PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW
MERA-PIAP
Al. Jerozolimskie 202 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81

OŚRODEK AUTOMATYKI ELEKTRYCZNEJ

074 Zespół Budowy Robotów i Serwomechanizmów

A

~~Główny~~ wykonawca mgr inż. Tomasz Wański

Wykonawcy

Konsultant

Nr zlecenia

RP.100

Metody i środki zapewnienia bezpiecznej pracy robotów przemysłowych.
Zadanie 4.1.
Opracowanie koncepcji urządzeń podwyższających bezpieczeństwo pracy robotów przemysłowych.

Zleceniodawca CPBR 7.1

Pracę rozpoczęto dnia 01.01.89r **zakończono dnia** 30.03.89r.

Kierownik Zespołu	Z-ca Dyrektora d/s Automatyki	Kierownik Ośrodka
dr inż.P.Jabłoński	dr inż.T.Gałązka	dr inż.B.Kontrymowicz

Praca zawiera:

stron 43
rysunków –
fotografii –
tabel –
tablic –
załączników –

Nr rejestr. 6252

Rozdzielnik - ilość egz:

Egz. 1 BOINTE
Egz. 2 OAE
Egz. 3 OAR
Egz. 4 CBKO
Egz. 5
Egz. 6

Analiza deskryptorowa ROBOTY PRZEMYSŁOWE. / ~~BEZPIECZEŃSTWO PRACY~~ / BHP

Analiza dokumentacyjna

Sprawozdanie zawiera przegląd literatury i dyskusję struktury i zastosowań zewnętrznego systemu bezpieczeństwa robotów przemysłowych oraz propozycję koncepcji systemu bezpieczeństwa.

Tytuły poprzednich sprawozdań

1. Rozpoznanie stanu techniki w zakresie norm i zaleceń dotyczących bezpieczeństwa pracy robotów przemysłowych
   nr rej. 5733
2. Rozpoznanie i klasyfikacja zagrożeń występujących przy pracy robota przemysłowego,
   nr rej. 5921
3. Opracowanie kryteriów bezpiecznej pracy robota.
   nr rej. 6063.
4. Opracowanie kryteriów bezpiecznej pracy stanowiska zrobotyzowanego,
   nr rej. 6104
5. Opracowanie metodyki oceny robota pod względem bezpieczeństwa pracy,
   nr rej. 6132
6. Analiza robota przemysłowego pod względem zapewnienia bezpieczeństwa pracy (na przykładzie robota IRp-6/60) - w zakresie układu sterowania,
   nr rej.6219.

UKD

PIAP 41/88 10000

338.45:62/63].002.1/.2 Roboty przemysłowe
331.82 Bezpieczeństwo pracy

SPIS TREŚCI

strona:

1. Wstęp 3

2. Istota i cel stosowania dodatkowych urządzeń podwyższających bezpieczeństwo pracy 5

3. Przegląd stosowanych urządzeń 8

4. Propozycje wynikające z poprzednich etapów pracy 21

5. Koncepcja struktury i wykorzystania urządzeń bezpieczeństwa 24

5.1. Propozycja klasyfikacji urządzeń 24

5.2. Zagadnienia wstępne 27

5.3. Koncepcja systemu urządzeń podwyższających bezpieczeństwo pracy 31

6. Podsumowanie 40

7. Literatura 43

1. Wstęp

Niniejsza praca dotyczy urządzeń zwiększających bezpieczeństwo pracy instalacji zrobotyzowanych i robotów przemysłowych, które funkcjonalnie i konstrukcyjnie mają pewien stopień autonomii działania w stosunku do układu sterowania robota.

Zastosowanie tego typu urządzeń było pierwszym sposobem zabezpieczenia robotów i stanowisk zrobotyzowanych. Urządzenia te umożliwiały pewnego rodzaju odseparowanie stanowiska z robotem od otaczającego środowiska. Początkowo zadaniem ich było wykrycię wejścia człowieka w obręb stanowiska i zatrzymanie robota. W miarę rozwoju zastosowań robotów, zwiększania ilości i stopnia skomplikowania instalacji urządzenia te również ulegały ewolucji w kierunku zwiększenia pewności działania, wybiórczości wykrywanych stanów lub sytuacji, różnicowania oddziaływania na robota.

Współcześnie stosuje się i produkuje wiele różnorodnych urządzeń i układów mających za zadanie pośrednie zwiększenie bezpieczeństwa pracy robota. Urządzenia te pozwalają wykrywać sytuacje potencjalnie niebezpieczne (np.wejście człowieka w obręb stanowiska) lub bezpośrednio zagrażające człowiekowi lub robotowi (uderzenie w przeszkodę /człowieka).

Praca ta ma na celu zarówno podsumowanie i systematyzację wiadomości literaturowych dotyczących konstrukcji i stosowania tych urządzeń, jak też zaproponowanie koncepcji systemu urządzeń zwiększających bezpieczeństwo pracy.

Zagadnienie stosowania dodatkowych urządzeń zabezpieczających nie jest przedmiotem podstawowych prac w celu nr 100, zostały one jednak włączone z dwóch względów:

- konieczności zapewnienia w układzie sterowania robota środków i mechanizmów współpracy z tymi urządzeniami oraz
- możliwie pełnego potraktowania problematyki bezpieczeństwa robotów przemysłowych.

2. Istota i cel stosowania dodatkowych urządzeń podwyższających bezpieczeństwo pracy.

Oczywistością techniczną jest fakt, że każde urządzenia, również konstruowane w sposób zmniejszający do minimum możliwości awarii, może jednak ulec uszkodzeniu i spowodować poważne skutki i straty. Wymownym przykładem są tu awarie sprzętu kosmicznego lub wojskowego.

W przypadku robotów przemysłowych i zagadnienia zapewnienia bezpiecznej ich pracy próg celowości stosowania zaawansowanych środków technicznych i dopuszczalnego ich kosztu leży o wiele powyżej takiej granicy dla wyżej wymienionych rodzajów urządzeń. Nie oznacza to jednak, aby zaniechać badań i konstruowania systemów zabezpieczających roboty i obsługujący personel przed możliwymi wypadkami. Przyczyną ich są z reguły awaria sprzętu lub niedostateczna wiedza czy uwaga osób znajdujących się na stanowisku. Zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia lub wypadku osiąga się dwoma drogami:

- wyposażeniem stanowiska zrobotyzowanego w urządzenia wykrywające określone sytuacje i stany, które stwarzają niebezpieczeństwo;
- rozbudowaniem układu sterowania robota o układy kontroli poprawności pracy oraz wykrywania usterek i uszkodzeń układu.

Środki i metody stosowane w drugiej z nich są głównym obszarem prac realizowanych w ramach celu 100 BPBR 7.1.

Konieczne jest jednak uzupełnienie ich o podstawowe analizy dotyczące wykorzystywanych dodatkowych urządzeń ochrony.

Urządzenia te pracują wykorzystując różnorodne zjawiska fizyczne, służą wykrywaniu lub zapobieganiu różnym sytuacjom i w odmienny sposób oddziaływują na robota lub stanowisko zrobotyzowane.

Podstawową idea ich stosowania jest zwiększenie różnorodności stosowanych środków ochrony człowieka i robota oraz zwiększenie pewności i niezawodności pracy systemu zabezpieczeń. Urządzenia te umożliwiają wykrywanie wejścia osoby w obręb stanowiska, fakt ruchu robota lub osoby, uderzenie człowieka przez robot; mogą również wykrywać nieprawidłowości w pracy robota, stanowiska lub samego systemu zabezpieczeń.

Podstawowym zadaniem wszelkich urządzeń wykorzystywanych w systemach zrobotyzowanych dla zwiększenia bezpieczeństwa jest wykrycie obecności człowieka w obrębie instalacji. Układy realizujące to zadanie są wykorzystywane we wszystkich systemach ochronnych, a zdarzenie to jest zawsze wykorzystywane do uruchamiania (aktywacji) systemu ochrony. Większość z urządzeń tego typu umożliwia odpowiednio wczesne wykrycie człowieka, tzn. wtedy, gdy osoba weszła w obręb stanowiska i praktycznie nie ma jeszcze bezpośredniego zagrożenia wypadkiem. Nie muszą one się charakteryzować dużą szybkością działania - podstawowym zadaniem jest uaktywnienie systemu ochrony.

Kolejna grupa urządzeń służy do wykrywania możliwości występowania kolizji robota z człowiekiem. Urządzeniami tymi są różnorodne czujniki o stosunkowo małym zasięgu działania, pra-

-cujące wg różnorodnych zasad (wykorzystujące różnorodne zjawiska fizyczne). Urządzenia te pracują w sposób"bezwzględny" (statyczny) - wykrywając każdą zmianę w przestrzeni ich pracy lub w sposób "względny" (dynamiczny) - wykrywając odchylenie od pewnych dopuszczalnych granic zmian wzorcowego sygnału wejściowego.

Trzecią wreszcie grupą są urządzenia działające w czasie kolizji; ich zadaniem jest zmniejszenie skutków wypadku. Urządzenia te wykrywają fakt dotknięcia ramienia robota lub skokową zmianę obciążenia.

Urządzenia należące do drugiej i trzeciej z wymienionych grup muszą charakteryzować się dużą szybkością i pewnością działania, a ich oddziaływanie na układ sterowania robota musi być pewne i drobiazgowo przemyślane, z przewidywaniem możliwie różnorodnych sytuacji i zagrożeń, aby przez brak wyobraźni lub wiedzy nie pogorszyć sytuacji w trakcie wypadku.

Przedstawiony podział odpowiada klasyfikacji urządzeń ochrony wprowadzonej przez amerykańskie Biuro Normalizacji. Klasyfikacja ta będzie szerzej omówiona w następnym rozdziale pracy.

3. Przegląd stosowanych urządzeń

Urządzenia służące zwiększeniu bezpieczeństwa pracy robotów przemysłowych stosowane były praktycznie od początku zastosowań robotów. Początkowo miały za zadanie przerwać pracę robota po wykryciu wejścia człowieka w chroniony obszar; z czasem urządzenia te rozwinęły się w skomplikowane niekiedy systemy ochrony, które są częścią systemu robota lub urządzeniem od niego niezależnym.

Urządzenia te mogą spełniać swoje zadanie na różnorodne sposoby:

- jako niezależny system zabezpieczeń,
- jako samodzielny układ testowania poprawności pracy instalacji,
- jako wewnętrzny układ testowania właściwej pracy robota.

Wszystkie takie urządzenia i układy powodują zmniejszenie podobieństwa wypadku i ryzyka związanego z pracą ludzi w instalacji zrobotyzowanej.

Poniżej omówione zostaną te z nich, które konstrukcyjnie i funkcjonalnie są wyodrębnione z robota przemysłowego, a jedynie wykrycie przez nie sytuacji niosącej zagrożenie powoduje generowanie sygnałów do robota.

Systemy zabezpieczeń wykrywają obecność człowieka w dozorowanej strefie i generują sygnały alarmowe dla personelu i z reguły sygnały stopu dla robota.

Dokładną klasyfikację systemów zabezpieczeń stosowanych w instalacjach zrobotyzowanych zawiera praca (1).

Systemy zabezpieczeń podzielono na:

- wykorzystujące pole promieniowania wokół robota,
- telewizyjne,
- wykorzystujące dodatkowe urządzenia noszone przez personel,
- pneumatyczne,
- zawierające detektory podczerwieni emitowanej przez ciało człowieka,
- pojemnościowe,
- mechaniczne.

Jak z powyższej klasyfikacji wynika systemy zabezpieczeń wykorzystują różnorodne zjawiska fizyczne dla realizacji zadania detekcji człowieka. Poszczególne rozwiązania charakteryzują się odmiennymi parametrami dając różne możliwości ochrony i stosowania w odmiennych typach robotów i/lub instalacji.

Urządzenia mechaniczne są najprostsze i najłatwiejsze w montażu i stosowaniu. Są to osłony stałe stanowiska zrobotyzowanego i osłony części ruchomych, ostrych i wystających robota lub współpracujących urządzeń.

Czujniki pojemnościowe, pneumatyczne i wykrywające promieniowanie ciała ludzkiego lub sygnał z urządzenia noszony przez personel mają stosunkowo mały zakres działania i mogą być używane jako statyczne, progowe czujniki obecności osoby lub rzeczy w bezpośredniej bliskości ramienia robota (gdzie są zwykle montowane). Ze względu na prostotę działania są użyteczne dla wykrywania sytuacji bezpośredniego zagrożenia i generowania sygnału natychmiastowego zatrzymania ramienia robota i/lub wyłączenia urządzeń technologicznych.

Układy wykorzystujące pole promieniowania można zaliczyć do układów ochrony dynamicznej. Układy te generują pole wokół ramienia robota i niekiedy również wokół detalu lub narzędzia niesionego przez robot. W fazie uczenia układu (np.w pierwszym cyklu normalnej pracy) sygnał z odbiorników na ramieniu robota będący "echem" otoczenia jest rejestrowany jako przebieg wzorcowy. W kolejnych cyklach pracy sygnały z odbiorników są porównywane z przebiegiem wzorcowym pozwalając wykryć rozbieżności wskazujące na zmiany otoczenia stwarzające możliwość kolizji lub wypadku. Zaletą tych układów jest możliwość wielostopniowej detekcji zmian odbieranych sygnałów w stosunku do wzorca oraz, przy pewnej komplikacji układu, możliwość adaptacji do zmienności otoczenia przez okresową aktualizację wzorca.

Najbardziej skomplikowany, lecz i dający największe możliwości jest system wykorzystujący środki telewizji przemysłowej. W systemach takich stanowisko jest obserwowane przez stacjonarną kamerę telewizyjną, a obraz analizowany w celu stwierdzenia obecności w nim osób, przedmiotów ruchomych itp. System taki wymaga dość poważnych środków technicznych zarówno w zakresie sprzętu (specjalizowany szybki system komputerowy) jak i oprogramowania (obróbka sygnału wizyjnego,analiza obrazów). Stwarza on jednak możliwość różnicowania oddziaływania na robota, urządzenia sygnalizacji itp. w zależności od sytuacji czy zdarzeń występujących na stanowisku z robotem.

Omówione wyżej zasady pracy i wykorzystywane urządzenia pozwalają na różnorodne realizacje techniczne systemów ochrony.

M

Pod pojęciem systemu ochrony rozumiem tu zestaw różnorodnych środków technicznych (urządzeń) tworzących kompleksowy układ realizujący wykrywanie obecności człowieka w dozorowanym obszarze i generujący sygnały ostrzegawcze i/lub rozkazy dla robota.

Przykładem takiego systemu jest system zabezpieczeń obsługi zrobotyzowanych gniazd i linii produkcyjnych"SZO" i "ASZO" opracowany w PIAP (2). Celem tego systemu jest sygnalizacja świetlna i dźwiękowa niebezpieczeństwa,jakie wiąże się z wejściem człowieka w strefę pracy robota przemysłowego, urządzeń ruchomych stanowiących wyposażenie zautomatyzowanych gniazd i linii produkcyjnych. System wykorzystuje tory podczerwieni dla detekcji wejścia człowieka w chroniony obszar. Z torów tych tworzy się obszary ochrony o różnym stopniu niebezpieczeństwa w zależności od aktualnego położenia lub czynności wykonywanej przez robot. Stopnie ochrony zmieniane są dynamicznie w trakcie pracy robota umożliwiając personelowi wykonywanie czynności pomocniczych lub obsługowych w strefach chronionych o najniższym stopniu ochrony. Podstawową, czujnikową częścią systemu są tory podczerwieni zawierające nadajniki i odbiorniki; centralna część systemu jest specjalizowanym mikrokomputerem opartym na procesorze Z80 z rozbudowanym systemem wejść i wyjść dwustanowych - dla obsługi torów podczerwieni, odbierania sygnałów o położeniu robota i sterowaniu urządzeń sygnalizacyjnych. Dzięki zastosowaniu tych środków system może adaptować sposoby ochrony personelu do aktualnej sytuacji na stanowisku i stanu robota umożliwiając pracę osób w obrębie stanowiska zrobotyzowanego.

Stosowane w instalacjach zrobotyzowanych urządzenia ochronne mogą być klasyfikowane podobnie jak to zaprezentowano w rozdziale drugim - ze względu na rodzaj "czujności". Podział taki wprowadzony został przez amerykańskie Biuro Normalizacji (US National Bureau of Standards).
Omówienie tej klasyfikacji i przykład zastosowania różnorodnych urządzeń zawiera praca /3/.

Podział wprowadzony przez Biuro Normalizacji wymienia trzy strefy ochrony:

- strefa I - ochrona całości stanowiska,
- strefa II - wykrycie wejścia osoby w obręb stanowiska (obszar pracy robota),
- strefa III- wykrycie obecności osoby w bezpośrednim pobliżu robota.

W każdej z tych stref, lub inaczej mówiąc w każdej z wymienionych sytuacji, stosowane są inne środki ochrony zwiększające bezpieczeństwo przez neutralizację zagrożeń.

Ochrona strefy I to stałe przeszkody w postaci siatek, osłon, barier, łańcuchów itp. włączając w to bramki umożliwiające kontrolowany dostęp do stanowiska. Przyjmuje się, że przekroczenie bariery tej strefy nie stwarza bezpośredniego zagrożenia i nie wymaga specjalnych działań z wyjątkiem ostrzeżenia osoby o fakcie wejścia w obręb stanowiska.

Systemy działające w strefie II powinny wykrywać obecność człowieka wewnątrz przestrzeni roboczej robota 1/lub współpracujących maszyn. System powinien wykrywać położenie osoby względem robota (co jednak nie zawsze jest możliwe) i w zależności od tego powodować: zmianę trajektorii ruchów robota

(modyfikację programów pracy), zmniejszenie szybkości ruchów, zatrzymanie robota.

Systemy III strefy ochrony, niekiedy nazywane "powłoką bezpieczeństwa", służą ochroną przede wszystkim w sytuacjach bezpośredniego zagrożenia wypadkiem. Stanowią też ochronę dla programistów, personelu serwisowego i obsługi. Zadaniem tego systemu jest natychmiastowe zatrzymanie ramienia robota, co pozwala często uniknąć wypadku.

W poszczególnych strefach stosowane są różnorodne środki ochrony, a urządzenia realizujące poszczególne strefy mogą być w szczególnych wypadkach wyłączone.

Środki ochrony strefy I wymieniono wyżej, dla strefy II stosuje się najczęściej pneumatyczne maty naciskowe (lub zestawy mat), kurtyny świetlne, detektory ultradźwiękowe itp. Przykładem środka ochrony III strefy jest "przełącznik bezpieczeństwa" skonstruowany w Instytucie IPA w RFN.
Cechy funkcjonalno-użytkowe wymienionych urządzeń omówione będą w dalszej części rozdziału.

W pracy [10] zwrócono uwagę na fakt dobrego obecnie stanu ochrony I strefy (wg powyżej podanej klasyfikacji) przy względnie słabym rozwinięciu zagadnień ochrony strefy II i III.

Zadaniem układów ochrony strefy II (obszaru stanowiska) jest detekcja obecności pracownika na stanowisku, a także, w miarę możności, określenia pozycji pracownika w obrębie stanowiska. Stosowane są tu kurtyny świetlne lub maty naciskowe. Podstawowym problemem jest jednak objęcie kontrolą całej przestrzeni stanowiska, często o skomplikowanym kształcie.

Dopasowanie kształtu chronionego obszaru możliwe jest dzięki modułowości obecnie stosowanych mat. Niedawno na rynku angielskim pojawiły się maty kontaktowe elektryczne, które można ciąć z arkuszy na dowolne kształty dopasowując do kształtów stanowiska. Kolejnym zagadnieniem jest konieczność dopasowania środków ochrony do warunków panujących na stanowisku. Na stanowiskach obróbki mechanicznej lub termicznej nie jest zalecane stosowanie mat ze względu na możliwość ich uszkodzenia; w takich przypadkach korzystniejsze jest zastosowanie kurtyn świetlnych. Nie zawsze jednak jest to możliwe, a zastosowanie kurtyny nie jest zamiennikiem ochrony przy pomocy mat.

Systemy ochrony strefy III mają wykrywać obecność osoby lub przedmiotu w pobliżu ramienia robota. Oznacza to, że urządzenia ochronne muszą być umiejscowione na ramieniu (ramionach) robota i działać we wszystkich kierunkach. Podstawowymi cechami tych urządzeń jest niezawodność i szybkość działania. Niezawodność powinna być największa możliwa do osiągnięcia ze względu na to, że jest to urządzenie "ostatecznej ochrony", z tego samego względu krytyczna jest prędkość działania. Układy ochrony powinny zapewniać zatrzymanie robota przed uderzeniem przeszkody lub o przeszkodę tzn. odległość przebyta przez robot od momentu detekcji przeszkody do całkowitego zatrzymania powinna być mniejsza od strefy pracy czujnika. Autor zaleca, aby ramię robota było dodatkowo otulone materiałem absorbującym energię do chwili zatrzymania robota dla ochrony ludzi w czasie uderzenia przez robot.

W pracy /4/ proponuje się nieco odmienny podział urządzeń

podwyższających bezpieczeństwo pracy robotów. Podział ten oparty jest na funkcji spełnianej przez poszczególne elementy systemu:

- wykrywanie osoby w "zagrażającej bliskości" robota,
- układ sterujący,
- system zasilania silników i hamulce robota.

Układy wykrywania obecności człowieka w pobliżu ramienia robota, co niesie znaczne zagrożenie, są podobne jak omówione poprzednio (bramki, maty, naciskowe, tory świetlne itp.)

Układ sterujący ma za zadanie odbierać sygnały od układów detekcji i generowanie odpowiednich sygnałów (w tym sygnału STOP) do układu zasilania napędów i hamulców robota. Od układu tego wymaga się dużej niezawodności pracy, którą uzyskuje się specjalną konstrukcją układu, zdublowaniem obwodów wykrywających i wykonawczych.

Układ zasilania silników i hamulce robota muszą dawać możliwość pewnego i szybkiego zatrzymania ramienia robota, a konstrukcja chwytaka musi zapewniać poprawne trzymanie detalu.

W pracy /5/ poświęconej głównie znaczeniu szkolenia obsługi w zapewnieniu bezpieczeństwa użytkowania robotów, wymieniono i oceniono różne metody ochrony stanowisk zrobotyzowanych. Najprostszymi są osłony, siatki i specjalne oznakowanie stanowisk. Zastosowanie kurtyn świetlnych pozwala niezawodnie wykrywać przejście człowieka; wadą ich jest jednak pewna wrażliwość na światło zewnętrzne, błyski itp. co może generować fałszywe sygnały. Często stosowane maty naciskowe są pewnym środkiem ochrony stanowiska, nie mogą pokrywać jednak zbyt du-

-żego obszaru, by niepotrzebnie nie zatrzymywać cyklu robota.

W książce "Robot Safety" poświęconej zagadnieniom bezpieczeństwa pracy robotów przemysłowych zamieszczono dwa artykuły /6/ i /7/ opisujące różne aspekty zastosowania kurtyn świetlnych i mat naciskowych. Ze względu na częste stosowanie tych urządzeń w systemach ochrony rozważania te zostaną pokrótce przedstawione poniżej.

Kurtyny świetlne /6/ wykrywają przejście człowieka przez dozorowany obszar dzięki przerwaniu strumienia światła biegnącego między nadajnikiem, a odbiornikiem. Nadajnikiem są lampy żarowe, diody LED na podczerwień lub inne źródło światła. Strumień z nadajnika ma często skomplikowaną drogę do odbiornika gdyż jego przebieg kształtowany jest systemem luster i soczewek dla objęcia kontrolą maksymalnie dużego obszaru. Światło źródła jest często modulowane dla zmniejszenia wpływu zakłóceń pochodzących z innych źródeł światła znajdujących się w pobliżu.

Zaletą tych urządzeń jest możliwość objęcia ochroną znacznej płaszczyzny, co utrudnia ominięcie dozorowanego obszaru i wejście na stanowisko bez załączenia systemu ochrony. Wadą jest konieczność zapewnienia czystości elementów optycznych i możliwość fałszowania pracy przez zewnętrzne źródło światła.

Maty naciskowe /7/ są również często wykorzystywanym środkiem ochrony ze względu na prostotę stosowania, dużą niezawodność, możliwość dowolnego kształtowania chronionej powierzchni.

Te podstawowe zalety sprawdziły się praktycznie w wielu różnorodnych systemach ochrony (nie tylko robotów przemysłowych). Maty są łatwe w montażu i wymagają zasilania pneumatycznego, które jest w każdym zakładzie przemysłowym; nie zajmują miejsca na stanowisku. Podobnie jak kurtyny świetlne maty również nie dają możliwości ominięcia obszaru ochrony. Maty mogą być stosowane w warunkach zagrożenia pożarowego lub wybuchowego, gdyż elektryczna część detektora jest oddalona od obszaru chronionego. Długą żywotność urządzenia te zawdzięczają brakowi części ruchomych. Czas odpowiedzi tych urządzeń wynosi ok.150 ms i niewiele rośnie wraz z rozbudową systemu mat.

Przeważająca większość powyżej omówionych urządzeń i układów może być i jest stosowana do stref ochronnych I i II (patrz /3/).
W strefie ochronnej III - bezpośredniej bliskości robota są stosowane najczęściej czujniki generujące pole o niewielkich wymiarach "otaczające" ramię robota i wykrywające każdą zmianę tego pola.

Wśród tych urządzeń wyróżnić należy system opracowany w General Motors /8/, w Instytucie IPA w Stutfgarcie /9/ oraz w MERA-PIAP.

System GM oparty jest na zakłócaniu przez osobę słabego pola elektromagnetycznego generowanego przez antenę biegnącą wzdłuż ramienia robota. Obecność osoby lub dowolnej przeszkody w pobliżu anteny (ramienia robota) powoduje zmianę pola rejestrowaną przez czujnik. Wykrycie zmiany pola generuje sygnał stopu robota. Możliwe jest stosowanie czujnika jako układu dynamicznej kontroli otoczenia robota. W tym rodzaju pracy zmiany

pola rejestrowane są podczas pierwszego cyklu pracy robota, a w następnych cyklach porównywane ze wzorcem. Wadą tego urządzenia jest to, że nie obejmuje ochroną detalu, którym operuje robot.

W Instytucie IPA (Fraunhofer-Institut fur Produktionstechnik und Automatisierung) opracowano "obszarowy wyłącznik bezpieczeństwa" (large-area safety switch). Przełącznik ten to wielowarstwowa folia z warstwami przewodzącymi naklejona na warstwie gąbczastej gumy. Całość ta naklejana może być na dowolne miejsca części manipulacyjnej robota, ruchomych elementów maszyn i urządzeń itp. Folia po przyciśnięciu daje zwarcie dwóch warstw przewodzących, co umożliwia dalej wzmocnienie sygnału i wygenerowanie sygnału alarmu lub stopu robota. Warstwa gąbczastej gumy stanowi dodatkową ochronę w razie uderzenia przez robot. Podstawową zaletą tego rozwiązania jest objęcie ochroną dowolnych części robota i możliwość dowolnego kształtowania przestrzeni chronionej.

System opracowany w MERA-PIAP polega na detekcji promieniowania podczerwonego generowanego przez system ochrony, a odbitego od człowieka (lub przeszkody) znajdującego się w pobliżu robota. Generatory i odbiorniki montowane mogą być na dowolnych częściach (ramionach) robota i ukierunkowywane w dowolne strony, co pozwala na kształtowanie chronionego obszaru w żądany sposób. System ten był wykonany i przebadany wykazując zadawalające własności czasowe działania.

Powyżej przedstawiono zaczerpnięte z literatury przykłady rozwiązań technicznych urządzeń podwyższających bezpie-

-czeństwo pracy robotów oraz jedną z klasyfikacji tych urządzeń. Większość z tych urządzeń i układów są to samodzielne urządzenia służące do detekcji obecności człowieka w obrębie stanowiska pracy robota lub bezpośredniej bliskości ramienia robota i człowieka. W zależności od chronionej strefy najczęstszymi efektami ich działania są: zmniejszenie prędkości ruchów robota, zatrzymanie pracy robota (i stanowiska), awaryjne zatrzymanie robota.

Zastosowanie tych urządzeń wymaga więc wyposażenia robota w wejścia umożliwiające odczyt sygnałów z urządzeń zewnętrznych oraz w algorytmy obsługi tych sygnałów. Można stwierdzić, że w konstrukcji układów sterowania regułą jest znaczna ilość wejść/wyjść do układów zewnętrznych; o wiele rzadsze jest jednak związanie z tymi wejściami konkretnych algorytmów realizujących"funkcje bezpieczeństwa". Najczęściej działanie urządzeń ochrony powoduje sprzętowy stop awaryjny. Wydaje się, że rozwiązanie to jest właściwe dla urządzeń ochrony strefy III, gdzie najistotniejsze jest niezawodne i szybkie zatrzymanie robota. Dodatkową zaletą jest włączanie hamulców (o ile robot jest w nie wyposażony) skracających czas zatrzymywania robota.

Urządzenia ochrony strefy I i II nie wymagają tak drastycznych działań układu sterowania robota. W tych przypadkach wystarczające są takie działania robota jak zmniejszenie prędkości ruchów lub zatrzymanie pracy robota na czas obecności człowieka. Działania takie są nie tylko wystarczające, ale i korzystne ze względu na możliwość obserwacji przez programi-

-stę/operatora pracy robota i stanowiska.

Urządzenia opisane w tym rozdziale są konstrukcyjnie "zewnętrzne" w stosunku do robota.

Zasada rozdzielenia urządzeń ochrony jest zgodna z ogólną filozofią systemów bezpieczeństwa wymagającą niezależności pracy układów ochrony od chronionych urządzeń. Zestaw przedstawionych urządzeń nie wyczerpuje jednak wszystkich możliwości (i praktycznej konieczności) zastosowania tego typu urządzeń.

Rozważania dotyczące innych tego i innych rodzajów układów rozwinięte będą w rozdziale 5.

4. Propozycje wynikające z poprzednich etapów pracy

W dotychczas wykonanych etapach pracy rozważano teoretyczne i metodologiczne zagadnienia dotyczące bezpieczeństwa pracy robotów oraz, opierając się na nich, przeprowadzono analizę robota pod względem bezpieczeństwa.
Dla niniejszej pracy istotne są wyniki analizy zagrożeń występujących na stanowiskach zrobotyzowanych /11/ wskazujące, bezpośrednio lub pośrednio, na możliwe środki zapobiegawcze oraz wyniki analizy robota IRp-6/60 /12/.

Analiza zagrożeń wskazuje, że wypadki najczęściej zdarzają się podczas programowania i wykonywania czynności obsługowych (po zatrzymaniu, jak również podczas normalnej pracy robota), a podstawowymi przyczynami są: uszkodzenie układu sterowania lub manipulatora i błędy ludzkie. Najczęściej poszkodowanymi są programiści, personel obsługowy i serwisowy. Oznacza to, że pomimo iż podstawowe przyczyny bezpiecznej pracy tkwią w samym robocie przemysłowym, konieczne są dodatkowe, zewnętrzne urządzenia ochronne dla personelu i samego robota. Programowanie i obsługa (serwis) muszą być wykonywane przez pracowników bezpośrednio przy robocie, co zwiększa zagrożenie; dodatkowe zagrożenie wynika z faktu przeprowadzenia tych czynności przy wyłączonych niektórych systemach zabezpieczeń.

Podstawowym środkiem ochrony w ww sytuacjach są obwody i mechanizmy ochronne wbudowane w układ sterowania robota. Ze względu jednak na zawodność sprzętu i oprogramowania systemowego celowe jest zastosowanie dodatkowych systemów ochronnych. Ponieważ najbardziej narażeni są programiści i personel

obsługi, dodatkowy sprzęt powinien być nakierunkowany na ich ochronę i działanie w sytuacjach, w jakich pracują. Urządzenia te powinny być niezależne od układu sterowania robota (zarówno pod względem funkcjonalnym jak i energetycznym) i charakteryzować się pewnością działania. W świetle opisanej w rozdziale 3 klasyfikacji będą to przede wszystkim urządzenia strefy III.

Zadaniem tych urządzeń jest szybkie wykrycie przeszkody w pobliżu ramienia robota i wygenerowanie sygnału zatrzymania. Sygnał ten w układzie sterowania robota powinien natychmiast zatrzymywać ramię robota. W tym przypadku najkorzystniejsze jest włączenie stopu awaryjnego.

Oprócz tradycyjnie stosowanych środków ochrony realizujących powyżej przedstawione zadanie (opisanych w rozdz.3) można stosować również inne jak np.: generatory sygnałów noszone przez obsługę czy mechaniczne osłony personelu (kaski, ograniczniki zakresów ruchów itp.)

Wszystkie te urządzenia działają w warunkach awarii (zagrożenia). Dodatkowym polem zastosowań i zadaniem urządzeń ochronnych jest minimalizowanie szkodliwego wpływu warunków otoczenia (lub wykonywanego procesu technologicznego) na robota i ludzi znajdujących się na stanowisku. Przyczynia się to do zapewnienia lepszych warunków pracy ludziom (co zmniejsza prawdopodobieństwo pomyłki) oraz zabezpiecza robota możliwością nieprawidłowej pracy wywołanej wpływem zakłóceń.

Urządzenia te mogą mieć postać osłon, ekranów - w przypadku eliminacji czynników mechanicznych; urządzeń klimatyzacyjnych -

dla czynników termicznych; filtrów elektrycznych, osłon magnetycznych - dla zakłóceń elektromagnetycznych.

W wielu pracach dotyczących przyczyn wypadków podkreśla się, że szkodliwy wpływ czynników zewnętrznych jest poważną, choć często ukrytą, pośrednią przyczyną wypadków. Z tego względu urządzenia wymienione powyżej należy również sklasyfikować jako urządzenia ochronne w systemach zrobotyzowanych.

5. Koncepcja struktury i wykorzystania urządzeń bezpieczeństwa

W poprzednich dwóch rozdziałach przedstawiono przegląd stosowanych układów ochrony (człowieka i stanowiska) oraz wnioski płynące z dotychczasowych prac poświęconych bezpieczeństwu pracy robotów.

Przegląd literaturowy dostarczył wiadomości nt. stosowanych urządzeń ochronnych, zasad i metod ich pracy oraz sposobu oddziaływania na robota. Wnioski z dotychczasowych prac pozwolą rozszerzyć zestaw wymienionych urządzeń o dodatkowe, mające co prawda pośredni, lecz jednak znaczący wpływ na poziom bezpieczeństwa robotów.

5.1. Propozycja klasyfikacji urządzeń

W ramach przeglądu literaturowego przedstawiono jedną z klasyfikacji systemów ochrony - propozycję Amerykańskiego Biura Standaryzacji. Klasyfikacja ta rozróżniająca poszczególne klasy wg zadania pracy i sposobu oddziaływania na robota nie obejmuje jednak wszystkich urządzeń - nie uwzględnia np. układów ochrony pośredniej.

Prace wykonywane w celu 100 poświęcone zagadnieniu bezpiecznej pracy robotów przemysłowych wymagają innego klasyfikowania układów podwyższających bezpieczeństwo.

Po pierwsze, zgodnie ze sformułowaniem użytym w tytule niniejszej pracy, rozważania dotyczą nie tylko systemów bezpośredniej ochrony ludzi i robota na stanowiskach zrobotyzowanych, lecz także wszystkich urządzeń służących podniesieniu bezpieczeństwa pracy.

W niniejszym opracowaniu omawiane są te z urządzeń, które konstrukcyjnie i funkcjonalnie są wyodrębnione z systemu robota przemysłowego.

Po drugie, ze względu na ukierunkowanie celu nr 100 na zagadnienia bezpieczeństwa, których przyczyny i realizacja leży "wewnątrz" robota przemysłowego, konieczne jest dokonanie podziału urządzeń w zależności od stopnia autonomiczności działania względem układu sterowania robota.

Po trzecie, analizy powinny wskazywać na konieczne modyfikacje konstrukcji robota (a w szczególności układu sterowania) dla dopasowania do stosowanych urządzeń i zapewnienia efektywnego wykorzystania informacji, jakie te urządzenia dają.

Wyżej przedstawione względy powodują, że dla potrzeb niniejszej pracy można zaproponować następująco klasyfikację:

- urządzenia zależne,
- urządzenia quasi - autonomiczne,
- urządzenia niezależne.

Do pierwszej klasy zaliczyć należy urządzenia zasilane z układu sterowania robota, których część funkcjonalna jest częścią układu sterowania.

Przykładem mogą tu być różnorodne czujniki dołączane do układu sterowania. Czujnik wykrywa określoną sytuację, a układ sterowania przekształca otrzymany sygnał i wykonuje określone działanie. Przykładem w robocie IRp-6/60 jest czujnik obecności panelu programowania; innym przykładem może być czujnik otwarcia bramki wejściowej na stanowisko powodujący np.zatrzy-

-manie programu użytkowego. Urządzenia tego typu nie realizują żadnych funkcji przetwarzania lub obróbki sygnałów.
Ich użycie jest możliwe tylko wtedy, gdy układ sterowania ma specjalnie dostosowane wejścia i ma procedury obsługi sygnałów z tych wejść.

Urządzenia należące do drugiej klasy realizują pewne funkcje wstępnej obróbki sygnałów, ich pracą steruje robot, a sygnały przez nie dostarczane modyfikują pracę robota.

Przykładem mogą być urządzenia monitorujące zasilania stanowiska zrobotyzowanego. Urządzenia te sprawdzają utrzymywanie się np. napięcia lub ciśnienia w określonych granicach lub przedziałach i sygnalizują układowi sterowania przekroczenie wartości. Innym przykładem może być system ochrony i detekcji wejścia pracownika na stanowisko włączający sygnał zwolnienia szybkości ruchów robota po wejściu uprawnionego programisty (bramką z kluczem) lub zatrzymujący robot po wejściu osoby nieupoważnionej (kurtyna świetlna, bramka bez użycia kluczyka). Urządzenia takie wykonują część obróbki i przekształcenia sygnałów wejściowych różnicując informacje przekazywane do robota. Układ sterowania musi być wyposażony w środki sprzętowe i programowe umożliwiające odbieranie tych sygnałów i podejmowanie określonych działań.

Trzecia grupa to urządzenia zasilane niezależnie od robota i samodzielnie realizujące algorytmy obróbki wielu sygnałów wejściowych, analizy ich i podejmowania określonych działań. Przykładem jest system ASZO lub SZO opracowany w PIAP (2) i omówiony w rozdz. 3. System ten zbiera informacje od

czujników o obecności osób w kilku dozorowanych strefach i o ruchach robota (sygnalizowane przez układ sterowania i z własnych czujników), dokonuje ich analizy i steruje urządzeniami sygnalizacyjno-ostrzegawczymi lub wymusza stop awaryjny robota. Do tej grupy należą różnorodne urządzenia lub systemy detekcji obecności osób, kontroli prawidłowej pracy urządzeń i zasilania stanowiska itp. Wydaje się, że dla realizacji tych systemów wygodne jest wykorzystanie sterowników programowalnych nadzorujących pracę stanowiska, zbierających informacje o stanie różnorodnych jego elementów i określających dopuszczalne warunki pracy dla robota. Zastosowanie sterownika pozwala dołączać dużą liczbę czujników wejściowych i realizować dowolnie złożone algorytmy ochrony (pozostawiając możliwość stosunkowo łatwej modyfikacji tych algorytmów).

5.2. Zagadnienia wstępne

Powyżej przedstawiona klasyfikacja dopasowana jest do potrzeb i "filozofii" realizacji celu 100. Na jej podstawie można opracować kompleksową koncepcję systemu urządzeń podwyższających bezpieczeństwo pracy stanowisk zrobotyzowanych. Przedstawienie takiej koncepcji wymaga jednak przedyskutowania kilku zagadnień.

W tytule niniejszej pracy zawarto sformułowanie wskazujące, że celem są "urządzenia podwyższające bezpieczeństwo pracy robotów przemysłowych". Ponieważ roboty nigdzie nie pracują całkowicie samodzielnie i niezależnie od innych maszyn, więc i polem pracy urządzeń "bezpieczeństwa" powinno być i jest sta-

-nowisko z robotem. Zwiększenie bezpieczeństwa może nastąpić jedynie przy równoczesnym działaniu na samego robota i stanowisko.

Można więc podzielić urządzenia ochrony na dwie grupy: urządzenia, których przedmiotem jest sam robot i urządzenia nadzorujące elementy stanowiska.

Celem tych pierwszych jest objęcie nadzorem samego robota. Właściwe działanie wymaga całkowicie niezależnej pracy w stosunku do układu sterowania robota. Możliwe jest wtedy rzeczywiste nadzorowanie ruchów robota i pracy poszczególnych bloków funkcjonalnych układu sterowania.

Zastosowanie urządzeń nadzorujących pracę elementów stanowiska wymaga zapewnienia możliwości komunikacji z układem sterowania robotem. Urządzenia te umożliwiają śledzenie stanu całości stanowiska: maszyn współpracujących, magazynów, układów detekcji obecności osób itp. Efektem ich pracy jest stwierdzenie nieprawidłowego stanu stanowiska i sygnalizacja tego układowi sterowania robota dla podjęcia stosownych działań (zwolnienia ruchów robota, zatrzymania lub zatrzymania awaryjnego).

Jak widać z powyższych rozważań na zagadnienie zwiększenia bezpieczeństwa pracy mają wpływ urządzenia nadzorujące robota i stanowisko - propozycja koncepcji musi uwzględniać oba typy urządzeń.

Każda koncepcja zestawu określonych urządzeń realizujących zadany cel, także koncepcja dotycząca podwyższania bezpieczeństwa pracy, obejmuje pewną wyidealizowaną sytuację. W przypadku tej pracy propozycja obejmą pewne modelowe stanowisko z robotem

zawierające robot i typowe oprzyrządowanie w postaci podajnika detali, magazynu wyrobów obrabianych, urządzeń obróbki mechanicznej. Ponieważ jednak roboty stosowane są w wielu różnorodnych technologiach zawsze przy dokonywaniu analiz konkretnego stanowiska konieczne będzie szczegółowe rozważenie wpływu rodzaju technologii i związanych z nią zagrożeń dla obsługi i wszystkich elementów stanowiska. Z takiej analizy wyniknie konieczność stosowania dodatkowych (niekiedy nietypowych) urządzeń ochrony lub celowość opracowania nowych urządzeń.

Podstawowym zagadnieniem w stosowaniu urządzeń podwyższających bezpieczeństwo pracy jest sprawa wykorzystania informacji dostarczanych przez te urządzenia. W urządzeniach pierwszych dwóch klas omówionych w rozdziale 5.1 całe zagadnienie reakcji na otrzymywane sygnały realizowane jest przez układ sterowania robota. Zaletą tego rozwiązania jest możliwość zapewnienia różnorodnych reakcji robota na otrzymywane sygnały - zatrzymanie lub zwolnienie ruchów manipulatora, wyłączenie urządzeń współpracujących, włączenie urządzeń ostrzegawczych itp. Istotnym mankamentem jest pełna zależność realizowanych funkcji ochrony od poprawności działania układu sterowania, a w szczególności systemu procesorowego tego układu. Z tego względu zwiększenie bezpieczeństwa tą drogą nie może być uznane za kierunek podstawowy lub jedyny. Konieczne jest stosowanie urządzeń pracujących niezależnie. Urządzenia takie realizują swoje funkcje całkowicie poza układem sterowania, często są również niezależne energetycznie. Zrealizowanie systemu (grupy) urządzeń"bezpieczeństwa" i oparcie go na samodzielnym układzie sterującym np. w postaci sterownika programowanego daje różnorodne korzyści:

- możliwość dowolnej realizacji wybranych obwodów lub układów;
- łatwe zapewnienie redundacji czujników, okablowania, układów;
- możliwość dowolnego formułowania algorytmów pracy;
- szybkie rozbudowywanie sprzętowe i programowe systemu.

Oczywiste jest, że system taki powinien charakteryzować się dużą niezawodnością pracy osiąganą zarówno przez specyficzną konstrukcję jak i oprogramowanie oraz dodatkowe wyposażenie we własne środki ochrony poprawnej pracy (obudowa, filtry, zasilanie bateryjne itp.)

Przyjęcie zasady, iż poprawny system zapewnienia bezpiecznej pracy powinien pracować niezależnie od robota, gdyż wtedy tylko może spełniać swe zadanie, znacznie ogranicza zasób środków oddziaływania na robota.
Jedyną praktyczną możliwością jest wymuszenie stopu awaryjnego robota, a co za tym z reguły idzie - awaryjne zatrzymanie całej instalacji. Powinien to być ostateczny środek ochrony ze względu na to, że wywołuje poważne skutki techniczne i ekonomiczne. Konieczne jest więc przewidzenie w układzie sterowania robota innych możliwości oddziaływania z zewnątrz układu zapewniających zbliżoną pewność działania do obwodów stopu awaryjnego. Zagadnienie to rozwinięte będzie w dalszych etapach pracy, a w szczególności przy opracowywaniu koncepcji robota wzorcowego, pod względem bezpieczeństwa pracy.

W poprzednim akapicie przedstawiono funkcję stopu awaryjnego jako najbardziej pewny sposób oddziaływania na robota. Zatrzymanie awaryjne powinno być, zgodnie z zaleceniami między-

-narodowymi, realizowane układowo i powodować natychmiastowe zatrzymanie robota oraz wyłączenie zasilania układów napędowych. Funkcja ta jest korzystna, gdyż pozwala niezależnie od stanu układu sterowania (i poprawności jego pracy) wymusić zatrzymanie manipulatora. Należy jednak zauważyć dwa problemy związane z zatrzymaniem awaryjnym.

Po pierwsze - prawidłowe spełnienie funkcji ma miejsce tylko wtedy, gdy robot jest wyposażony w hamulce pochłaniające kinetyczną energię ruchu ramion (osi) robota.
Po drugie - w robotach o przyrostowym układzie pomiaru położenia osi może zachodzić zjawisko"zgubienia" się systemu pomiarowego (przekroczenie pojemności układów licznikowych).
Zagadnienie stopu awaryjnego ma jeszcze aspekt użytkowy - nie zawsze w chwili wypadku korzystne jest zatrzymanie robota i wyłączenie zasilania układów napędowych; uniemożliwia to przyjście z szybką pomocą, gdy robot przycisnął człowieka.

Zagadnienie stopu awaryjnego omówione było również w poprzednim etapie pracy /12/, a propozycje rozwiązań tego układu przedstawione będą w dalszych etapach pracy.

W tym miejscu podkreślić jedynie należy fakt, iż funkcja stopu awaryjnego wymaga modyfikacji ułatwiających wyprowadzenia robota ze stanu stopu awaryjnego.

5.3. Koncepcja systemu urządzeń podwyższających bezpieczeństwo pracy.

"Każdy specjalista zajmujący się robotami przemysłowymi wie, że rozwiązaniem zagadnienia - bezpieczeństwo stosowania robotów przemysłowych - nie może być realizacja"jednej wiel-

-kiej idei", lecz (...) kombinacja różnych rozwiązań cząstkowych (...)" - to zdanie zaczerpnięte z pracy /9/ można przyjąć za motto poniższej koncepcji urządzeń, których zadaniem jest zwiększenie bezpieczeństwa pracy robotów przemysłowych.

Jak to napisano wcześniej cel 100 ukierunkowany jest na zwiększenie bezpieczeństwa stosowania robotów przemysłowych osiągane modyfikacją i ulepszaniem samego robota; konieczne jednak jest przeanalizowanie zagadnienia dodatkowych urządzeń wspomagających osiągnięcie postawionego zadania. Sens ich stosowania wyjaśnia przytoczona na wstępie opinia; dla potrzeb pracy konieczne jest sformułowanie wymagań, jakie stawia układowi sterowania zastosowanie tych urządzeń.

System urządzeń bezpieczeństwa (nazwa ta będzie dałej stosowana dla jej zwięzłości) powinien obejmować możliwie obszerny zestaw różnorodnych środków zapewniający detekcję różnorodnych zagrożeń, możliwie pełną ich neutralizację i ochronę ludzi i robota na stanowisku.

Zgodnie z opracowaną wcześniej klasyfikacją zagrożeń panujących na stanowiskach zrobotyzowanych /11/ pierwszą grupą urządzeń bezpieczeństwa stanowią układy eliminujące szkodliwy wpływ technologii wykorzystywanej na stanowisku na robota i personel.

Do tej grupy zaliczyć należy osłony i ekrany (mechaniczne, termiczne, magnetyczne), różnorodne filtry zasilań, urządzenia sygnalizacyjne i ostrzegawcze (mechaniczne, dźwiękowe i świetlne). Urządzenia te mogą mieć charakter stały (osłony, barierki) lub być włączane/wyłączane przez układ sterowania robota.

Urządzenia te eliminują również zagrożenia dla osób postronnych. Kryterium jakości ich działania jest stopień eliminacji danego czynnika szkodliwego z chronionej strefy.

Kolejną grupą są urządzenia służące informowaniu robota o stanie środowiska jego pracy. Urządzenia te zaliczyć można wg wprowadzonej (w rozdziale 5.1) klasyfikacji do urządzeń zależnych - ich podstawowa część funkcjonalna jest integralną częścią (sprzętowo i programowo) układu sterowania robota. Zaliczyć do nich należy różnorodne czujniki: w bramkach wejściowych, zasilania, pracy urządzeń współpracujących z robotem, temperatury itp. Pozwalają one kontrolować stan otoczenia robota i reagować na jego zmiany. Zastosowanie ich wymaga wyposażenia układu sterowania robota w odpowiednie wejścia analogowe i dwustanowe, a wykorzystanie informacji z tych czujników - wyposażenia układu w procedury obsługi otrzymywanych danych. Możliwe jest wykorzystanie informacji do modyfikacji programu pracy, zmiany szybkości ruchów, załączenia urządzeń sygnalizacyjnych lub alarmowych, zatrzymanie robota, stanowiska, zatrzymanie awaryjne itp. Zestaw czynności podejmowanych w różnych sytuacjach można dowolnie modyfikować, rozszerzać w zależności od rodzaju robota i stanowiska.

Należy pamiętać jedynie, że działanie tych procedur zależy od poprawności pracy układu sterowania, a zatem niektóre funkcje, najistotniejsze z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy należy zdublować w innych, niezależnych układach bezpieczeństwa.

Trzecią grupą są urządzenia określane jako quasi-autonomiczne. Stosowane one mogą być do bardziej kompleksowej kon-

-troli środowiska pracy robota. Powinny być stosowane do stwierdzenia poprawności warunków pracy (wartości zasilania, stanu magazynu wejściowego, stanu parametrów procesu technologicznego itp.) Do tej grupy należy zaliczyć większość urządzeń bezpośredniej ochrony człowieka (III grupy wg klasyfikacji amerykańskiej). Urządzenia te kontrolują poprawność wartości parametrów lub czynników procesu technologicznego, wykrywają obecność człowieka w bezpośredniej bliskości ramienia robota; część funkcji kontrolnych realizowana jest w nich, tzn. poza układem sterowania robota. Układ zaś otrzymuje sygnały o stanie otoczenia niosące bardziej kompleksową informację, niż w urządzeniach poprzednio omówionej grupy.Dla dołączenia tych urządzeń układ sterowania powinien być wyposażony w wejścia wymienione poprzednio oraz wejścia typowo informatyczne - łącze szeregowe lub równoległe. Wszystkie pozostałe uwagi przedstawione dla poprzedniej grupy dotyczą tych urządzeń również.

Czwartą grupą są urządzenia niezależne. Wcześniej już uzasadniano, że stanowią one najważniejszy środek zwiększenia bezpieczeństwa pracy robotów. W rozdziale 5.2 przedstawiono ich podział ze względu na obiekt pracy: robot lub stanowisko. Urządzenia, których podmiotem działania jest robot zostaną szerzej omówione w dalszych etapach pracy, gdyż zaliczają się do "wewnętrznych" środków zwiększania bezpiecznej pracy robotów przemysłowych.

Urządzenia nadzorujące bezpieczną pracę stanowiska, a zrealizowane w postaci systemu niezależnego od robota przemysłowego mają szereg zalet:

- awarie robota nie wpływają na ich pracę;
- możliwe jest stosowanie niezależnych od robota torów czujnikowych lub pomiarowych;
- możliwe jest wykorzystanie w nich dowolnych technik i technologii, najkorzystniejszych dla spełnianego zadania;
- możliwe jest dowolne kształtowanie i modyfikacja algorytmów pracy bez konieczności zmian w robocie.

Podstawowe zalety wymienione powyżej decydują o dużej użyteczności tego rodzaju urządzeń. Wśród środków technicznych jakie mogą być wykorzystane do realizacji systemu ochrony wyróżnić należy sterowniki programowalne. Obecny stan rozwoju tych urządzeń pozwala na zrealizowanie złożonych systemów nadzoru.

Przykładem takiego systemu mogą być sterowniki programowalne typu 135 i 150 firmy SIEMENS (13). Sterowniki te mają moduły wejść/wyjść cyfrowych i analogowych, inteligentne moduły wejść/wyjść różnego typu (licznikowe, częstotliwościowe, kontroli temperatury, sterowania silnikami elektrycznymi), moduły komunikacyjne i inne. Interesującą cechą sterowników typu 150 jest możliwość zbudowania sterownika S5-150H niewrażliwego na usterki. Sterownik taki zbudowany jest z dwóch sterowników 150U pracujących razem z dynamicznym przejmowaniem funkcji kontrolnych. Inną zaletą systemu S5 SIEMENS jest wyposażenie w trzy jednostki centralne, z których jedna przeznaczona jest do operacji logicznych (Boolean processor), druga - funkcji sterujących (Loop processor), a trzecia - komunikacji z innymi systemami (Communications processor). W zależności od potrzeb można

wykorzystywać tylko niektóre z tych jednostek, co umożliwia dopasowanie sterownika do potrzeb.

Zastosowanie tak poważnych systemów ochrony wymaga wyposażenia robota w środki umożliwiające współpracę z nimi. Konieczne jest wyposażenie robota w sprzęgi (równoległy i szeregowy), procedury współpracy z systemem ochrony oraz procedury modyfikacji pracy robota w zależności od otrzymywanych informacji.

Układ ochrony oparty na sterowniku pracuje całkowicie autonomicznie rozpoznając różnorodne sytuacje i zdarzenia występujące na stanowisku zrobotyzowanym; możliwości jego oddziaływania na robot i inne maszyny pracujące na stanowisku są nadal ograniczone. Ostatecznym środkiem oddziaływania jest stop awaryjny robota i stanowiska, ze wszystkimi tego negatywnymi konsekwencjami.Inne oddziaływania są skuteczne pod warunkiem wyposażenia robota w różnorodne, dodatkowe funkcje (zwolnienie ruchów, zatrzymanie pracy, modyfikacja programu pracy) i pełnej funkcjonalnej sprawności robota.

Budowa systemu bezpieczeństwa opartego na sterowniku programowalnym wymaga poniesienia znacznych nakładów technicznych i finansowych. Z powyższej przedstawionych rozważań wynika jednocześnie, iż skutek nie jest pełny. Uzyskujemy zwiększenie bezpieczeństwa drogą ochrony stanowiska i personelu przez niezależne urządzenie o dużej niezawodności pracy, lecz możliwości oddziaływania na robot pozostają nieomal identyczne jak przy wykorzystaniu urządzeń zależnych lub quasi-autonomicznych. Konieczne jest więc zaproponowanie modyfikacji robota, a w szczególności układu sterowania, umożliwiających rozszerzenie oddzia-

-ływania systemu urządzeń bezpieczeństwa.

Można zaproponować następujące rodzaje oddziaływań systemu bezpieczeństwa:

- przejęcie funkcji jednostki centralnej i nadzór nad układem sterowania,
- oddziaływanie na układy napędowe,
- sterowanie funkcjami układu sterowania.

Wykorzystanie każdego z tych oddziaływać wymaga zastosowania innych środków technicznych zarówno w systemie bezpieczeństwa jak i układzie sterowania robota.

Najbardziej skomplikowane jest zrealizowanie przejęcia funkcji nadzoru nad układem sterowania. Możliwe jest to np. przez umieszczenie w układzie sterowania dodatkowego pakietu mogącego spełniać funkcje jednostki centralnej i połączonego interfejsem z systemami bezpieczeństwa. Konstrukcyjnie pakiet taki nie musi być identyczny z jednostką centralną układu sterowania - powinien jedynie zapewniać przejęcie kontroli nad układem sterowania (zablokowanie jednostki centralnej) i ograniczone sterowanie układami napędowymi umożliwiając ich sterowanie oraz sterowanie obwodami wejść/wyjść układu sterowania. Program sterujący tego pakietu powinien zawierać konieczne procedury komunikacji z systemem bezpieczeństwa i wybrane procedury standardowego programu sterującego umożliwiające spełnienie funkcji bezpieczeństwa.

Zapewnienie oddziaływania urządzeń bezpieczeństwa bezpośrednio na układy napędowe jest prostsze technicznie i mniej kosztowne. Możliwe do realizacji są różnorodne sposoby oddzia-

-ływania, wśród których najprostszym jest niezależne od układu sterowania załączenia hamulców robota i wyłączenie silników przez wyłączenie energii zasilającej. Bardziej rozbudowanego układu wymaga oddziaływanie na blok sterownika położenia osi robota. Umożliwia ono jednak zwiększenie repertuaru oddziaływań i realizację np. ręcznego sterowania osiami przy pomocy zewnętrznego układu bezpieczeństwa.

Oba powyżej omówione rodzaje oddziaływań zmuszają do modyfikacji układu sterowania dla zapewnienia możliwości ich realizacji. W pierwszym przypadku konieczne jest wykonanie systemu arbitracji pracy dwu jednostek centralnych, dodatkowych niestandardowych połączeń magistralowych, układów interfejsu z systemem bezpieczeństwa. W drugim przypadku konieczne są zmiany układów zasilania napędów lub zmiany konstrukcyjne sterowników osi umożliwiające sterowanie ich pracą (lub wymuszanie określonych stanów) z zewnątrz.

Sterowanie funkcjami układu sterowania przez system bezpieczeństwa wymaga jedynie zapewnienia możliwości przesyłania informacji do układu z zewnątrz, co może być dokonane przez dedykowany interfejs szeregowy lub równoległy lub też przez pewną liczbę standardowych wejść układu sterowania.

Podsumowując powyższe propozycje należy podkreślić, że dla zwiększenia bezpieczeństwa pracy robotów celowe i możliwe jest wykorzystanie różnorodnych urządzeń i układów. Równoległe stosowanie wielu urządzeń o różnym stopniu oddziaływania na robota pozwala zwiększyć bezpieczeństwo pracy instalacji.

Dla zapewnienia wykorzystania informacji dostarczanych przez najprostsze urządzenia wystarczają standardowe wejścia, w jakie wyposażone są układy sterowania. Dla większości urządzeń bezpieczeństwa konieczna jest modyfikacja układu sterowania robota pozwalająca wykorzystać wyniki pracy systemu bezpieczeństwa i różnicować działanie robota w zależności od zdarzeń na stanowisku.

W ramach niniejszego opracowania nie podano konkretnych założeń konstrukcyjnych urządzeń ochrony, ani algorytmów pracy systemu bezpieczeństwa wychodząc z założenia, że obecnie produkowane są na świecie różnorodne urządzenia, które mogą być zastosowane w systemach ochrony, a algorytm pracy systemu bezpieczeństwa zależy silnie od rodzaju, topografii konkretnej instalacji i typu stosowanego robota przemysłowego.

6. Podsumowanie

Zwiększenie bezpieczeństwa pracy robotów przemysłowych i instalacji zrobotyzowanych osiągane jest dwoma drogami:

- zwiększaniem bezpieczeństwa pracy samych robotów,
- stosowaniem dodatkowych urządzeń bezpieczeństwa.

Prace wykonywane w ramach celu nr 100 mają za zadanie osiągnięcie bezpiecznej pracy robotów pierwszą z wymienionych dróg. Oczywista jest jednak konieczność wykorzystywania w instalacjach zrobotyzowanych również dodatkowych urządzeń, których zadaniem jest zwiększenie bezpieczeństwa pracy. Umożliwiają one zabezpieczenie osób przebywających na stanowisku i samego stanowiska oraz zwiększają różnorodność stosowanych środków ochrony.

Urządzenia bezpieczeństwa realizują swoje zadanie drogą kontroli poprawności pracy elementów stanowiska i robota, dróg dopływu i odpływu detali, zasilania energetycznego, obecności osób na stanowisku. Uzyskiwane informacje są podstawą określania stopnia poprawności pracy stanowiska lub stopnia zagrożenia i umożliwiają oddziaływanie na robot i stanowisko dla zapewnienia bezpieczeństwa.

Większość obecnie stosowanych urządzeń służy do wykrywania obecności człowieka na stanowisku lub w bezpośredniej bliskości ramienia robota i powoduje zatrzymanie pracy robota. Urządzenia te mogą być klasyfikowane ze względu na zasadę działania, rodzaj wykrywanych sytuacji lub rodzaj oddziaływania na robota. Dla potrzeb niniejszej pracy zaproponowano (rozd.5.1)

podział ze względu na stopień autonomiczności pracy; czynnik ten decyduje o wymaganiach, jakie stawiane są układowi sterowania robota.

Wcześniejsze etapy pracy wskazały (rozdz.4) na konieczność objęcia ochroną przede wszystkim programistów i serwisantów/obsługi, gdyż te grupy pracowników są najbardziej narażone na wypadki. Konieczne jest również ograniczenie szkodliwego wpływu na pracę stanowiska i robota procesu technologicznego wykonywanego na stanowisku.

Badania literaturowe wskazują na ogromną różnorodność wykorzystywania urządzeń w systemach bezpieczeństwa. Zastosowanie tych urządzeń daje możliwość kontroli różnych czynników wpływających na bezpieczną ppacę stanowiska oraz zwiększa ogólny poziom bezpiecznej pracy systemu bezpieczeństwa.

Wiele osób zajmujących się zagadnieniem bezpiecznej pracy robotów zgodnych jest, że tylko stosowanie wielu różnorodnych środków bezpieczeństwa może zaowocować istotnym zwiększeniem bezpieczeństwa pracy. Zgodnie z tą opinią w rozdziale 5.3 przedstawiono koncepcję systemu urządzeń jakie mogą (i powinny) być stosowane dla zwiększenia bezpieczeństwa pracy. Wobec znacznego rozwoju konstrukcyjnego i dostępności na rynku wielu rodzajów urządzeń położono nacisk na przedstawienie systemowe układu bezpieczeństwa. Zwrócono uwagę na urządzenia podstawowe (bramki, różnego rodzaju czujniki) dołączane do układu robota oraz na samodzielne układy bezpieczeństwa realizujące autonomicznie funkcje kontroli i przekazujące robotowi wynik kompleksowej analizy pracy całości stanowiska.

Podstawowe znaczenie analiz wykonanych w niniejszej pracy dla całości badań nad bezpieczeństwem pracy robotów przemysłowych polega na określeniu wymagań, a co za tym idzie koniecznych modyfikacji układu sterowania robota zapewniających możliwie pełne wykorzystanie informacji dostarczanych przez zewnętrzne urządzenia i systemy bezpieczeństwa. Wśród tych wymagań wymienić należy:

- zapewnienie sprzętowych możliwości dołączania różnorodnych urządzeń (wejścia dwustanowe, analogowe, interfejsy: szeregowy, równoległy);
- wyposażenie układu sterowania w procedury obsługi interfejsów oraz w procedury obsługi sytuacji niosących zagrożenia lub niebezpieczeństwa;
- wyposażenie układu sterowania i wybranych bloków funkcjonalnych w możliwości sterowania z zewnątrz.

Zrealizowanie ostatniego z przedstawionych wymagań umożliwia oddziaływanie na robota z zewnątrz, co pozwala przejąć nad nim kontrolę przez dodatkowe urządzenia bezpieczeństwa również w stanie awarii robota. Jest to najpełniejsza realizacja systemu zapewnienia bezpiecznej pracy robota i stanowiska. Szersze rozwinięcie zagadnienia zmian układowych i programowych umożliwiających różnorodne rodzaje współpracy z urządzeniami bezpieczeństwa nastąpi w dalszych etapach pracy poświęconych opracowaniu robota wzorcowego pod względem bezpieczeństwa pracy i propozycjom modyfikacji układu sterowania IRp-6/60.

7. Literatura

1. Wydżga S.: "Złożone metody przemysłowe. Urządzenia zabezpieczające robota przed wyrządzeniem krzywdy człowiekowi" sprawozdanie PIAP nr rej.2735
2. Ulotka reklamowa PIAP "System zabezpieczeń obsługi zrobotyzowanych gniazd i linii produkcyjnych"
3. Kilmer R.D.:"Safety Sensor Systems"x
4. Linger M.: "Design of Safety Systems for Human Protection"x
5. Carrico L.R.:"Training and Design for Safe Implementation of Industrial Robots"x
6. - "Photoelectric Guarding"x
7. Graham M.E.K.: "Safety Mats"x
8. Protecting workers from robots, American Machinist 03/84 str. 85-86
9. Nielaisen P.:"Occupational Safety and Industrial Robots - Present Stage of Discussions within the Tripartite Group on Robotic Safety" w Robot Technologg and Application, Springer Verlag 1985
10. Robinson O.F.:"Robot Guarding - The Neglected Zones"x
11. Wański T.,Klimasara W.: "Rozpoznanie i klasyfikacja zagrożeń występujących przy pracy robota przemysłowego", sprawozdanie PIAP nr rej.5921
12. Wański T.: "Analiza robota przemysłowego pod względem zapewnienia bezpieczeństwa pracy (na przykładzie robota IRp-6/60) w zakresie układu sterowania",sprawozdanie PIAP nr rej.6219
13. Katalog ST 54.1-SIMATIC S5,-Programmable Controllers S5-135U and S5-150U, SIEMENS.

---

x Pozycje oznaczone gwiazdką opublikowane są w książce:Robot Safety, IFS Publications 1985r