

Jan Wójcikowski, Janusz Madejski
Politechnika Śląska

PROJEKTOWANIE I EKSPLOATACJA ELASTYCZNYCH SYSTEMÓW PRODUKCYJNYCH Z ROBOTAMI PRZEMYSŁOWYMI /FMS/

Streszczenie. W artykule omawia się metodę projektowania elastycznych gniazd produkcyjnych z robotami przemysłowymi podając przykład wykorzystania jednej z faz procesu projektowania. Analizuje się problemy ekonomiczne związane z wdrożeniem tego rodzaju systemów w przemyśle krajowym.

1. Wstęp

Rozwój współczesnych procesów produkcyjnych cechuje się nieprzerwanym wzrostem wydajności pracy osiąganym często drogą mechanizacji i automatyzacji. Nasilone obecnie tempo wymagań konstrukcyjno-technologicznych zmusza wytwórców do uelastyczniania systemów produkcyjnych [1].

Nową jakość automatyzacji procesów produkcyjnych uzyskuje się m.in. dzięki coraz szerszemu wprowadzaniu zrobotyzowanych gniazd EMS. Konsekwencją tych przemian, szczególnie w produkcji małej i średnioseryjnej, staje się opracowanie i weryfikacja ogólnych metod postępowania, przydatnych przy aplikacji tych systemów i robotów [2], [3], [4].

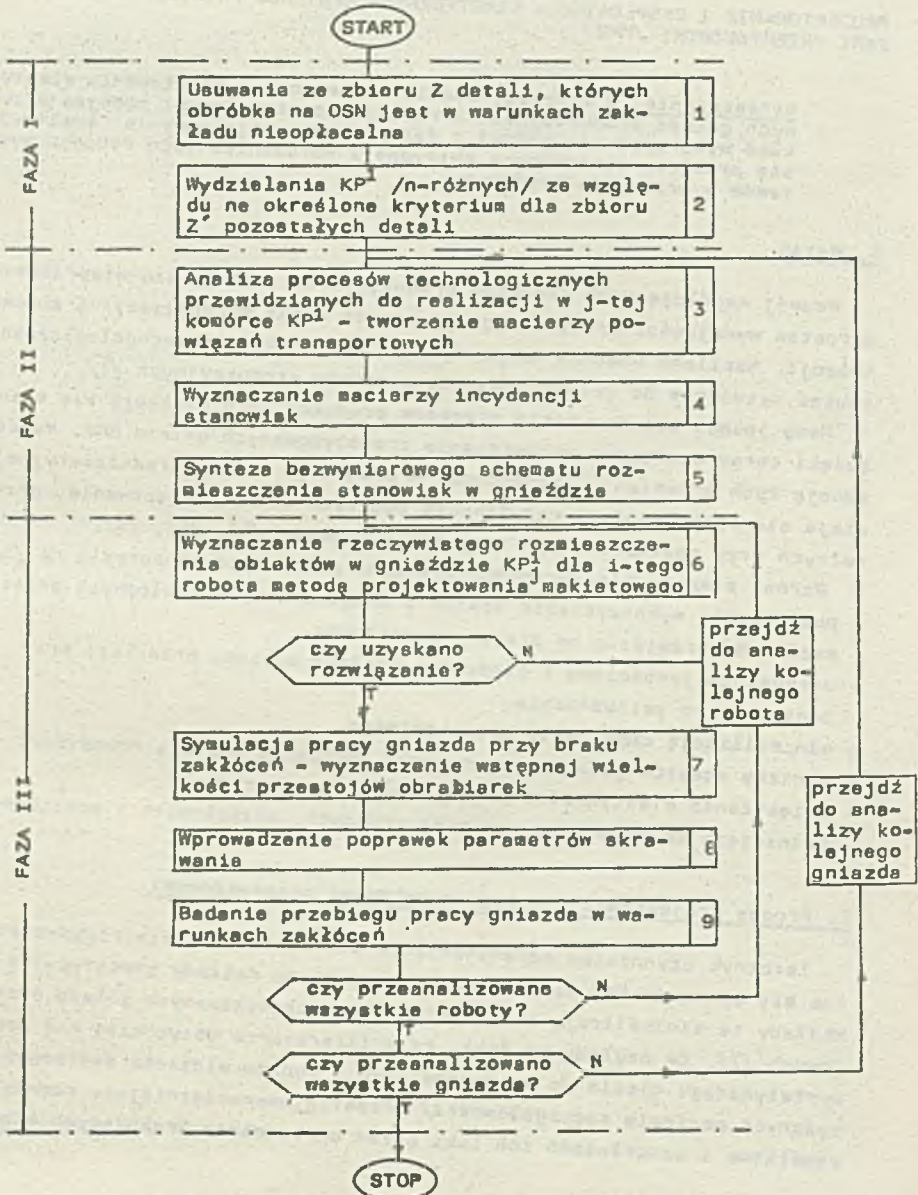
Wzrost stopnia elastyczności systemów produkcyjnych pozwala na [5]:

- polepszenie wykorzystania maszyn i urządzeń technologicznych przez możliwość przejścia na pracę tryzmiennową,
- utrzymanie jakościowo i ilościowo stałego poziomu produkcji przy zmniejszonym zatrudnieniu,
- minimalizację czasu cyklu produkcyjnego,
- obniżkę kosztów jednostkowych przez obniżenie udziału robocizny,
- zwiększenie efektywności ekonomicznej inwestycji,
- późniejsze zautomatyzowanie prac trudnych, uciążliwych i gorących.

2. Proces projektowania gniazd z robotami przemysłowymi

Istotnym czynnikiem ograniczającym szerokie i szybkie rozpowszechnienie się systemów FMS są znaczne, nieuniknione nakłady inwestycyjne [6]. Nakłady te minimalizują się w przypadku zrobotyzowanych gniazd przedmiotowych [7]. Ze względu na fakt, że w literaturze dotychczas nie podano syntetycznego ujęcia /o wystarczającym z punktu widzenia zastosowań praktycznych poziomie szczegółowości/ przestudowano istniejące rozwiązania cząstkowe i uzupełniono ich luki przez opracowanie brakujących elementów

/B/. Proces ten dał w wyniku algorytm postępowania przy syntezie gniazd FMS z robotami przemysłowymi /rys.1/.



Rys.1. Algorytm postępowania przy syntezie gniazd FMS z robotami przemysłowymi

W wyniku realizacji poszczególnych kroków algorytmu projektant używa zbioru alternatywnych gniazd przedmiotowych wraz z ich przewidywanymi charakterystykami eksploatacyjnymi wyznaczonymi drogą symulacji komputerowej. Istotną cechą proponowanego podejścia jest dążenie do przerwania na EMC - interaktywnie współpracującą z projektantem - zarówno wszystkich żądnych i nietypowych prac obliczeniowych, jak i tych, które jak symulacja cyfrowa, dają mu możliwość strukturalnego przebadania systemu przed jego ostateczną fizyczną realizacją.

Oprogramowanie automatyzujące poszczególne kroki algorytmu opracowane zostało w wersji na EMC MERA-400 z zewnętrzną pamięcią dyskową.

3. Dobór ilości i rodzaju obiektów zrobotyzowanych FMS

Przykładem praktycznego rozwiązania podstawowego problemu, jakim jest dobór obiektów FMS, jest metoda analizy procesów produkcyjnych rozpatrywanego gniazda przedmiotowego /II faza/. Wnioski płynące z tej analizy są na późniejszych etapach podstawą do syntezy schematu rozmieszczenia stanowisk w gniaździe, jak i wykorzystywane są w procesie symulacji pracy systemu.

Funkcjonowanie zautomatyzowanego systemu technologicznego, jaki stanowi rozpatrywane FMS, wymaga użycia dodatkowych urządzeń technologicznych poza urządzeniami wymienianymi *explicite* w procesach technologicznych przewidzianych do realizacji w konkretnym rozwiązaniu gniazda. Autorzy prac traktujących o metodach, jak np. [9], zgodnie podkreślają konieczność uwzględniania powiązań pomiędzy obiektami systemów przy projektowaniu ich konfiguracji. Milczącym założeniem jest, że przy budowie macierzy powiązań transportowych wykorzystuje się tylko urządzenia wymienione w procesach technologicznych, a nigdzie nie uwzględniono poważnych zmian w powiązaniach obiektów spowodowanych wprowadzaniem dodatkowych, niezbędnych przy automatyzacji urządzeń technologicznych. Stanowią one:

- urządzenia automatyzujące czynności manipulacyjne i transportowe,
- magazyny międzyoperacyjne,
- transportery we/wy.

3.1. Dołączanie dodatkowych urządzeń technologicznych

Zbiór urządzeń wymienionych w procesach technologicznych przez technologa projektującego proces produkcyjny oznaczamy przez M, a przez N zbiór dodatkowych urządzeń w gniaździe, różnych przy rozmaitych rozważanych jego alternatywnych rozwiązaniach. Zbiór jakim jest FMS będzie zatem

$$FMS = M \cup N$$

Dla najprostszej wariacji FMS z jednym robotem przemysłowym tabela 1 podaje rodzaje urządzeń ze zbioru N i reguły ich dołączania do zbioru FMS.

Tabela 1.

Lp.	Typ urządzenia	Rodzaj urządzenia	Reguła dołączania	Ilość
1	2	3	4	5
1.	urządzenia manipulacyjne	robot przemysłowy	dołączany jest jako niezbędny środek automatyzujący transport międzyoperacyjny	1
2.		magazyny wymiennych chwytaków	poddaje się analizie symbole chwytaków wykorzystywanych w procesach G_{1k} $c = \max /c_1, c_2 \dots c_i/$ gdzie: c_i - liczba różnych chwytaków wykorzystywanych w procesie G_i	c
3.		stanowiska do reorientacji detali-magazyny międzyoperacyjne o pojemności jednego detalu	dołączanie ma miejsce gdy: -obróbka detalu ma się odbywać w kolejnej operacji po stronie przeciwnej, -chwytak użyty do pobrania detalu z poprzedniego stanowiska nie jest użyty do zakładania na następne /zgodnie z wymaganiami technologii $G_{1k}/$ $n = \max /N_1, N_2 \dots N_p/$ gdzie: N_i - liczba przypadków wg procesów G	n
4.	transportery	transporter wejściowy	umożliwia wprowadzanie detali z otoczenia /patrz poz.7 tabeli/ do strefy roboczej robota	1
5.		transporter wyjściowy wyrobów dobrych	pozwala na gromadzenie i odprowadzenie z gniazda gotowych dobrych detali	1
6.		transporter wyjściowy wybraków	pozwala na gromadzenie i odprowadzenie z gniazda wybraków	1
7.	otoczenie	rozumiane zgodnie z definicją systemu	otoczenie stanowi źródło strumienia detali do obróbki, magazyn o nieograniczonej pojemności narzędzi do obróbki oraz ujęcie strumienia gotowych detali	1

Jeśli m oznacza licznosc zbioru M , n licznosc zbioru N , a c ilosc wykorzystanych chwytakow, to wynikowa licznosc f zbioru FMS wyniesie zgodnie z tabelą 1

$$f = m + n + c + 5$$

Analiza rzeczywistych powiazan urzadzzen wymaga zatem uwzględnienia powiazan transportowych nie m urzadzzeniami, lecz pomiedzy f stanowiskami, co stanowi istotna różnice.

3.2. Przykład wykorzystania II fazy projektowania FMS

Przykładem sposobu wspomagania projektanta przez EMC na tym etapie prac projektowych niechaj będzie wynik analizy planu produkcji hipotetycznego FMS tokarskiego.

Plan produkcji:

wyroby /typ części/ sztuk	ilość	symbole operacji technologicznych /znak "-" oznacza obróbkę drugiej strony detalu/				
D1	100	1	-2	-3	5	8
D2	200	5	3	-6	4	
D3	250	3	-9			
D4	70	7	8	-1		

Poszczególne operacje technologiczne realizowane są przez następująca stanowiska obróbkowe, z wykorzystaniem różnych chwytaków:

Symbol operacji	Stanowisko	Chwytaaki	
		wejściowy	wyjściowy
1	D	C1	C1
2	B	C1	C1
3	A	C1	C2
4	C	C5	C6
5	C	C3	C4
6	B	C5	C5
7	D	C3	C3
8	E	C4	C4
9	D	C7	C7

W efekcie analizy wynikowa kolejnosc ruchow robota przy kolejnych kontaktach z detalami będzie następująca:

D1 C1-C2-MWe-D-R1-B-A-C2-C3-A-R2-C3-C4-R2-C-C4-C1-C-E-MWy

D2 C1-C2-MWe-C-C2-C3-C-R1-C3-C4-R1-A-C4-C5-A-R2-C5-C6-R2-B-R3-C-C6-C1-C-MWy

D3 C1-C2-MWe-A-C2-C3-A-R1-C3-C1-R1-D-MWy

D4 C1-C2-MWe-D-R1-C2-C3-R1-E-R2-C3-C1-R2-D-MWy

gdzie:

MWe - magazyn wejściowy,

MWy - magazyn wyjściowy,

R_1 - stanowiska reorientacji,

C_1 - magazyny chwytaków,

pozostałe oznaczenia jak wyżej.

Ostatecznie wynikiem II fazy projektowania gniazda jest macierz incydencji jego obiektów, tu dla danych z przykładu podamy jedno z rozwiązań suboptymalnych problemu rozmieszczenia na płaszczyźnie elementów zbioru FMS:

Robot	-	MWy, C1, C2, A, C4, C5, C6, C, R2, B, E, MWe
MWy	-	Robot, C1, Otoczenie
C1	-	Robot, MWy, C2, C3, D
C2	-	Robot, C1, C3, A
C3	-	C1, C2, R1, A, D
R1	-	C3, A, B, E, D
A	-	Robot, C2, C3, R1, D
C4	-	Robot, A, C5
C5	-	Robot, C4, C6, B
C6	-	Robot, C5, C, R3
C	-	Robot, C6, R2, R3
R2	-	Robot, C, R3, B
R3	-	C6, C, R2, B
B	-	Robot, R1, C5, R2, R3, E
E	-	Robot, R1, B, MWybr
MWybr	-	E, D
D	-	C1, C3, R1, MWybr, Otoczenie, MWe
Otoczenie	-	MWy, D, MWe
MWe	-	Robot, D, Otoczenie

Drogę tak zautomatyzowanej analizy łatwo można przebadać wpływ szeregu czynników na jakość pracy gniazda. Czynnikiem takimi mogą być np. chwytaki o różnym stopniu uniwersalności, czy też uzbrojenie robots w chwytaki podwójne dla skrócenia czasu za- i rozładunku współpracujących z nimi urządzeń.

4. Zakres oprzyrządowanie dodatkowego

Poza urządzeniami podstawowymi wymienionymi w punkcie 3 istnieje jeszcze konieczność zastosowania zautomatyzowanych uchwytów przedmiotów na obrabiarkach. W przypadku tokarek uchwyty takie istnieją, w przypadku zaś frezerek wymagają skonstruowania, ale - jak przekonsultowaliśmy się - można tutaj używać znaczny stopień ich unifikacji i uniwersalności.

Zautomatyzowany przepływ narzędzi wymaga zastosowania magazynów narzędziowych. Wielu OSN posiada już takie magazyny, ich wykorzystanie do potrzeb FMS ma charakter specyficzny i wynika z konieczności zapewnienia ciągłości pracy gniazd /10/.

Nieodłączne jest także zastosowanie urządzeń czyszczących automatycznie uchwyty, narzędzia i przedmioty obrabiane i usuwających wióry z przestrzeni roboczej maszyn.

W przypadkach skomplikowanych operacji zachodzić może konieczność zastosowania telewizji przemysłowej dla ciągłej obserwacji odbywającego się procesu skrawania.

Jeśli czas cyklu produkcyjnego gniazda jest większy jak 3-5 minut, obsługujący go robot zwykle nie jest czasowo w pełni wykorzystany i wtedy zaleca się dociężać go dodatkowymi czynnościami, np. procesem wymiarowej kontroli wyrobów. Daje to wyraźne zwiększenie efektywności ekonomicznej pracy gniazda. Proces kontroli wymiarowej wymaga zwykle wymiany podstawowego chwytaka, w jaki wyposażony jest robot. Wiąże się to z koniecznością budowy magazynu chwytaków wyposażonych w potrzebne narzędzie pomiarowe. Zagadnienie to zostało opanowane w Instytucie Budowy Maszyn, a odpowiednie urządzenia opatentowane. Stanowiska automatycznej kontroli wymiarowej przedmiotu daje się wykonać jako wysoce uniwersalne, umożliwiające ponadto automatyczny zapis wartości wymiarów kontrolowanych, mogących stanowić atest jakości przedmiotu. Wypisywanie atestu wymaga automatycznego znakowania przedmiotu, dla którego atest został wydany.

Ciążość wymienionych tu urządzeń dodatkowych musi być zintegrowana z programem sterowania realizowanym przez mikrokomputer robota poprzez jego układ me/wy. W cyklu pracy gniazda mogą pojawić się stany awaryjne spowodowane różnego rodzaju zakłóceniami. W tych sytuacjach częściowo reaguje program robota, a częściowo operator. Do pomocy stoi mu pulpit specjalny przeprogramowalny.

Koszt wykonania urządzeń dodatkowych gniazda FMS może sięgać 20-30 % wartości użytego robota przyszłego.

5. Celowość tworzenia FMS

Wprowadzanie FMS do przemysłu to nie tylko wprowadzanie zautomatyzowanych urządzeń wytwórczych, ale także wprowadzanie zupełnie nowych metod technologicznych. Potrzeba wchłaniania przez nasz przemysł nowych zautomatyzowanych środków wytwórczych znalazła już powszechne uznanie, gorzej jest z odczuciem konieczności eksploataowania ich w oparciu o nowe metody technologiczne i organizacyjne. Panują tutaj jeszcze niepodzielnie stare przyzwyczajenia.

Kierownicza kadra zakładów całkowicie zasoborbowana kłopotami utrzymania bieżącej produkcji, nie ma na ogół czasu myśleć o wprowadzeniu nowych metod wytwarzania. Umacnia jeszcze tę sytuację prawda o braku funduszy inwestycyjnych.

Wprowadzanie FMS "na siłę" nie ma oczywiście sensu. Kiedy więc może w Polsce pojawić się odczuwalna potrzeba sięgnięcia po FMS?

- w przypadku projektowania i budowy nowego zakładu lub wydziału dla realizacji seryjnej i powtarzalnej produkcji części dokładnych i technologicznie skomplikowanych. W najbliższych latach będą to bardzo rzadkie przypadki,
- w przypadku konieczności wymiany wyeksploatowanego parku maszynowego, który - ze względu na rodzaj prowadzonej i perspektywicznej produkcji seryjnej - należałoby zastąpić możliwie zautomatyzowanymi maszynami. Przypadki takie będą się pojawiały coraz liczniej,
- w przypadku drastycznego braku kadry wytwórczej zakładu i braku perspektyw jej pozyskania. W niektórych okręgach przemysłowych kraju problem taki już istnieje. Odczuwają go szczególnie przemysły kluczowe i wśród ich kierownictwa narasta przekonanie o konieczności wprowadzenia nowych zautomatyzowanych metod wytwarzania minimalizujących zapotrzebowanie na kadrę obsługującą urządzenia.

Wątpliwe rozważanie ekonomicznej opłacalności wprowadzenia FMS powierzone jest zwykle działowi planowania i rozwoju zakładu, który całą sprawę rozważa w kontekście - nakłady finansowe - korzyści produkcyjne danego zakładu. Wyniki takiej analizy - w obecnych warunkach krajowych - są z reguły negatywne.

Wydaje się jednak, że pojęcie "ekonomicznej opłacalności" w państwie socjalistycznym powinno być rozważane w skali interesów kraju, a nie tylko jednego zakładu. Z tego tytułu jest rzeczą konieczną, aby kadra inżynierów-technologów szerzej określała cele, możliwości i warunki eksploatacyjne poszczególnych projektowanych wariantów FMS i wskazywała na pozazakładowe powiązania socjalno-ekonomiczne będące konsekwencją przedkłada-nych projektów.

Technolog napotka tutaj trzy bardzo ważne pytania:

1. jak przewidzieć wartość poziomu niezawodności FMS konfigurowanego najczęściej z obiektów produkcji krajowej i pracującego na 2,5 - 3 zmian,
2. jaka jest społeczna wartość godziny pracy pracownika uwolnionego przez wprowadzenie FMS,
3. jaki należy przyjąć okres zwrotu nakładów poniesionych na wprowadzenie FMS.

Kilkuletnie prace IBM w zakresie eksploatacji małych FMS konfigurowanych wyłącznie z obiektów produkcji krajowej, udowodniły możliwość utrzymania niezawodności działania FMS na poziomie 0,85 i poziom taki uznać można za zadawalający [1].

Społeczna wartość godziny pracy maszynowego robotnika produkcyjnego w przemyśle maszynowym określana jest, tzw. "współczynnikiem społecznej wartości produkcji towarowej" L_{ws} wyrażanym w zł/godz. Tak więc roczny przyrost wartości produkcji towarowej ΔN_r , wnoszonej przez pracownika uwolnionego przez wprowadzenie FMS i pracującego na innej maszynie produkcyjnej wyniósłby:

$$\Delta N_r = h_r \cdot \frac{A}{100} \cdot L_{ws} \cdot m \quad /zł/$$

gdzie:

h_r - suma godzin przepracowanych w roku, m - stawka godzinowa,

A - przeciętny procent wyrobienia normy w roku.

Wartości L_{ws} podawane były ostatnio jako 2-3 i wykazują tendencje do stałego wzrostu. Według naszych badań wartość ta zależy od charakteru produkcji zakładu przemysłowego i powinna być bliska poziomowi stosowanych ogólnozakładowych narzutów odnoszonych do robocizny. Jak wiadomo, krajowe zakłady o dobrym poziomie technicznym - a takie przede wszystkim będą terenem wdrożeń FMS - wykazują obecnie narzuty rzędu 600-1000 %. Zatem wartości L_{ws} powinny być już obecnie przyjmowane w granicach 5-8, co znacznie poprawi "ekonomiczną opłacalność" wdrażania FMS.

Okres zwrotu nakładów poniesionych na wprowadzenie FMS zalecenia urzędowe podają na 5-7 lat. Twórcy tych zaleceń wychodzili z założenia, że obrabiarka do remontu kapitalnego przepracowuje przeciętnie około 20.000 godzin i jest eksploatowana przez 1,7 zmiany. W przypadku pracy obrabiarek w FMS ich eksploatacja trwa jednak 2,5 zmiany i 20.000 godzin osiąga się już po 3,5 - 4 latach, a więc taki okres powinien być przyjmowany za okres amortyzacji nakładów.

Wprowadzenie powyższych modyfikacji do znanych formuł obliczeniowych obowiązujących Uchwałą Nr 172 RM z 12.VII.74 pozwala bardzo często na uzyskanie pozytywnych wartości wskaźnika efektywności ekonomicznej zastosowania FMS, oczywiście w przypadkach rozsądnego doboru zakładu wdrożenia. Uzyskanie wskaźnika $E \geq 1,1$ wydaje się być wystarczającym dowodem celowości wdrożenia proponowanego FMS.

LITERATURA

- [1] H.J. Warnecke i inni: *Możliwości i ograniczenia stosowania robotów przemysłowych w nowych dziedzinach. I Seminarium z zakresu robotów przemysłowych IMP, Warszawa 1981.*
- [2] U. Schmidt-Streier: *Planung des Industrieroboter Einsatzes mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung, Fördern und Heben 10/1977, str. 73-77.*
- [3] J. Sikora: *Sterowanie procesem obróbki w gniaździe obróbki grupowej wyposażonym w automatyczne urządzenia podające /roboty/. Mechanik 10-11/1981, str. 525-528.*
- [4] H.J. Warnecke: *Investigations and Conclusions concerning the Application of Industrial Robots, Neue Technik 10/1980, str. 27-36.*
- [5] Paul R. Haas: *Flexible Manufacturing Systems for the Mid-volume, Mid-variety Parts Manufacturer, Kearney & Trecker Corporation Fascicle, Milwaukee 1978.*
- [6] John J. Hughes: *Multimachine Handling Systems, Kearney Trecker Corporation Fascicle, Milwaukee, 1978.*
- [7] Kazushima Takahashi: *Any Automated Production Line Which Has a Flexibility to Handle Multiple Types of Works Can Be Called an FMS, Metalworking Engineering 9/1981, str. 144-149.*
- [8] J. Madejski: *Metoda syntezy gniazd obrabiarek sterowanych numerycznie typu flexible machining system, Praca doktorska, Gliwice 1982.*
- [9] S. Lis, K. Santarek: *Projektowanie rozmieszczenia stanowisk roboczych, PWN, Warszawa 1980.*
- [10] H. Thomas Klahorst: *Justification of Multimachine System, Kearney Trecker Corporation Fascicle, Milwaukee, 1978.*
- [11] J. Wójcikowski i inni: *Ocena stanu techniki oraz opracowanie programu w zakresie zastosowania robotów w przemyśle maszyn górniczych, praca niepublikowana.*

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Antoni Woźniak

Wpłynęło do Redakcji do 30.03.1984r.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛАСТИЧНЫХ ГРУПП СТАНКОВ С ПРОМЫШЛЕННЫМИ РОБОТАМИ

Р е з ю м е

В статье представлен метод проектирования эластичных групп станков с промышленными роботами. Приводится пример использования одной из фаз процесса проектирования. Анализируются экономические проблемы, связанные с внедрением таких систем в отечественной промышленности.

DESIGN AND EMPLOYMENT OF THE FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS WITH INDUSTRIAL ROBOTS

S u m m a r y

In the paper the authors deal with the method of the design of the flexible work centers with industrial robots. An example of employment of one of the design process phases is presented. The economic problems connected with implementation of systems like this in the domestic industry are analysed.