dużej mocy, które mogą być lepiej dopasowane, dzięki czemu obróbka może być pełniejsza i wydajniejsza. Konieczne jest przy tym takie uchwycenie odlewu, by można go było obrabiać ze wszystkich stron. Zastosowanie robota manipulującego narzędziem, zwłaszcza przy zapewnieniu wymiennalności narzędzi, umożliwia obrabianie większych odlewów, o ciężarze przekraczającym udźwig robota.

Bardzo istotnym czynnikiem, jaki należy brać pod uwagę, jest zużywanie się narzędzi i konieczność kompensacji wpływu tego zjawiska na jakość produkcji. Nawet standardowe roboty IRb mogą zapewnić taką kompensację dzięki zdolnościom do realizacji funkcji szukania i przesuwania odpowiednich fragmentów trajektorii względem znalezionej bazy. Jeszcze lepiej są do tego przystosowane adaptacyjne roboty IRb, a zwłaszcza IRp, mające dla instrukcji pozycjonowania bogatszy repertuar funkcji szukania, a także funkcje konturowania i automatycznej regulacji prędkości. Te dwie ostatnie funkcje, we współpracy z odpowiednimi czujnikami, umożliwiają także kompensowanie dopuszczalnych technologicznie odchyłek kształtów odlewów oraz szybszą obróbkę miejsc o niewielkich wypływkach. Współczesne roboty nie mogą bowiem wyszukiwać sobie miejsc wymagających obróbki, lecz muszą przeprowadzić narzędzie po wszystkich miejscach odlewu, w którym materiał do usunięcia może się pojawić.

Przy stosowaniu robotów IRb i IRp do oczyszczania odlewów należy bezwzględnie pamiętać o zabezpieczeniu i wyjątkowymi. Proces oczyszczania odlewów charakteryzuje się zmiennością obciążeń podczas obróbki, nieregularnością występowania wypływek oraz najczęściej niewysokimi wymaganiami dokładności obróbki. Przy zrobotyzowanym oczyszczaniu można stosować większe naciski, w porównaniu z pracą ludzką, a tym samym stosować maszyny obróbkowe o większej mocy. Dla zapewnienia stałości nacisku stosuje się elastyczne zawieszania narzędzia lub chwytaaka.



Rys. 23. Zrobotyzowane gniazdo oczyszczania pokryw tylnego mostu ciężarówek

czeniu ich mechanizmów przed ujemnym wpływem zanieczyszczeń mineralnych, rozpylanych wokół oczyszczonego odlewu. Poza tym, dla ochrony pracowników zatrudnionych w hali, całe gniazdo zrobotyzowanego oczyszczania odlewów należy obudować dźwięko- i pyłoszczelną obudową, z odciągami zanieczyszczonego powietrza.

Przykład aplikacji: Oczyszczanie pokrywy tylnego mostu ciężarówek w fabryce Volvo, Arvika, Szwecja (rys. 23).

Rodzaj produkcji: oczyszczanie dwóch rodzajów pokryw o masie 55 kg produkowanych w długich seriach. Magazyn wejściowy/wyjściowy: specjalnie zaprojektowany, automatyczny magazyn palet, o pojemności zapewniającej ciągłość pracy przez 1,5 zmiany; na paletach mogą znajdować się po dwa odlewy, zarówno surowe jak i obrabione: osobne transportery na odpady (złom).

Robot IRb-60 wykonanie standardowe. Wyposażenie dodatkowe: specjalny hamulec blokujący obrót tarczy przegubu dla zapewnienia poprawnej pracy narzędzia podczas odcinania nadlewów.

Stanowiska i urządzenia robocze: przenośna przecinarka ściernicowa, z napędem hydraulicznym o mocy 37 kW; szlifierka stacjonarna; stacjonarne dłuto pneumatyczne, dostosowane do współpracy z robotem; stacjonarny, pneumatyczny frez do gratowania, dostosowany do współpracy z robotem.

Chwytnak: przystosowany zarówno do chwytania przenośnej przecinarki ściernicowej, jak również obrabiania detalu.

Czujnik: pojemnościowy czujnik zbliżeniowy wbudowany w chwytnak, w celu wyszukiwania rzeczywistej średnicy tarczy ściernicowej dla odpowiedniego, programowego skompensowania jej zużycia; tym samym czujnikiem robot sprawdza właściwe położenie i stan dłuta i freza.

Krótki opis czynności. Na sygnał z robota, odlew podawany jest na stanowisko odcinania i jest w nim mocowany. Robot, po pobraniu przecinarki ściernicowej i włączeniu jej napędu hydraulicznego, odcina trzy nadlewy, zmniejszając w ten sposób masę odlewu. Po odłożeniu przecinarki, robot chwytając odblokowany odlew. Po zewnętrznym oczyszczeniu odlewu na szlifierce stacjonarnej następuje oczyszczanie wnętrza odlewu najpierw dłutem pneumatycznym, a następnie frezem. Po oczyszczeniu gotowy detal odkładany jest do magazynu i robot powtarza cykl z następnym odlewem dostanym do stanowiska odcinania w czasie, gdy robot obrabiał poprzedni. Ściernica przecinarki i dłuto wymieniane są obligatoryjnie po każdej zmianie.

Magazyn jest zapełniany surowymi odlewami pod koniec drugiej zmiany. Obróbka prowadzona jest głównie w ciągu trzeciej, nocnej zmiany, jedynie pod zdalnym nadzorem personelu wartowniczego fabryki.

5.3.5. Gratowanie

Prawie zawsze po obróbce skrawaniem, a także przy produkcji odlewów ciśnieniowych i wyprasek z tworzyw sztucznych, powstają nieregularnie i niepowta-

żalnie rozmieszczone nierówności krawędzi w postaci zadziorów, nadlewków lub wypływek. Czasami nierówności te mogą być szybko usunięte, np. przez okrawanie na prasie, lecz najczęściej usuwane są w żmudnym i monotonnym procesie zwanym gratowaniem. Ze względu na trudności całkowitego zautomatyzowania tej operacji jest ona najczęściej wykonywana ręcznie, zwykłymi lub specjalizowanymi narzędziami. Dokładne zastąpienie ręcznych metod obróbki umożliwiają dopiero roboty przemysłowe.

W wyniku gratowania krawędzie detalu powinny być równe i ostre lub sfazowane, zależnie od wymagań. Różne materiały wymagają różnego rodzaju narzędzi obróbkowych, nacisków roboczych oraz kierunku ruchu skrawającego. Zależy to od wielu czynników, takich jak trwałość i struktura materiału obrabianego w danej temperaturze, ciągliwość wióra, wymagane wykończenie warstwy powierzchniowej itp. Roboty mogą manipulować niewielkimi detalami, obrabiając je na różnych maszynach. W przypadku większych detali, robot może pracować narzędziem umocowanym do kołnierza przegubu.

Roboty IRb lub IRp, zwłaszcza o udźwigu 6 kg, są predysponowane do tego rodzaju zastosowań gdyż:

- pięcioosiowa struktura części manipulacyjnej umożliwia dokładne odtwarzanie konturu,
- odznaczają się wysoką powtarzalnością zaprogramowanych położeń,
- możliwe jest programowanie najodpowiedniejszej prędkości dla konkretnych warunków,
- programowanie i poprawianie programów roboczych jest w wysokim stopniu uproszczone (szczególnie w przypadku IRp-6),

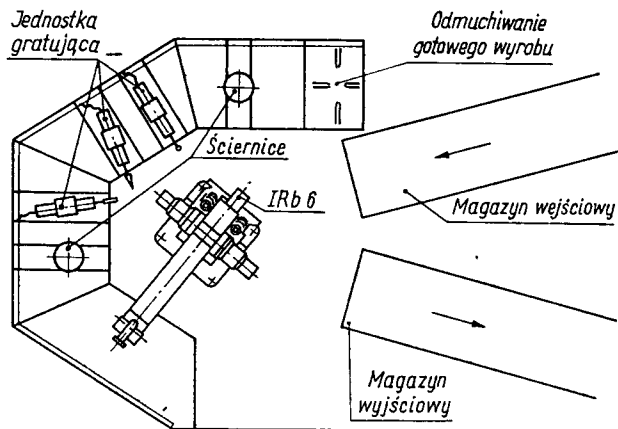
Funkcja adaptacyjnego sterowania prędkością-ruchu robota w zależności od obciążenia narzędzia, umożliwia skracanie czasów cykli obróbkowych poszczególnych detali przez skrócenie czasów ruchów transportowych narzędzia tam, gdzie nie występują zadziory do usunięcia (robot musi „obiet” narzędziem wszystkie miejsca, w których mogą wystąpić zadziory).

Wśród rozmaitych narzędzi stosowanych w zrobotyzowanych stanowiskach gratowania najczęściej stosowane są narzędzia obrotowe, o ruchu posuwistym i posuwisto-zwrotnym. Bardzo popularne, zwłaszcza przy gratowaniu wyrobów aluminiowych, stalowych itp., są wysokoobrotowe napędy elektryczne lub pneumatyczne, współpracujące z niewielkimi frezami kształtowymi, wykonanymi z węglików spiekanych lub stali szybkoobrotowej.

Zastosowanie pewnej, niewielkiej elastyczności zawieszenia narzędzia, w połączeniu z odpowiednim programowaniem ruchów robota, wpływa dodatnio na płynność ruchów przy obieganiu konturu co jest specjalnie ważne, np. przy obróbce krawędzi krzywoliniowych, o niewielkich promieniach krzywizny.

Przykład aplikacji: Obróbka wyprasek z tworzyw sztucznych (z Polofenu EZ lub Polomelu B), EMA — Aparator, Bielsko-Biała (rys. 24).

Robot IRb-6. Stanowiska i urządzenia robocze: trzy szybkoobrotowe, elektryczne jednostki gratujące,



Rys. 24. Zrobotyzowane gniazdo gratowania z tworzyw sztucznych

dwa silniki z tarczami ściernymi; całość instalacji obudowana jest otwieralnymi szybami ochronnymi; jednostki obróbkowe zmontowane są na perforowanych blachach, z odsysaniem pyłu; robot steruje zarówno pracą jednostek obróbkowych, jak i współpracującymi z nimi sekcjami wentylacyjnymi; osobna sekcja służy do odpylania gotowego detalu.

Chwytnik: pojedynczy, przystosowany do konkretnego detalu. Magazyny WE i WY: przenośniki grawitacyjne, przystosowane do dwóch różnych wyprasek. **Krótki opis czynności.** Robot pobiera wypraskę z magazynu wejściowego i obrabia jej krawędzie oraz przebijają zalane otwory na kolejnych jednostkach obróbkowych. Ogratowane wypraski są odmuchiwane z pyłu i czyste odkładane są do magazynu wyjściowego.

5.4. Możliwości zastosowań robotów IRb i IRp w elastycznych systemach produkcyjnych

5.4.1. Elastyczne systemy produkcyjne

Produkcja średnio- i małoseryjna w odróżnieniu od wielkoseryjnej jeszcze do niedawna charakteryzowała się niewielkim stopniem automatyzacji. Dopiero rozwój techniki komputerowej i jej praktyczne zastosowanie stworzyły możliwości pełnej automatyzacji tej produkcji, doprowadzając do powstania tzw. *elastycznych systemów produkcyjnych* — ESB (ang. Flexible Manufacturing System). Wg definicji zaproponowanych przez J. J. Solberga i H. J. Warnecke: *elastyczny system produkcyjny to sterowana komputerowo i połączona systemem transportu grupa centrów obróbkowych, centrów pomiarowych i magazynów*. Uniwersalność sprzętowa i możliwość programowania pracy poszczególnych elementów elastycznego systemu oraz odpowiednie oprogramowanie w warstwie nadrzędnej układu sterowania dają możliwość jednoczesnej obróbki przedmiotów tego samego typu technologicznego. Nie mniej cenną dla tego typu produkcji możliwością jest szybkie przedstawienie systemu na produkcję innych detali.

W celu ekonomicznego wykorzystania różnych możliwości stwarzanych przez ESP ważne jest określenie już w fazie projektu niezbędnego zakresu i rodzaju elastyczności. Można bowiem wyróżnić kilka jej rodzajów [11] np.:

— *elastyczność „mix”*, określająca zdolność systemu do jednoczesnej obróbki różnych przedmiotów należących do jednej grupy technologicznej,

— *elastyczność w skali jednego przedmiotu*, określająca możliwość dodawania i odejmowania przedmiotu od grupy,

— *elastyczność kolejności operacji technologicznej*, rozumiana jako możliwość zastąpienia jednej obrabiarki przez inną, w dowolnej fazie obróbki przedmiotu.

Tak realizowana elastyczność daje efekty w postaci zmniejszenia kosztów produkcji w wyniku:

— ograniczenia liczby personelu wskutek automatyzacji i robotyzacji procesu produkcji,

— zmniejszenia zużycia energii wskutek stosowania bardziej oszczędnych maszyn i technik wytwarzania oraz lepszego ich wykorzystania,

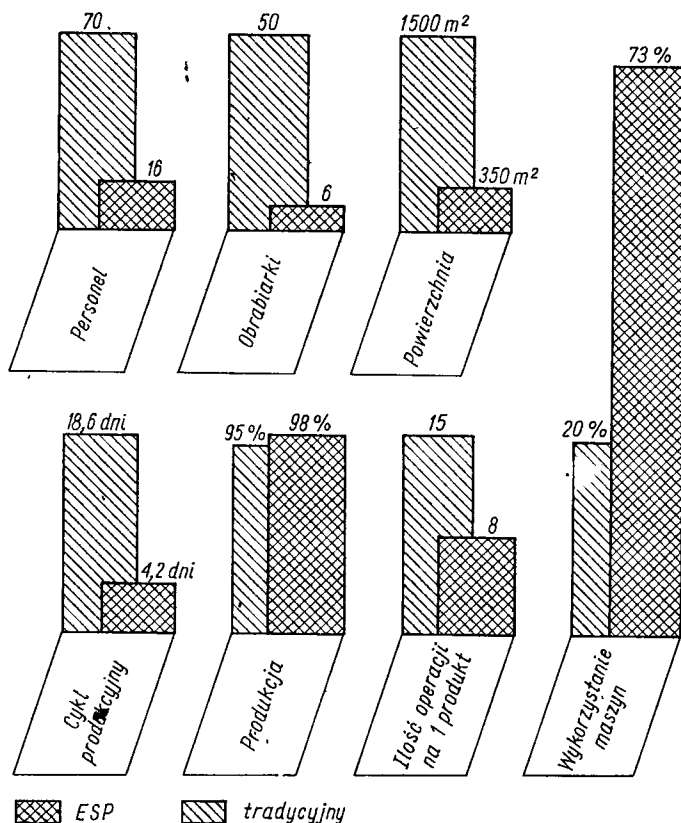
— zmniejszenia zapasów dzięki stosowaniu komputerowego sterowania i nadzoru nad gospodarką materiałową,

— zmniejszenia kosztów administracyjnych dzięki szerokiemu wykorzystaniu technik komputerowych w planowaniu, zarządzaniu i sprawozdawczości.

Ponadto elastyczność umożliwia w niektórych przypadkach osiągnięcie w produkcji mało- i średnioseryjnej wydajności porównywalnej z osiąganą w produkcji masowej. Jak widać na rys. 25, korzyści z zastosowania elastycznego systemu produkcyjnego są duże. Korzyści te oraz polepszenie jakości gotowego wyrobu i mniejsza ilość braków stanowią przyczyny gwałtownego wzrostu liczby ESP. Wg szacunków obecnie w Japonii, USA i innych krajach wysoko rozwiniętych liczba ESP wynosi około 500 i do końca dekady ulegnie podwojeniu [10].

Najczęściej elastyczny system produkcyjny składa się z:

— podsystemu maszynowego obejmującego specjalizowane centra maszynowe, w których dokonuje się



Rys. 25. Porównanie tradycyjnego procesu technologicznego z realizowanym w ESP [10]

właściwy proces technologiczny, oraz wewnętrzny system transportu często w postaci robotów przemysłowych i manipulatorów,

— podsystemu pomiarowego, którego zadaniem jest pomiar oraz wizualizacja istotnych parametrów obrabianego przedmiotu i narzędzia, opracowywanie raportów oraz obsługa stanów awaryjnych,

— podsystemu transportu dostarczającego przedmioty z magazynu wejściowego do podsystemu maszynowego i z niego po skończonej obróbce, do magazynu wyjściowego; istnieje duża różnorodność podsystemów transportu, gdyż ich wybór uzależniony jest od rodzaju i wielkości transportowanych przedmiotów, wielkości produkcji, złożoności procesu technologicznego, wielkości dysponowanych środków finansowych; większość z nich wykorzystuje w większym lub mniejszym stopniu roboty przemysłowe, manipulatory i zdalnie sterowane transportery,

— podsystemu organizacji i zarządzania oraz technologicznego przygotowania produkcji opartych w zasadniczym stopniu na systemach CAD/CAM. Oprogramowanie będące kluczem do uzyskania elastyczności zapewnia realizację takich zadań, jak:

— nadzór nad prawidłowym przebiegiem założonej sekwencji operacji technologicznych,

— identyfikacja błędów, warunków ich powstania oraz minimalizacja ich wpływu na pracę systemu,

— zbieranie informacji o produkowanej partii wyrobów, realizacji programów i stanie systemu,

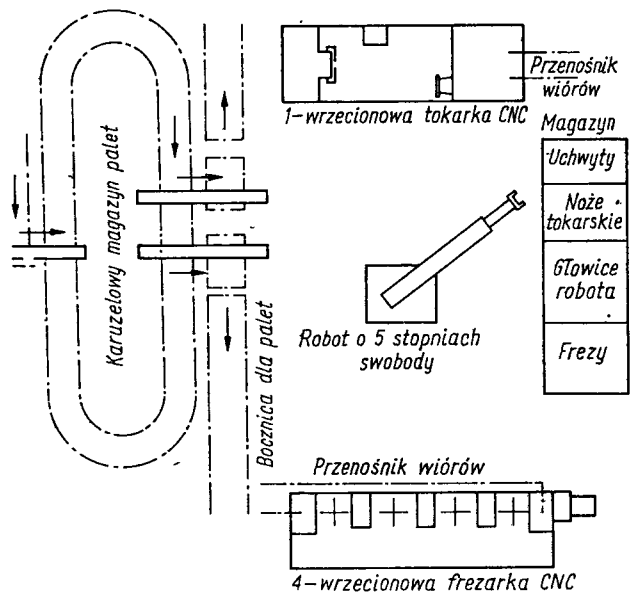
— prognozowanie zapotrzebowania na uchwyty, narzędzia, chłodziwa, półprodukty i inne niezbędne środki,

— zapewnienie odpowiednich warunków do jak najszybszego przejścia do produkcji innych wyrobów,

— zapewnienie niezbędnych informacji dla potrzeb organizacji i zarządzania produkcją.

5.4.2. Miejsce i rola robotów przemysłowych w ESP

Roboty przemysłowe w elastycznych systemach produkcyjnych w zakresie obróbki wiórowej są używane najczęściej do realizacji operacji załadunkowych i wyładunkowych jako szczególnie uciążliwych, monotonicznych i cechujących się dużą wypadkowością. Zadania robota są określone wtedy w podsystemie transportu. Inne czynności automatyzowane przy użyciu robotów, to prace montażowe, pomiarowo-kontrolne, malarskie, spawalnicze, zgrzewalnicze, oraz takie operacje technologiczne, jak: szlifowanie, polerowanie czy tępienie ostrych krawędzi. Do wykonywania czynności montażowych przeznaczone są roboty, w których ruch głowicy może być programowany w różnych układach współrzędnych (kartezjańskim, cylindrycznym, współrzędnych wewnętrznych). Roboty takie muszą bowiem wykonywać bardzo precyzyjne i skomplikowane prace wymagane np. przy montażu magnetowidów, stacji dysków, magnetofonów itp. Do wykonania niektórych operacji technologicznych pożądana jest możliwość programowania ruchów robota po linii prostej i okręgu, dowolnie zorientowanych w przestrzeni.

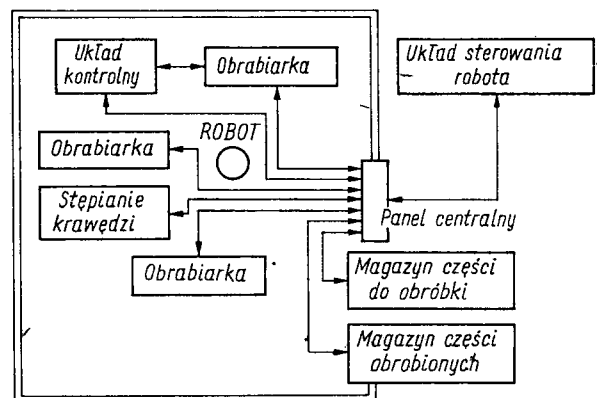


Rys. 26. Przykład elastycznego gniazda produkcyjnego [11]

Ze względu na wysoki koszt instalacji robotów przemysłowych organizacja pracy musi zapewnić jak najlepsze ich wykorzystanie. Często formą organizacji produkcji w ESP jest *elastyczne gniazdo obróbkowe*, w którym robot obsługuje więcej niż jedną obrabiarkę.

Przykład elastycznego gniazda pokazany jest na rys. 26. Robot przemysłowy o strukturze kinematycznej podobnej do robotów IRb/IRp obsługuje obrabiarki sterowane komputerowo i magazyn narzędzi. Robot zdejmuje przedmioty z transportera i wkłada je do uchwytów obrabiarek. Po zakończeniu obróbki odkłada je z powrotem na transporter. Zaletą tego rozwiązania jest lepsze wykorzystanie robota w stosunku do przypadku, gdy współpracuje on z jedną tylko obrabiarką i między operacjami załadunku/wyładunku najczęściej jest niewykorzystany.

Gdy robot pracuje w elastycznym gnieździe, korzystne jest, aby nadzorował pracę pozostałych urządzeń tak, jak w przykładzie na rys. 27. Unika się wtedy nadmiernej rozbudowy układów sterowania tych urządzeń, gdyż wiele funkcji przejmuje układ sterowania robota, np. wybieranie programów pracy ob-



Rys. 27. Robot w elastycznym gnieździe produkcyjnym [11]

rabiarek, przesyłanie sygnałów start/stop, testowanie poprawności zamocowania przedmiotu w uchwycie oraz obsługę stanów awaryjnych. Rolą panelu centralnego jest oddzielenie galwaniczne obwodów elektrycznych robota i pozostałych urządzeń oraz blokada przepływu sygnałów, gdy robot jest w trybie pracy ręcznej. Zadania dla robota są określone w warstwie nadrzędnej w podsystemie organizacji i zarządzania.

5.4.3. Przydatność robotów IRb i IRp do zastosowań w ESP

Na podstawie dostępnych w literaturze opisów działających obecnie ESP można wyodrębnić dwie główne koncepcje stosowania robotów przemysłowych w takich systemach. Pierwszą z nich cechuje stosowanie robotów prostych, o jednostkach ruchu pozycjonowanych zderzakowo i nieskomplikowanym układzie sterowania, zdolnym jedynie do wymuszania sekwencji ruchów poszczególnych stopni swobody według programu liniowego (bez rozgałęzień warunkowych). Służą one głównie do transportu międzyoperacyjnego i odkładania gotowych detali do magazynu. Elastyczność takiego systemu jest uzyskiwana dzięki stosowaniu skomplikowanych maszyn (np. centrów obróbczych z wymiennymi magazynami narzędzi), z własnymi, rozwiniętymi układami sterowania i bogatym uzbrojeniem pomocniczym (np. stołami obrotowymi, systemami transportu). Tak realizowana elastyczność wymaga stosowania w robotach odpowiednio uniwersalnych chwytaków współpracujących z różnorodnymi detalami. Z polskich robotów, które mogłyby zostać przystosowane do pracy o takim charakterze, można wymienić roboty typu PR-02 [15] i RIMP-400 [12].

Cechą charakterystyczną drugiej koncepcji stosowania robotów w ESP jest wykorzystywanie robotów złożonych o serwowotorycznych jednostkach ruchu i układzie sterowania zapewniającym realizację trajektorii dowolnych kształtów (odcinki prostych, łuki), a także zdolnych do podejmowania decyzji (rozgałęzienia w programie działania) na podstawie analizy wartości sygnałów stanów obsługiwanych procesów i współpracujących urządzeń. Dzięki swej uniwersalności mogą one pełnić rolę głównego nośnika elastyczności w systemie, a ponadto same realizować zadania nie tylko transportu międzyoperacyjnego, lecz także prowadzenia narzędzia (głowicy) lub detalu w takich procesach, jak spawanie łukowe, zgrzewanie czy nakładanie powłok.

Roboty prezentowane w tej pracy mają cechy niezbędne do ich stosowania w ESP tego drugiego rodzaju. W szczególności dotyczy to robotów IRb z adaptacyjnym układem sterowania i — jeszcze bardziej — robotów IRp. Te ostatnie są bowiem w stopniu najwyższym przystosowane (por. rozdz. 4) do realizacji zadań:

- przetwarzania i magazynowania informacji związanych z pracą stacji,
- uzależniania od stanu obsługiwanych procesów i stanu innych urządzeń stacji nie tylko skoków w programie, lecz także korygowania trajektorii ruchu chwytaka lub narzędzia,
- współpracy z innymi urządzeniami stacji ESP,
- komunikacji z innymi stacjami ESP lub ze sterow-

niem nadrzędnym, w przypadku występowania kilku robotów w jednej stacji.

Przewaga robotów IRp w zakresie pierwszych dwu zadań wynika z faktu wykorzystania ich w układzie sterowania szesnastobitowego procesora, którego — i tak duże możliwości w zakresie przetwarzania — mogą być rozszerzone przez opcyjne stosowanie koprocatora numerycznego. Przewaga w zakresie pozostałych zadań jest w znacznej mierze efektem zastosowania w budowie i funkcjonowaniu sterownika IRp rozwiązań standardowych.

Układ sterowania robotów IRp został wyposażony w urządzenia realizujące protokoły wymiany informacji fizycznej i magistrali wg opracowania IEC PROWAYA [6]. Urządzeniami tymi są [5] (por. rys. 19):

— *kontroler komunikacyjny MK 40*; wykonuje on zadania protokołów ścieżki i magistrali: nadaje i odbiera przesyłki formatu ISO HDLC, generuje, odbiera i sprawdza kod korekcyjny ISO 3309, wykonuje dostęp do magistrali metodą wyznacznikową oraz typy obsługi przewidziane protokołem; obsługuje także komunikacyjnie warstwę użytkownika,

— *sterownik linii MK 30*; wykonuje zadania protokołu linii standardu IEC PROWAYA, przetwarza cyfrowy sygnał ramki na sygnał liniowy magistrali PROWAY, dokonuje synchronizacji przesyłek, tworzy sygnały zegarowe nadawczy i odbiorczy,

— *wielodostępna, szeregowa magistrala danych MK 01*; pozwala ona na zmiany tras, sterowanie lub przedłużanie linii, dołączanie lub odłączanie stacji przy zachowaniu pracy systemu.

Dokumenty, którym odpowiada (pomijając pewne uproszczenia spowodowane ograniczeniami elektronicznej bazy elementowej [17]) funkcjonowanie wymienionych urządzeń, są częścią składową ustaleń normujących wielowarstwowy system komunikacyjny MAP (Manufacturing Automation Protocol). Jego koncepcja, zaakceptowana przez najbardziej liczących się producentów sprzętu automatyki oraz uznana przez Radę Głównych Konstruktorów RWPG ds. ESP, przewiduje 7 warstw wymiany informacji (łącznie z realizowanymi w sterownikach IRp warstwami: 1-fizyczną i 2-magistrali). Kolejnymi są warstwy: 3-sieci, 4-transportu danych, 5-seansu łączności, 6-standaryzacji danych, 7-użytkownika.

Ponadto układ sterowania robotów IRp może mieć pakiety (np. MI 24 — por. rys. 19) z kanałami transmisji szeregowej standardu V 24 (R5 232 C). W przypadku kilkorobotowej stacji ESP mogą one być wykorzystywane — obok pakietów wejść/wyjść dwustanowych — do komunikacji z nadrzędnym sterownikiem stacji. Może nim być sterownik jednego z robotów IRp lub dodatkowy układ zestawiony ze standardowych modułów INTEL DIGIT PROWAY. Wyposażenie go w uprzednio omówione urządzenia (MK 40, MK 30 i MK 01) wymiany informacji na poziomie warstw fizycznej i magistrali pokryłoby potrzeby komunikacji takiej wielorobotowej stacji z innymi stacjami ESP.

Należy się spodziewać, że MAP stanie się standardem obowiązującym przy tworzeniu elastycznych systemów produkcyjnych w RWPG i ten aspekt podnosi dodatkowo przydatność robotów IRp do zastosowań w takich systemach.

Literatura

1. Dokumentacja techniczno-ruchowa robotów IRb-6 i IRb-60. Wyd. Przemysłowego Inst. Automatyki i Pomiarów MER-PIAP. Warszawa 1978.
2. Pachuta M., Wański T.: Układ sterowania robotów IRb. Seminarium Inst. Automatyki Przemysłowej PW „Roboty przemysłowe”. Warszawa 1978, s. 205—216.
3. Olszewski M. (red.): Manipulatory i roboty przemysłowe. WNT. Warszawa 1985.
4. Dwojak S.: Prognoza w zakresie automatyki i robotyki procesów dyskretnych do roku 2010. II KKR, Wrocław 1988, t. I, s. 47—64.
5. Dokumentacja techniczno-ruchowa robotów IRp-6/60. Opracowanie MERA-PIAP, nr rej. 5720.
6. Missala T.: Robot IRp-6/60 w elastycznym systemie produkcyjnym. Biuletyn MERA-PIAP, nr 1/120, s. 5—12.
7. Falkowski J. L., Browne M. A.: Vision sensing for arc welding robots — a new approach. J. Physics E: Sci. Instr. Vol. 16. 1983. s. 1081—1085.

8. Falkowski J. L.: Automatyczna korekcja trajektorii palnika przy wykorzystaniu wizyjnego czujnika liniowego. PAK 9/1988, s. 204—208.
9. Opracowanie systemu wizyjnego do współpracy z adaptacyjnymi robotami przemysłowymi przeznaczonymi w szczególności do spawania łukowego. Raport A282/III. Inst. Automatyki Przemysłowej PW, 1985.
10. Warnecke H. J., Steinhilper R. (red.): Flexible Manufacturing Systems. Springer — Verlag. 1985.
11. Rathmill K. (red.): Proc. of 2nd Int. Conf. on Flexible Manufacturing Systems. London, 1983.
12. Wawrzyński I.: Możliwości poprawienia dokładności pracy CPC robota IRb-6. Praca magisterska. Wydz. Elektroniki PW, 1986.
13. Petz M., Rudnicki Z.: Zastosowanie dwóch robotów IRb-60 w linii produkcji podkładek kolejowych w hucie. Biuletyn MERA-PIAP, 1987, nr 1/120, s. 13—22.
14. Gałka P., Jacórzyska-Smigiera M., Pilat Z.: Robot zgrzewalniczy IRp-60Z. II KKR, Wrocław 1988, t. IV, s. 177—179.
15. Missala T.: System INTEL DIGIT-PROWAY. Informacje podstawowe. Biuletyn MERA-PIAP, 1985, nr 5/112.

Bibliografia

John J. Craig: **Introduction to Robotics. Mechanics and Control.** Second Edition. Addison-Wesley Publ. Comp. 1989, 450 str.

Książka ta dotyczy mechaniki, sterowania i programowania robotów, zawiera 13 rozdziałów:

1. *Wprowadzenie*: podstawowe pojęcia, oznaczenie, główne idee i przegląd zagadnień omówionych w następnych rozdziałach.
2. *Opisy przestrzeni i przekształceń*: opisy położenia, pozycjonowania i orientacji układów współrzędnych, operatory przesunięć, obrotów i innych przekształceń, interpretacja, arytmetyka i równania przekształceń, przedstawienie orientacji członu roboczego, przekształcenie wektorów swobodnych, uwagi obliczeniowe.
3. *Kinematyka manipulatora*: opisy członu, połączeń parami kinematycznymi, konwencja układu współrzędnych związanego z członem, współrzędne uogólnione (zmienne przemieszczenia w parach kinematycznych), współrzędne kartezjańskie, przykłady kinematyki manipulatorów, opisy typowych układów współrzędnych związanych z podstawą, końcówką, narzędziem, uwagi obliczeniowe.
4. *Odwrotne zadanie kinematyki manipulatora*: rozwiązalność zadania, opis podprzestrzeni, rozwiązanie algebraiczne przez sprowadzenie do wielomianu, rozwiązanie, dla manipulatora mającego przecinające się w jednym punkcie osie par obrotowych, przykłady zadań, powtarzalność i dokładność, uwagi obliczeniowe.
5. *Macierze Jacobi'ego prędkości i sił statycznych*: opisy zmiennych w czasie współrzędnych pozycjonowania i orientacji, liniowa i kątowna prędkość członu, przekształcanie prędkości od członu do członu, osobliwości macierzy Jacobi'ego, siły statyczne, macierze przekształceń kartezjańskich prędkości i sił statycznych.
6. *Dynamika manipulatora*: przyspieszenie członu, rozkład masy, równania Newtona i Eulera, sformułowanie równań dynamiki, przykłady rozwiązań, struktura równań dynamiki manipulatora, sformułowanie równań dynamiki manipulatora w postaci Lagrange'a, w przestrzeni kartezjańskiej, uwzględnienie efektów, niesztynności członków, symulacja komputerowa dynamiki, uwagi obliczeniowe.
7. *Generowanie trajektorii*, uwagi ogólne dotyczące opisu i generowania trajektorii, schematy współrzędnych uogólnionych i kartezjańskich, zadania geometryczne krzywych kartezjańskich, generowanie trajektorii w czasie, opis trajektorii w języku programowania robota, planowanie trajektorii za pomocą modelu dynamiki i uwzględnieniu możliwości kolizji.
8. *Projektowanie mechanizmu manipulatora*: podstawy projektowania dla zadanych wymagań, konfiguracje kinematyczne, miary ilościowe własności przestrzeni roboczej, struktury łańcuchów zamkniętych i z więzami biernymi, schematy układów napędowych, sztywność i odkształcalność manipulatora, czujniki siły i pozycji.
9. *Liniowe sterowanie manipulatora* (zwykle za pomocą komputera): sprzężenie zwrotne i zamknięte pętle sterowania, układy

liniowe drugiego rzędu, sterowanie śledzące trajektorię i eliminujące zakłócenia, sterowanie ciągłe lub dyskretne w czasie, modelowanie i sterowanie pojedynczego stopnia swobody, architektura układu sterowania robota przemysłowego.

10. *Nieliniowe sterowanie manipulatorów*: układy nieliniowe i zmienne w czasie, układy wielowęjsiowe i -wyjściowe, aktualne układy sterowania robotów, analiza stateczności Lapunowa, układy sterowania w przestrzeni kartezjańskiej, sterowanie adaptacyjne.

11. *Sterowanie aktywne siłą*, gdy manipulator wchodzi w kontakt z otoczeniem: zastosowanie w pracach montażowych, układ sterowania w zadaniach związanych, sterowanie hybrydowe „położenie — siła”, sterowanie siłą masy sprężystej, schematy sterowania hybrydowego współczesnych robotów przemysłowych.

12. *Języki i układy programowania robotów*: trzy poziomy programowania robotów, wymagania stawiane językom programowania, przykłady kodowania w językach AL, KAREL, VAL II zadania paletyzacji.

13. *Układy programowania typu „OFF-LINE”*: główne bloki układu, stacja CIM ułatwiająca budowę modeli CAD i grafikę komputerową, automatyczne planowanie w układach OLP. Dodatek A: tożsamości trygonometryczne, B: konwencje kątów orientacji, C: niektóre wzory zadań odwrotnych kinematyki.

Większość rozdziałów przedstawia tylko jedno podejście do rozwiązywania zadania „od ręki”. Uwzględniono tylko materiał dotyczący manipulacji mechanicznych. W końcu każdego rozdziału zamieszczono kilkanaście zadań, które mają oznaczony stopień trudności, przy czym zadania najtrudniejsze dotyczą zagadnień jeszcze nie rozwiązanych. Ponadto przypisy programowe dotyczące prostego manipulatora płaskiego z trzema parami obrotowymi. Każdy następny przypis jest oparty na poprzednim, tak, że w końcu student ma pełną bibliotekę oprogramowania wym. manipulatora, który jest wystarczająco złożony do pokazania prawie wszystkich zagadnień.

Pierwsze wydanie książki służyło jako podręcznik w Uniwersytecie Stanfordzkim w USA w latach 1983—88 dla studentów trzeciego i czwartego roku na kierunku, w którym są takie przedmioty jak: mechanika, programowanie komputerów, teoria sterowania.

Książka może być pomocna inżynierom rozwijającym układy zrobotyzowane oraz studentom na kierunku robotyka i automatyka.

J. Knapczyk

M. Vukobratović, D. Stokić, N. Kirčanski: **Non-Adaptive and Adaptive Control of Manipulation Robots.** Springer Verlag, Berlin 1985, przekł. na jęz. ros. wyd. Mir. Moskwa 1989.

W książce przedstawiono metody sterowania robotami manipulacyjnymi, rozpatrywanymi jako założone układy dynamiczne. Opisano algorytmy realizujące układy sterowania robota na poziomie wykonawczym przy zmianach parametrów obiektu sterowanego. Rozpatrzono procedurę interaktywnego sterowania oraz zadania realizacji algorytmów sterowania za pomocą urządzeń mikroprocesorowych. Podano wiele przykładów zastosowań opisanych metod syntezy sterowania konkretnymi manipulatorami.

Książka składa się z pięciu rozdziałów:

1. *Budowa modeli dynamiki robotów* w postaci analitycznej za pomocą komputera: zautomatyzowana procedura budowy modelu dynamiki robota, procedura syntezy algorytmu sterowania przy analitycznym przedstawieniu zmiennych, kodowanie programu w czasie rzeczywistym.
2. *Nieadaptacyjne sterowanie robotami manipulacyjnymi* ze zmiennymi parametrami: matematyczny model robota manipulacyjnego, zadania sterowania, przegląd algorytmów nieadaptacyjnego sterowania, synteza lokalnych regulatorów, analiza stateczności robotów ze zmiennymi parametrami, synteza globalnego układu sterowania przy znacznych zmianach obciążenia użytecznego.
3. *Algorytmy sterowania adaptacyjnego*: centralizowana i decentralizowana strategia hiperstateczności, algorytmy quasi-gradientowe oparte na teorii Lapunowa.
4. *Automatyczna synteza sterowania*: pakiet programów syntezy sterowania, moduły uwzględniające parametry kinematyczne i dynamiczne mechanizmu wykonawczego, napędów itp.
5. *Realizacja algorytmów sterowania* za pomocą tanich współczesnych mikroprocesorów: koncepcja uniwersalnego sterownika, który automatycznie generuje model dowolnego konkretnego robota, przykłady identyfikacji parametrów robota, realizowane przez układ sterowania, przykład liczbowy dotyczący rzeczywistego manipulatora.

Monografia jest przeznaczona dla specjalistów z zakresu robotyki teoretycznej i stosowanej oraz studentów wyższych lat studiów na kierunku automatyka i robotyka.

J. Knapczyk

M. E. Kołovskij, A. W. Słuość: *Osnovy dynamiki promyślennych robotov*. Izd. Nauka, Moskva 1988, s. 240, seria: Naučnyje osnovy robototekhniki.

Przedstawiono metody analizy dynamicznej robotów przemysłowych. Rozpatrzono struktury układów manipulacyjnych, metody analizy kinematycznej, dokładności geometrycznej i kinematycznej, obliczeń sił, wyznaczania niedokładności (błędów) statycznych i dynamicznych. Rozważania dotyczą mechanizmów z członami sztywnymi i odkształcalnymi. Analizowano wpływ charakterystyk dynamicznych układu mechanicznego na efektywność zamkniętych układów sterowania ruchem.

Monografia składa się z pięciu rozdziałów i dodatku:

1. *Modele dynamiczne robotów przemysłowych*: struktura mechanizmów robotów i ich modele dynamiczne, charakterystyki mechaniczne silników napędowych, struktura układu sterowania.
2. *Kinematyka układów manipulacyjnych*: układy odniesienia, przekształcenie współrzędnych, funkcje położenia, prędkości i przyspieszenia członów i punktów, niedokładności (błędy) geometryczne i kinematyczne, odwrotne zadanie kinematyki.
3. *Dynamika robotów z członami sztywnymi*: zadania i metody analizy dynamicznej, siły działające w mechanizmach robota, kinetostatyczne obliczenie mechanizmu wykonawczego, wyznaczenie sił uogólnionych, obliczenie sił w mechanizmach przekładniowych, równania ruchu układu manipulacyjnego, metoda kinetostatyki, energia kinetyczna, równania Lagrange'a drugiego rodzaju, dynamika ruchów składowych.
4. *Dynamika robotów z członami sprężystymi*: sprężyste i tłumiące charakterystyki mechanizmów, statyka robota sprężystego, częstości własne i ich postacie, równania ruchu robota sprężystego, wyznaczenie błędów dynamicznych.
5. *Układy sterowania ruchem*: funkcje przełożenia, elementy układu sterowania, efektywność i stateczność układów zamkniętych, wpływ sprężystości członów, wyznaczenie błędów quasi-statycznych.

Dodatek: program analizy kinematycznej, dokładności i dynamiki mechanizmów robota przemysłowego.

Monografia jest przeznaczona dla specjalistów z zakresu robotyki, mechaniki i teorii sterowania.

J. Knapczyk

J. B. Čelpanov, S. N. Kołpašnikov: *Schwaty promyślennych robotov*. Mašinostroenie, Leningrad 1989, s. 286.

Książka dotyczy chwytakowych urządzeń mechanicznych (chwytaków) robotów przemysłowych mających różnorodne schematy i rozwiązania konstrukcyjne. Uogólniono doświadczenia projektowe, podano konkretne przykłady konstrukcji chwytaków oraz ich schematy kinematyczne. W oparciu o podział chwytaków na części składowe (zespoły) opracowano ogólną metodę projektowania zgodnie z wymaganiami technicznymi. Sformułowano i rozwiązano kilkanaście zadań mechaniki chwytania.

Książka składa się z 13 rozdziałów:

1. *Klasyfikacja obiektów manipulowanych i wymagania stawiane chwytakom*.
2. *Siły działające na obiekt manipulowany*: dane wejściowe do obliczania udźwigu chwytaka, przybliżony sposób oceny mak-

symalnych wartości przyspieszeń, metody, przyrządy i wyniki badań doświadczalnych maksymalnych wartości przyspieszeń.

3. *Określenie pojęć i podstawowych wskaźników w zakresie urządzeń chwytakowych*.

4. *Zespoły składowe i schematy chwytaków*: silnik chwytaka, mechanizm przekładniowy, przełożenie i siła chwytaku, schematy wieloobiektywych i wielofunkcyjnych chwytaków.

5. *Składanie i konstrukcja chwytaków*: typowe konstrukcje, urządzenia mocujące chwytaki do manipulatora, wymienne chwytaki i urządzenia do automatycznej wymiany chwytaków.

6. *Podstawowe etapy projektowania chwytaków*: wybór schematu i parametrów chwytaka wg wymagań technicznych, obliczenie sił i momentów dynamicznych działających na obiekt przy ograniczeniach przemieszczeń w połączeniach ruchowych, obliczanie siły chwytu dla chwytaków pneumatycznych, projektowanie chwytaków z napędem elektrycznym, przykład doboru i obliczania parametrów chwytaka.

7. *Badania geometrycznego usytuowania obiektu względem roboczych elementów chwytaka*: kryteria odpowiedności kształtów obiektu chwytanego i powierzchni części chwytającej, wyznaczenie położenia równowagi obiektu względem chwytaka, błędy bazowania obiektu względem powierzchni roboczych chwytaka, uwzględnienie błędów mechanizmu chwytaka i błędów bazowania obiektu względem chwytaka.

8. *Obliczanie udźwigu urządzeń chwytających mechanicznych*: postacie położenia równowagi obiektu w chwytaku, równania statyki układu obiekt-chwytnak, obliczanie udźwigu chwytaka, przykłady obliczeń parametrów sztywnego mocowania, wpływ błędów postaci i położenia powierzchni obiektu i części roboczych chwytaka na jego udźwig.

9. *Obliczenie chwytaków z elementami sprężystymi*: chwytaki z dodatkowymi stopniami swobody, chwytaki z nakładkami sprężystymi, udział sprężystości obiektu przy chwytaniu.

10. *Analiza procesu chwytania*: metoda trajektorii, metoda położenia skrajnych, zadania dynamiki procesu chwytania.

11. *Zadania dynamiki układu chwytak-obiekt*: zadania obliczeniowe, niezawodność utrzymywania obiektu przy jego przemieszczaniu względem chwytaka, uwzględnienie sprężystości manipulatora, części chwytaka i skośnego czasu impulsu przyspieszenia.

12. *Standaryzacja urządzeń chwytakowych*.

13. *Badania chwytaków*: zasady odbioru chwytaków, metody badań, diagnostyka.

Książka jest przeznaczona dla inżynierów konstruktorów robotów przemysłowych oraz technologów zrobotyzowanych systemów produkcyjnych.

J. Knapczyk

Mechanika promyślennych robotov. Vysšaja Škola. Moskva 1988. red. K. V. Frolov i E. J. Vorobiev.

t.1. *Kinematyka i dynamika*, autorzy E. J. Vorobiev, S. A. Popov, G. J. Sievieleva, 303 s, 8 rozdziałów:

1. *Podstawowe pojęcia i określenia*.
2. *Wektorowa metoda analizy kinematycznej manipulatorów*: zadanie proste i odwrotne położenia i prędkości, prędkości i przyspieszenia kątowe członów i liniowe punktów, zautomatyzowane metody analizy.
3. *Macierzowa metoda kinematyki*: układy współrzędnych, macierze przekształceń układów w parach kinematycznych, proste i odwrotne zadanie kinematyki, wyznaczenie prawa zmiany współrzędnych uogólnionych dla ruchu punktu chwytaka po zadanej trajektorii, uogólnione prędkości i przyspieszenia, algorytm optymalizacji szybkości robota wg warunku minimalizacji czasu przejścia, rozwiązanie zadania odwrotnego w postaci jawnej.
4. *Metoda skrętników i macierzy z elementami zespolonymi*.
5. *Metoda kinetostatyki w dynamice manipulatorów*: siły i momenty bezwładności członów, równanie ruchu manipulatora, przykłady analizy kinetostatycznej, dynamika manipulatora z uwzględnieniem tarcia suchego, model dynamiki manipulatora z więzami sprężystymi, siłami oddziaływania w miejscach styku z otoczeniem, model robota montażowego. Automatyczna analiza dynamiki manipulatora.
6. *Równania Lagrange'a i zasada d'Alamberta w dynamice manipulatora*: energia kinetyczna i potencjalna członów, siły uogólnione, wyprowadzenie równań Lagrange'a drugiego rodzaju w postaci macierzowej, algorytm rozwiązywania tych równań, wyznaczenie reakcji w parach kinematycznych, równania Lagrange'a pierwszego rodzaju, dodatkowe czynniki wpływające na dynamikę manipulatora.
7. *Zasada Gaussa w dynamice manipulatorów*: obliczenie funkcji odchylenia rzeczywistego ruchu od swobodnego, minimalizacja tej funkcji algorytmy wyznaczania uogólnionych przyspieszeń i reakcji w parach kinematycznych.
8. *Zadanie odwrotne dynamiki manipulatora*: wyprowadzenie równań ruchu wg programu różniczkowego i holonomicznego, wy-

znaczenie sił sterujących przy pozycjonowaniu zadaną prędkością, algorytmy sterowania w pracach montażowych, zadanie odwrotne dynamiki przy obróbce powierzchni, algorytmy sterowania po zadanej trajektorii.

t.2. **Obliczanie i projektowanie mechanizmów.** Autorzy E. J. Vorobiev, O. D. Jegorov, S. A. Popov, s. 367, 9 rozdziałów:

1. *Ogólne zadania syntezy i optymalizacji mechanizmów:* metody syntezy oparte na aproksymacji funkcji, synteza dla zadanego ruchu.
2. *Geometryczne i kinematyczne charakterystyki manipulatora:* ruchliwość, synteza strukturalna, przestrzeń robocza, strefa obsługi, charakterystyki możliwych prędkości chwytaka.
3. *Synteza otwartych łańcuchów kinematycznych dla zadanych położenia obiektu w przestrzeni.*
4. *Mechanizmy obiegowe (planetarne):* kinematyka, kasowanie luzów.
5. *Mechanizmy chwytakowe:* zasada działania, schematy kinematyczne, analiza, synteza, obliczanie sił, przykłady obliczenia parametrów oddziaływania chwytaka i obiektu.
6. *Mechanizmy przekładniowe o ruchu okresowym (cykliczne) z parami niższymi (obrotowymi i przesuwными) i wyższymi (krzyż maltański).*
7. *Przekładnie robotów przemysłowych:* śrubowe, zębatkowe, pasowe, z paskiem zębatym, falowe.
8. *Wyrównywanie statyczne, akumulacja energii:* za pomocą sprężyn, za pomocą rozkładu mas (przeciwwagi).
9. *Dokładność mechanizmów robota:* kinematyczna niedokładność manipulatora, mechanizmów przekładniowych, statyczne i dynamiczne niedokładności.

t.3. **Podstawy konstrukcji.** Autorzy: E. J. Vorobiev, A. B. Babič, S. A. Popov, K. P. Żukov, J. I. Siemin, 383 s., 8 rozdz.

1. *Konstrukcje robotów przemysłowych z wysuwną i przegubową kłasią, z pionowymi i poziomymi osiami przegubów, z portalowym podwieszeniem, z napędami pneumatycznym i hydraulicznym, mostowe, agregatowo-modułowe i inne.*
2. *Zasady projektowania robotów przemysłowych:* wymagania techniczne, wyznaczenie parametrów: udźwig, zakresy przemieszczeń, maksymalne przyspieszenie, niedokładność pozycjonowania, agregatowo-modułowa zasada projektowania.
3. *Projektowanie układu mechanicznego:* mechanizmu orientacji (kłasi), układu nośnego, wykonawczego wybór typu napędu.
4. *Konstrukcja i obliczanie mechanizmu ramienia:* obliczenie wałów, sprzęgieł, przekładni, uchwytów.
5. *Konstrukcja i obliczanie mechanizmu obrotu i przesunięcia:* przekładni ślimakowej, obiegowo-rolkowej, falowej, prostowodu.
6. *Obliczanie i projektowanie modułów konstrukcyjnych:* wymagania techniczne, sztywność modułu, dokładność, uchwyty modułów.
7. *Modele dynamiczne konstrukcji robotów:* z uwzględnieniem sprężystości członów mechanizmów przekładniowych, giętej sprężystości członów manipulatora, asymptotyczna metoda dynamiki manipulatorów sprężystych, modele dyskretne konstrukcji manipulatorów, dokładne modele robotów, analiza ich dokładności.
8. *Modele dynamiczne robotów z uwzględnieniem napędów:* pneumatycznego, elektrohydraulicznego, dobór parametrów hamulców hydraulicznych.

Książka ma charakter podręcznika dla studentów na kierunku automatyka i robotyka. Może być przydatna dla konstruktorów robotów przemysłowych.

J. Knapczyk