

Andrzej Dubina
Instytut Organizacji Przemysłu Maszynowego

ELEMENTY RACHUNKU EFEKTYWNOŚCI ELASTYCZNYCH
GNIAZD PRODUKCYJNYCH

Streszczenie. Praca omawia zasady obliczania efektywności mikroekonomicznej zrobotyzowanych gniazd FMS w skali przedsiębiorstwa na podstawie wyniku gospodarowania /rentowności/. Określono wartości graniczne: nakładów i efektów /uwolnienia/ dla ustalonego czasu zwrotu nakładów.

1. Wstęp

Wprowadzanie do przemysłu nowych technik wytwarzania jest jednym z podstawowych kierunków doskonalenia produkcji. Współcześnie automatyzacja elastyczna umożliwia zwiększenie produktywności dyskretnych procesów produkcyjnych, typowych dla przemysłu maszynowego. Integralnym elementem systemów elastycznych są roboty przemysłowe w coraz większym stopniu zastępujące pracę żywą.

Wdrażanie elastycznych systemów produkcyjnych w polskim przemyśle to nadal zadania nowatorskie. Systemy elastyczne to przede wszystkim pojedyncze gniazda. Rozważania przedstawione w tekście dotyczą elastycznych gniazd produkcyjnych /FMS/ wyposażonych w roboty przemysłowe.

W polskim przemyśle większość prac dotyczących FMS to zadania wdrożeniowe. Wybór odcinków procesu produkcyjnego dla wdrożenia gniazd FMS ma w tym stanie prac zasadnicze znaczenie. Dla dokonania właściwego wyboru jest niezbędne posługiwanie się możliwie precyzyjnym rachunkiem ekonomicznym. Wydaje się, że formuły stosowane do oceny inwestycji niedostatecznie dokładnie pozwalają na ocenę wdrażania nowoczesnych technicznych środków automatyzacji. Między innymi praktyka wdrożeniowa dotycząca zrobotyzowanych stanowisk produkcyjnych w polskim przemyśle elektromaszynowym w latach '78-84 pokazała, iż efektywność mikroekonomiczna tych najprostszych gniazd FMS nie spełnia oczekiwań.

Można sądzić, iż znaczenie formuł obliczania np. czasu zwrotu nakładów jest drugoplanowe. Inne formy substytucji pracy żywej są również „mało efektywne”, wg obowiązujących zasad obliczania efektów ekonomicznych, są jednak wdrażane skuteczniej. Dotyczy to zwłaszcza urządzeń do mechanizacji pracy zespołowej [1].

2. Sformułowanie zagadnienia

Problem określenia właściwych formuł rachunkowych ustalania zasadności wdrażania poszczególnych projektów zrobotyzowanych gniazd FMS jest szeroko

dyskutowany w polskiej literaturze przedmiotu [3,4]. W tej sytuacji próba powiązania oceny stosowania w produkcji zrobotyzowanego gniazda z oceną poziomu gospodarowania konkretnego przedsiębiorstwa również jest zasadna.

Efekty ogólnospołeczne robotyzacji są ewidentne [4].

Przy czym zastąpienie pracy żywej przez uprzedmiotowioną ma odmienne skutki - także finansowe - w różnych przedsiębiorstwach.

Przedstawione opracowanie jest próbą sformułowania oceny efektywności zastosowania zrobotyzowanego gniazda FMS w zależności przede wszystkim od rentowności produkcji na jednego zatrudnionego, uzyskiwanej w konkretnym przedsiębiorstwie /zakładzie/. Uruchomienie pojedynczego gniazda praktycznie nie zmienia efektywności gospodarowania w przedsiębiorstwie.

3. Efekty ekonomiczne. Miejsce powstawania, oszacowania wielkości

Przyjmowane potocznie założenie o zastępowaniu człowieka przez robotę jest przy obecnej organizacji pracy zbyt silnym uproszczeniem.

W praktyce mamy do czynienia z przesunięciem pracowników do innych zajęć. Jedynie w kilku najwyżej przemysłowo rozwiniętych krajach świata występuje zauważalna tendencja do skracania społecznego czasu pracy w wyniku wprowadzania zautomatyzowanych technik wytwarzania.

W warunkach polskiego przemysłu należy dążyć do następującego stanu:

- zrobotyzowane gniazdo FMS jest gniazdem bezzałogowym;
- w gnieździe zrobotyzowanym wzrasta zmienność oraz wydajność pracy;
- pracownicy zatrudnieni w gnieździe przed robotyzacją przechodzą do innej pracy, bardziej efektywnej niż uprzednio.

Tym samym pełne efekty, tak jak np. są pojmowane i klasyfikowane w NRD, będą możliwe do osiągnięcia pod warunkiem realizacji trzech zadań techniczno-organizatorskich, [2]:

- wdrożenia dla wybranego odcinka procesu produkcyjnego /gniazda FMS/ środków technicznych zapewniających bezawaryjne funkcjonowanie całości,
- maksymalizacji wydajności w gnieździe,
- efektywnego zatrudnienia pracowników uwolnionych od dotychczasowych zajęć. Są to zadania także organizatorskie, ponieważ wymagają m.in. usprawniania przepływu materiałów w obszarze otoczeniu gniazda po to, aby skorzystać ze wzrostu wydajności i nie produkować półfabrykatów „na skład”.

I tak, korzystając z zależności dla obliczania łącznych efektów [4], biorąc pod uwagę praktykę wdrożeniową NRD, można zaproponować następujący sposób obliczenia łącznych efektów - E:

$$E = U \cdot b \cdot L \approx 2 \cdot b (E'_g + E'_p) \\ = 2 \left[b_1 \cdot (1 + \Delta W) \left(\frac{KO}{Z} + \frac{F}{Z} \right) + \Delta b_2 \cdot \frac{RO}{Z} \right], \quad (1)$$

gdzie: - współczynnik: liczba zatrudnionych ogółem do liczby pracowników bezpośrednio produkcyjnych w przedsiębiorstwie;

U - możliwość uwolnienia - liczba pracowników, o których zmniejsza się zatrudnienie w gnieździe;

b - zmienność;

- b_1 - zmienowość w gnieździe FMS;
- b_2 - przyrost zmienowości na stanowiskach pracy po przesunięciu uwolnionych pracowników;
- R_0 - wielkość rentowności w przedsiębiorstwie;
- Z - wielkość zatrudnienia w przedsiębiorstwie; .
- F - fundusz płac w przedsiębiorstwie;
- W - współczynnik wzrostu wydajności;
- ΔW - przyrost wydajności w gnieździe FMS;
- E_g - efekty ekonomiczne powstające w gnieździe /na jednego zatrudnionego/;
- E_p - efekty ekonomiczne na nowych stanowiskach /na jednego zatrudnionego/;
- L - łączne efekty ekonomiczne /na jednego zatrudnionego/.

Proponowana formuła uwzględnia efekty powstające w przedsiębiorstwie w przypadku pełnego rozwiązania zadań organizatorskich. Rachunki uwzględniające efekty ogólnospołeczne możliwe do uzyskania tylko dzięki wpływowi spoza przedsiębiorstwa /np. dotacjom/ podają [3,4].

Rachunki wg powyższej formuły syntetyzują /przy znacznych uproszczeniach/ zalecenia i wskaźniki wynikające z oceny wdrożeń i zastosowań robotów przez Państwową Komisję Planowania NRD [2]. Łączny efekt może być obliczany w funkcji danych typowych, dostępnych w każdym przedsiębiorstwie.

4. Wskaźniki charakteryzujące wybrane przedsiębiorstwa przemysłu maszynowego

Od 4 lat za podstawę dla wielu analiz, bardziej makro- niż mikroekonomicznych, służy "lista 500".

Na podstawie "listy 500" dla pierwszej połowy '85 można zestawić następujące tablice:

Tabl. 1 Kwota rentowności na jednego zatrudnionego w |wybranych przedsiębiorstwach.

Tabl. 2 Roczna płaca w wybranych przedsiębiorstwach.

Podstawową kategorią /wielkością/ analizowaną w tabl. 2 jest rentowność określonego przedsiębiorstwa. Niezależnie od niedoskonałości charakteryzowanego rentownością wyniku gospodarowania kwota tak określonego wyniku finansowego jest źródłem środków własnych przedsiębiorstwa, z których powstaje fundusz rozwoju lub mogą być spłacane kredyty. Środki rozwojowe /nie tylko na wdrażanie systemów FMS/ mogą powstawać np. poprzez zmniejszenie opodatkowania.

Najistotniejsze dla dalszych rozważań są następujące konstatacje:

- 1^o Rentowność przedsiębiorstw przemysłu elektromaszynowego wynosi na ogół od 8 do 35% /por. bezpośrednie dane wg „listy 500”/
- 2^o Wielkość rentowności na jednego zatrudnionego zmienia się odpowiednio od 80 do 460 tys.zł rocznie w cenach '85 /por. tabl.1/
- 3^o Przeciętna płaca może być traktowana jako wielkość stała w wysokości 260 tys.zł/rok, / \dot{z} = 11,3%/.

Tabl. 1. Kwota rentowności na jednego zatrudnionego w wybranych przedsiębiorstwach

Lp.	Nazwa przedsiębiorstwa	Kwota rentowności na jednego zatr./tys.zł/
1.	FSC	453
2.	FSM	184
3.	ZPC	184
4.	HSW	76
5.	"BUMAR" - Łabędy - Gliwice	363
6.	KPN "VIS"	326
7.	"PAFAMET" Racibórz	365
8.	"APENA" - Bielsko-Biała	322
9.	FMIUrz. Klimatyzacyjnych Kluczbork	377
10.	"POLAR" - Wrocław	449

Źródło: obliczenia własne na podst.
"Z.G". 47/85

Tabl. 2. Roczna płaca w wybranych przedsiębiorstwach

Lp.	Nazwa przedsiębiorstwa	Roczna płaca /tys.zł/
1.	FSO	257
2.	FSM	256
3.	ZPC	259
4.	HSW	293
5.	"BUMAR" - Łabędy - Gliwice	329
6.	KPN "VIS"	245
7.	"PAFAMET" - P-ka Obrabiarek - Racibórz	270
8.	"APENA" - Bielsko-Biała	231
9.	FMIUrz. Klimatyzacyjnych - Kluczbork	246
10.	"POLAR" - Wrocław	222

Źródło: j.w.

5. Oszacowanie czasu zwrotu nakładów

Czas zwrotu nakładów obliczamy wg zależności:

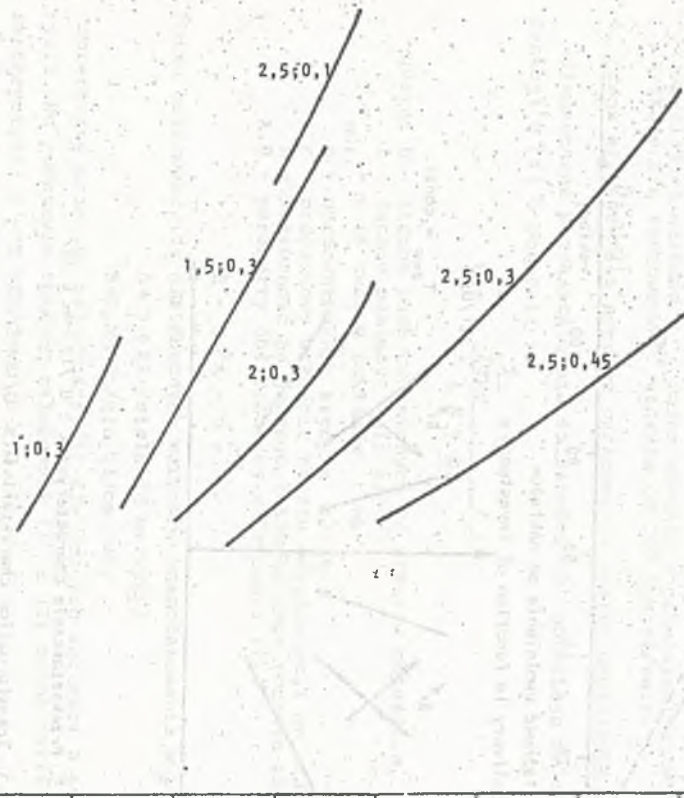
$$T_{zwr} = \frac{I}{E - (p+r) \cdot I} \quad (2)$$

gdzie: I - całość nakładów,
E - roczny efekt,
p - oprocentowanie kredytu,
r - roczny koszt eksploatacji gniazda obliczony jako % od nakładów,

czas zwrotu nakładów T_{zwr} [lata]

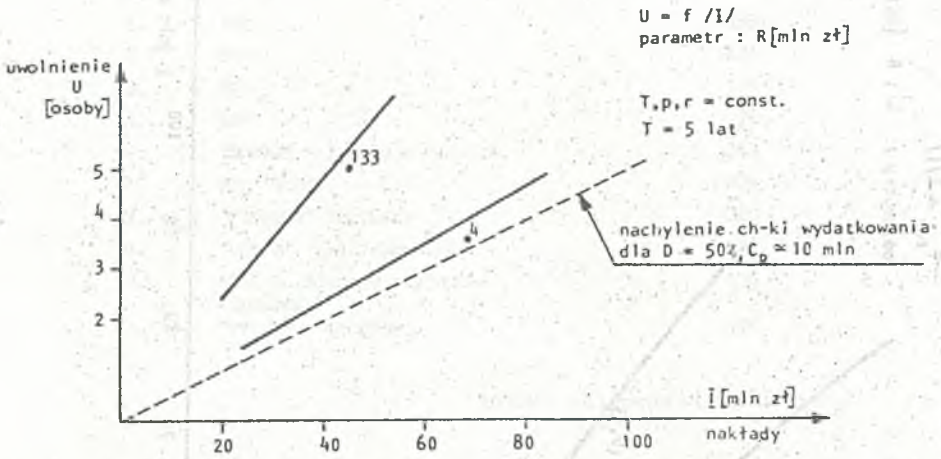
6
5
4
3
2
1

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 I [mln zł] nakłady



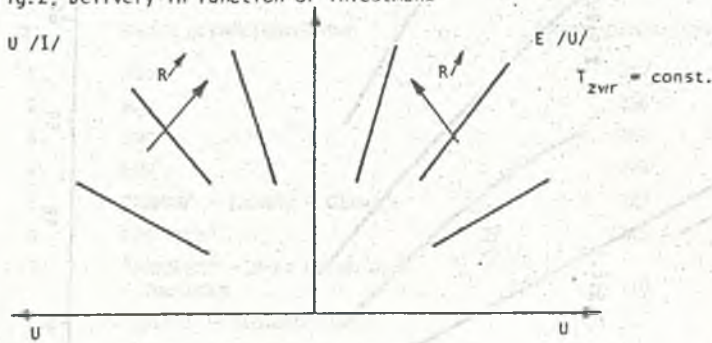
$T_{zwr} = f(I)$
parametry: $U ; R$ [os; mln zł]

Rys. 1. Czas zwrotu nakładów
Fig.1. Return - time of investment.



Rys. 2. Zależność uwolnienia od nakładów

Fig.2. Delivery in function of investmens

Rys. 3. Przekształcanie charakterystyk : $U / I / \rightarrow E / U /$ Fig.3. Transformation characteristics: $U / I / \rightarrow E / U /$

może być przedstawiony jako funkcja f/I uzależniona od parametrów:

U - wielkość uwolnienia i R - kwota rentowności na jednego zatrudnionego.

Wielkość E oszacowano wg [4], przyjmując:

liczba zatrudnionych od liczby pracowników bezpośrednio produkcyjnych - = 3
wsp. zmian. - $a = 3$

wzrost wydajności - $w = 30\%$

oprocentowanie pożyczki - $p = 1\%$

wskaźnik kosztów eksploatacji urządzeń gniazda - $r = 5\%$.

Charakterystykę $T_{zwr}(I)$ dla wybranych wartości U i R przedstawia rys. 1.

Analiza rys. 1 pozwala stwierdzić, że:

- w warunkach NRD racjonalne byłoby wydatkowanie na instalację zrobotyzowanego gniazda FMS kwoty od 30 do 70 mln zł,
- w warunkach polskich $T_{zwr} = 6$ lat. może być - wg obowiązujących przepisów - racjonalne uzyskanie T_{zwr} uwolnienia jednej osoby, jeśli koszt gniazda będzie mniejszy od 25 mln zł,
- zadawalającą wartość T_{zwr} można uzyskać w przedsiębiorstwie, w którym uzyskuje się rentowność zwr większą od 300 tys. zł/zatr.

6. Ocena efektywności poprzez oszacowanie kosztu uwolnienia

Elementarne przekształcenia zależności (2) pozwalają na określenie funkcji $U(I)$ o postaci:

$$U = I \frac{1}{\frac{1}{T_{zwr}} + p + r} \cdot \frac{1}{A \cdot R + B}, \quad (3)$$

gdzie: U - liczba osób uwolnionych od pracy w gnieździe,

I - łączne nakłady mln zł

T, T_{zwr} - czas zwrotu nakładów rok

p - oprocentowanie kredytu 1/rok

r - procentowy wskaźnik kosztu eksploatacji gniazda 1/rok

R - rentowność na jednego zatrudnionego rocznie mln zł/os.rok

A, B - parametry obliczone wg zależności (1):

$$E = U(A \cdot R + B).$$

Można oszacować, że dla obecnych warunków gospodarowania w polskim przemyśle:

$$A \approx 5 \div 12 \text{ /wielkość bezwym./}$$

$$B \approx 0,5 \div 2 \text{ /mln zł/os.rok/}$$

Teoretyczny przebieg zależności (3) dla różnych wartości R przedstawia rys.2. Na podstawie znanych zależności (1) i (2) można określić typowe charakterystyki: $T = T(I)$ oraz $U = U(I)$

Charakterystyki $U(I)$ o postaci (3) otrzymuje się w wyniku prostego przekształcenia znanego wzoru na czas zwrotu.

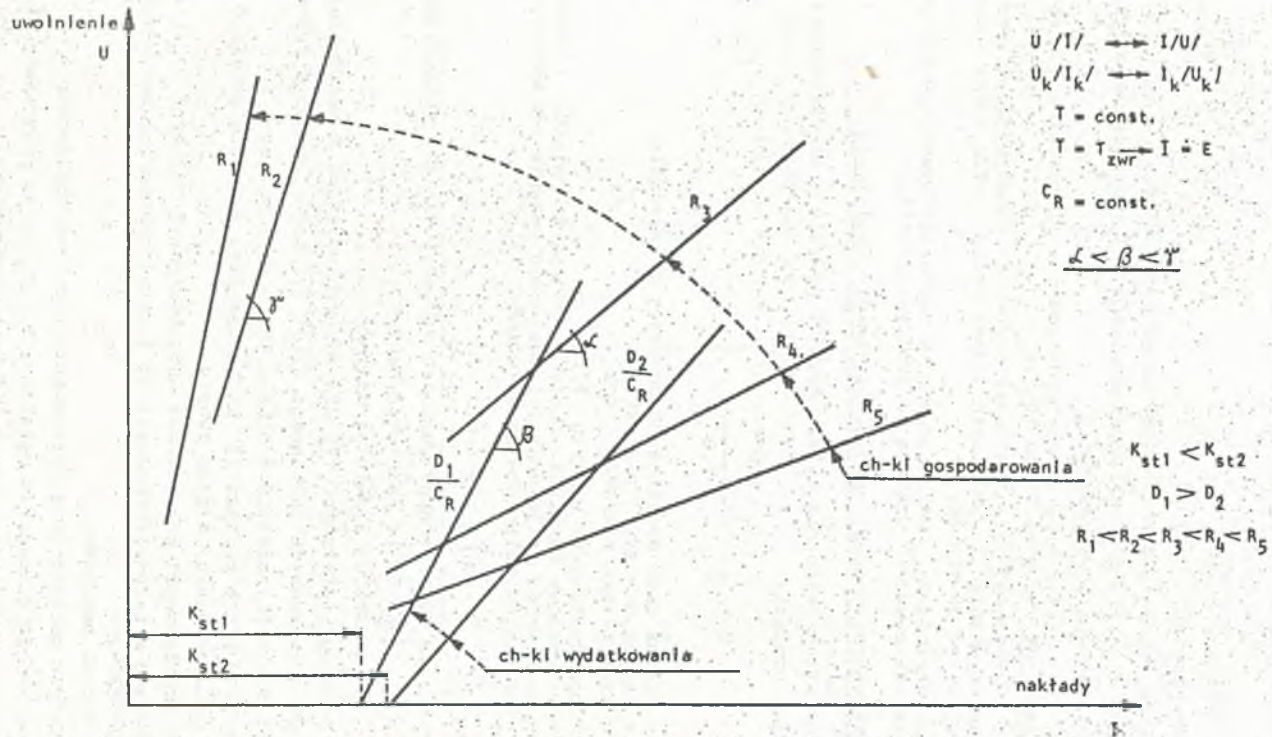
Przyjęto, że podstawowymi parametrami charakterystyk $T(I)$ oraz $U(I)$ są:

R - rentowność w przedsiębiorstwie na jednego pracownika bezpośrednio produkcyjnego,

T - czas zwrotu nakładów.

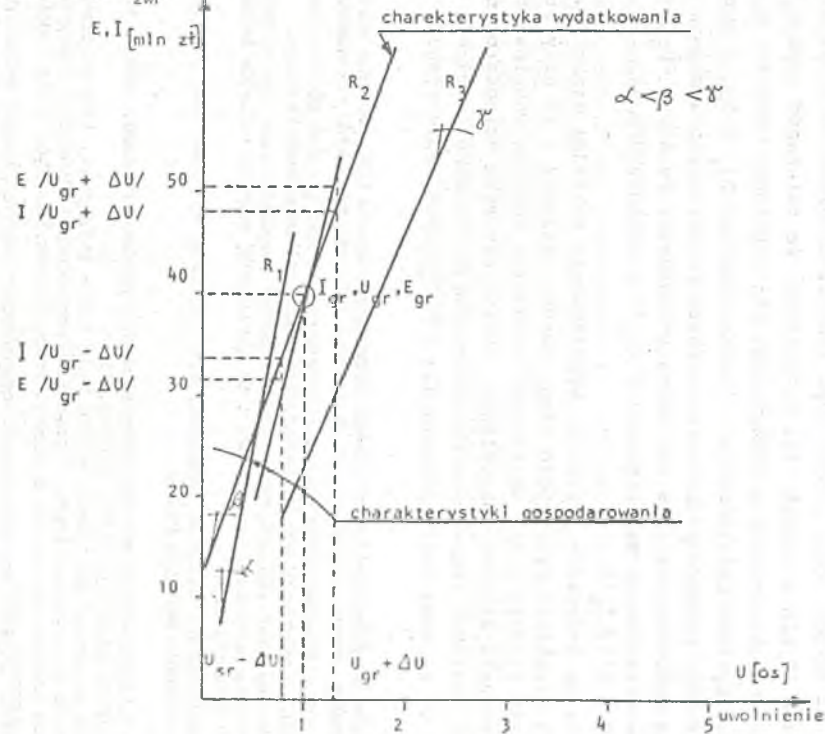
Wpływ pozostałych parametrów w opracowaniu nie jest analizowany.

Jeśli czas zwrotu T zostanie ustalony: $T = T_0$ oraz przyjmiemy, że zwrot nakładów nastąpi po upływie czasu T_0 , to charakterystyka:



Rys. 4. Przebieg charakterystyk gospodarowania i wydatkowania
 Fig.4. Characteristic of management and expensing.

efekty, nakłady dla
ustalonego T_{zwr}



Rys. 5. Graniczne wartości : uwolnienia, nakładów i efektów

Fig.5. Boundary values of delivery, investments and effects

$$R_1 > R_2 > R_3$$

Opis uproszczony :

Charakterystyka wydatkowania określa nakłady
Charakterystyka gospodarowania określa efekty

Niezbędne jest uzyskanie uwolnienia :

$$U > U_{gr}$$

Występują, przy ustalonej charakterystyce wydatkowania, także charakterystyki gospodarowania dla których U_{gr} nie istnieje : $(\beta < \gamma)$

Założono : $E = I$
/ na osi D_y dla $T = T_{zwr}$ /

$$U_{R,T}(I) \xrightarrow{T=T_0} U_R \left(E_{T_0} \right)^{\max}$$

uwolnienie w funkcji nakładów, przy parametrze rentowność przedsiębiorstwa na jednego zatrudnionego, jednocześnie określa charakterystykę: maksymalne efekty powstające po upływie czasu zwrotu nakładów T_0 , w funkcji wielkości uwolnienia pracy żywej, przy tym samym parametrze. Wzajemną zależność charakterystyk pokazano na rys.3. Dla $T = T_0$ omawiane charakterystyki są wzajemnie symetryczne wobec osi $O_y(I, E)$; skale I, E są identyczne.

Przyjmijmy, że prostoliniowe zależności $U(I)$ będziemy nazywali charakterystykami gospodarowania.

Wielkość R - rentowność na jednego zatrudnionego jest parametrem.

Przyjmijmy - jako roboczą hipotezę - następującą postać zależności $u_k(I)$:

$$u_k = \left(I - K_{st} \right) \cdot \frac{D}{C_R},$$

gdzie: U_k - koszt niezbędny do realizacji zakładowej wielkości uwolnienia,

C_k - cena robota,

I^R - nakłady ogółem,

K_{st} - kwota kosztów stałych niezbędnych do poniesienia na "infrastrukturę gniazda",

D - współczynnik udziału kosztów robota w koszcie całej instalacji.

Wartość D określono w '84 w NRD jako ok. 17-35% (2). W Polsce przyjmuje się na ogół $D \approx 40-50\%$. Cena robota typu $I_{rb} 60, IMP-1000, IMP-600$ może być określana jako 10 mln w cenach '84. Przyjmijmy, że zależność typu $u_k(I)$ może być nazywana charakterystyką wydatkowania. Dla ustalonej wartości R i ustalonej charakterystyki wydatkowania można określić U_{gr} i I_{gr} / graniczne/. Są to współrzędne punktów przecięcia charakterystyki gospodarowania z charakterystyką wydatkowania /rys.4/. Można stwierdzić, że dla $U' = U_{gr} - \Delta U$ wielkość efektów określonych uwolnieniem: $E' < I_k''$ i odpowiednio dla $U = U_{gr} + \Delta U$: $E' > I_k''$.

Oznacza to, że jedynie w przypadku wydatkowania nakładów większych od I_{gr} jest możliwe uzyskanie wymaganego czasu zwrotu nakładów i to przy stałym oprocentowaniu kredytu i nie zmienionym wskaźniku kosztów eksploatacji. Odpowiada to uzyskaniu efektów /określonych charakterystyką gospodarowania/ większych od nakładów /określonych charakterystyką wydatkowania/. Wielkość E, I , mają na osi O_y tę samą skalę jedynie dla $t = T_{zwr}/por.$ opis rys.3/.

7. Wnioski

1. Dotowanie przedsięwzięć wdrożeniowych dotyczących gniazd FMS, podobnie wdrożeń innych środków automatyzacji, nie jest źródłem dodatkowych efektów mikroekonomicznych.
2. Wydaje się niezbędne uwzględnienie przy wyborze odcinka procesu produkcyjnego, projektowaniu i wdrażaniu szczegółowego rachunku mikroekonomicznego.
3. Sformułowany model charakterystyk gospodarowania i wydatkowania jest przydatny dla doskonalenia narzędzi tego rachunku i to dla wdrożeń różnych rodzajów technicznych środków automatyzacji.
4. Dla precyzyjnego określenia charakterystyk, zwłaszcza wydatkowania, jest niezbędne przeprowadzenie dalszych badań.

LITERATURA

- [1] Dubina A.: Zastosowanie robotów przemysłowych w procesie montażu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. 56/80. Gliwice, 1980.
- [2] Łapiński A. /red./: Robotyzacja w NRD. Wyd. IOFM - Inf.Syntet. 1/85 Warszawa, 1985
- [3] Wesołowski W., Dwojak S.: Metoda liczenia efektywności i stymulacji robotyzacji. Pierwsza Krajowa Konferencja Robotyki. Prace Naukowe Inst.Cyb. Polit.Wrocławskiej 68/85. Wrocław, 1985
- [4] Wojcikowski J.: Problemy efektywności gospodarczej zrobotyzowanych gniazd FMS. Pierwsza Krajowa Konferencja Robotyki. Prace Naukowe Inst. Cybernetyki Polit.Wrocławskiej 68/85. Wrocław, 1985

Recenzent: Prof.dr inż.Henryk Kowalowski

Wpłynęło do Redakcji do 1986.04.30

ЭЛЕМЕНТЫ РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**Резюме**

В работе даётся вычисление экономической эффективности внедрения на предприятии гибких производственных систем, основанное на факторе хозяйственной деятельности (прибыли). Определены лимиты: капиталовложений, эффектов и освобождения рабочей силы для принятого срока окупаемости капиталовложений.

THE ELEMENTS OF MICROECONOMICS EFFICIENCY CALCULATIONS ROBOTIZED PRODUCTIONS CELL**S u m m a r y**

This paper present elements of microeconomic efficiency calculations in the robotized productions cell / FMS/. The general principles of these calculations in Polish industry are discussed. In the firm, the effects of robotization resulting from:

- delivery and shift of men power,
- an increase in the productiveness and shiffiness in the FMS.

are directly determined by the remuneration.

Basing on the remunerativeness calculated versus one employee, one may determine maximum - possible to achieve -value of the economic effects, only. Maximum effects depend on the efficiency of the employed principles of calculation. Considering the effectiveness of the goal one may conclude that there is the limit of man power delivery which decreases with the increase in remuneration. Automation under this boundary value is being unprofitable. Limit value is the function of prices means of the automatization. An idea of economy and use characteristic for management and investment has been introduced. Boundary value of effects and investments have been presented for the defined return of investment.