

Andrzej Lapiński, Alicja Lapińska
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów

EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA ZASTOSOWANIA ROBOTÓW PRZEMYSŁOWYCH W POLSKIM PRZEMYSŁE MASZYNOWYM

Streszczenie. Przedstawiono znane kryteria efektywności ekonomicznej zastosowania robotów przemysłowych. Zaproponowano wielokryteryjną ocenę efektywności na podstawie szczegółowego modelu efektów ekonomicznych. Omówiono zasady szacowania i obliczania efektów cząstkowych tego modelu.

1. Wstęp

Planowane szerokie zastosowanie robotów przemysłowych w polskim przemyśle maszynowym wymaga stworzenia narzędzi umożliwiających ocenę efektywności ekonomicznej zastosowań robotów. Rachunek ekonomiczny w gospodarce socjalistycznej jest, jak wiadomo [2], bardziej skomplikowany niż w kapitalizmie, musi bowiem uwzględniać interes całego społeczeństwa i racjonalność w skali całej gospodarki narodowej. Rachunek ekonomiczny w Polsce jest ponadto niezwykle utrudniony nieprawidłową przestarzałą strukturą cen i płac. Melich uważa [3], że... "Dotychczas obowiązujące ceny nie spełniają ani funkcji wyboru w rachunku ekonomicznym, ani nie informują prawidłowo o realności dochodów czy wielkości i podziale dochodu narodowego. Trudno w tych warunkach domagać się od ekonomistów prowadzenia rzetelnego rachunku ekonomicznego". W [3] czytamy dalej sformułowania dotyczące rachunku ekonomicznego automatyzacji... "Z rachunku tego wynika np., że z reguły nieopłacalne jest zastępowanie pracy żywej przez uprzedmiotowioną. Jest to w znakomitej większości wypadków nieprawda, gdyż rachunek kosztów jest niepełny i wypaczony. W tym stanie postulowanie, aby rozszerzać czy też pogłębiać rachunek ekonomiczny, ma tylko wtedy sens, gdy urealni się przesłanki tego rachunku. Nie widzę szans, aby można było ten problem szybko rozwiązać". Cytowane wyżej słowa dobitnie przedstawiają skalę trudności, na jakie napotyka się przy ocenie efektywności ekonomicznej nowych technik produkcji.

W dalszej części pracy przedstawimy znane z literatury kryteria oceny efektywności ekonomicznej zastosowań robotów przemysłowych. Kryteria te odnoszone są zarówno ogólnie do nowych technik produkcji, jak i w węższym znaczeniu do środków automatyzacji. Często przedstawia się je jako

kryteria oceny jedynie robotów przemysłowych. Najczęściej są one w swojej postaci ogólnej kryteriami efektywności nowej techniki produkcji, dopiero przyjęcie charakterystycznego szczegółowego modelu efektów czyni je kryteriami oceny efektywności ekonomicznej zastosowań robotów przemysłowych.

2. Przegląd kryteriów efektywności ekonomicznej zastosowań robotów przemysłowych

Ogólnie stosowanym [2, 5, 6, 10, 13] kryterium efektywności ekonomicznej techniki produkcji jest indywidualny okres zwrotu, zwany często okresem zwrotu, definiowany jako iloraz

$$t_z = \frac{I_1 - I_2}{K_2 - K_1} = \frac{I_2 - I_1}{K_1 - K_2} \quad /1/$$

gdzie: I_1 i I_2 - nakłady na techniki produkcji starą "1" i nową "2",

K_1 i K_2 - roczne koszty eksploatacji/koszty własne/ technik "1" i "2".

Indywidualny okres zwrotu danej techniki powinien być mniejszy od granicznego okresu zwrotu określanego normatywnie dla danej gałęzi przemysłu przez centralnego planistę. W pracy [13] wyrażono pogląd, że graniczny okres zwrotu powinien wynosić dla zastosowań robotów przemysłowych 7 lat, obowiązujący w Polsce graniczny okres zwrotu wynosi 5 lat [6]. Ze względu na ograniczoną żywotność robotów za bardziej uzasadnioną należy uznać tę drugą wartość.

Niekiedy [6, 8, 9] podaje się odwrotność okresu zwrotu i nazywa się ją wskaźnikiem efektywności nakładów.

Wzór /1/ w przypadku automatyzacji przyjmuje następującą postać [5]:

$$t_z = \frac{I}{(K_{j1} - K_{j2})a} \quad , \quad /2/$$

gdzie: I - suma nakładów poniesionych na automatyzację,

K_{j1} - koszt własny jednostki produktu przed automatyzacją,

K_{j2} - koszt własny jednostki produktu po automatyzacji,

a - ilość produktów, która może być wytworzona w ciągu roku na stanowisku zautomatyzowanym.

Mianownik ułamka /2/,

$$E = (K_{j1} - K_{j2})a \quad , \quad /3/$$

jest również ważnym wskaźnikiem nazywanym oszczędnością roczną uzyskaną dzięki automatyzacji [5].

Obowiązujące przepisy [7] nakazują obliczać oszczędność roczną na podstawie wzoru

$$E = (K_{j1} - K_{j2})a - Is \quad , \quad /4/$$

gdzie: s - średnia stawka amortyzacji wartości środków trwałych, uznają zatem, że oszczędność roczna powinna być zmniejszona o wartość odpisu amortyzacyjnego.

W [13] zaleca się obliczać oszczędność roczną E zastosowania robota u konkretnego użytkownika na podstawie wzoru

$$E = (aK_{j1} + E_n I_1) - (aK_{j2} + E_n I_2) + E_{sd} \quad , \quad /5/$$

gdzie: $E_n = 0,15$ - normatywny współczynnik efektywności nakładów kapitałowych,

I_1 - nakłady kapitałowe na realizację techniki produkcji przed automatyzacją,

I_2 - nakłady kapitałowe na realizację techniki produkcji z zastosowaniem robota,

E_{sd} - dodatkowy efekt społeczno-ekonomiczny uzyskiwany przez gospodarkę narodową w wyniku zastosowania robota przemysłowego.

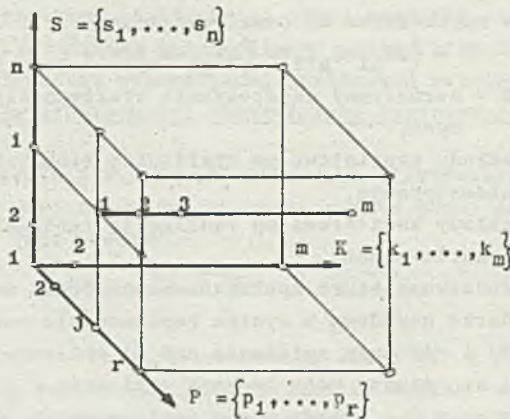
Wzory /5/ i /4/ przy założeniu $s = E_n$ i obliczaniu K_{j1} i K_{j2} tą samą metodą różnią się między sobą jedynie wartością E_{sd} . Dodatkowy efekt społeczno-ekonomiczny E_{sd} składa się z następujących elementów [13]:

- oszczędności wynikającej ze zmniejszenia płynności kadr,
- zmniejszenia kosztów zabezpieczenia socjalnego i ochrony zdrowia,
- obniżenia strat przedsiębiorstwa z tytułu absencji i naruszania dyscypliny pracy,
- zmniejszenia zachorowalności i wypadków przy pracy w wyniku poprawy warunków bhp,
- zmniejszenia kosztów ulg i dopłat za pracę w warunkach ciężkich i szkodliwych.

Interesujące odmienne podejście do problemu oceny efektywności ekonomicznej zastosowań robotów przemysłowych zaprezentowano w [10]. Zaproponowano kryterium kosztu całkowitego, w którym analizuje się wszystkie elementy kosztów za pomocą trójwymiarowej tablicy kosztów K - zadań produkcyjnych P - rozwiązań technologicznych S /rys.1/.

Tablica ta określa elementy kosztów dla każdego zadania produkcyjnego i rozwiązania technologicznego, pozwala zatem uwzględnić elastyczność zastosowań robotów. Zwykle rozpatruje się w charakterze zbioru rozwiązań technologicznych S obsługę ręczną, maszynę specjalizowaną i robota przemysłowego. Przewiduje się możliwość normalizacji tablicy przez podzielenie elementów zbioru kosztów przez koszt całkowity dla danego rozwiązania technologicznego s_i i zadania produkcyjnego p_j . Otrzymuje się w ten sposób unormowane wektory kosztów, które można porównywać ze sobą jak wielkości geometryczne. Zaproponowano uwzględnienie następujących rodzajów kosztów:

1. koszty uchwytnie w pieniądzu:
 - koszt maszyny podstawowej,
 - koszt narzędzi specjalnych i oprzyrządowania,
 - koszt zasilania w energię,
 - koszt projektu,



Rys. 1. Trójwymiarowa tablica kosztów K - zadań produkcyjnych P - rozwiązań technologicznych S i wektor kosztów 10

- koszt pracy żywej, - koszt konserwacji,
 - koszt montażu, programowania i szkolenia,
2. koszty nieuchwytnie w pieniądzu:

- koszt kontroli jakości - koszt kontroli i nadzoru siły roboczej,
- koszt absencji, niezadowolenia z pracy, skarg, fluktuacji, strajków,
- koszt elastyczności organizacyjnej - koszty przestrzegania bhp,
- koszty chorób zawodowych.

Koszty nieuchwytnie można wprowadzić do unormowanych wektorów kosztów, a następnie do znormalizowanej tablicy kosztów jako niemięskowane "składowe uzupełniające".

3. Propozycja wielokryterijnej oceny efektywności ekonomicznej na podstawie szczegółowego modelu efektów

Omówione wyżej kryteria efektywności ekonomicznej zastosowań robotów przemysłowych, czas zwrotu $t_z/2/$ i oszczędność roczna $/4/$ są miernikami syntetycznymi i nie informują o wszystkich złożonych aspektach ekonomicznych zastosowań. Nie podają np. żadnej informacji o wielkości nakładów warunkującej w ogóle uzyskanie efektów czy o przyjętym modelu i sposobach obliczania efektów. Do obliczenia zarówno t_z , jak i E należy znać wartość nakładów inwestycyjnych I i różnicę kosztów własnych produkcji rocznej wyrobu. Oszczędność roczna jest sumą efektów cząstkowych, których rodzaj i ilość zależy od przyjętego modelu efektów. Modelem efektów nazywamy tu pewne przybliżenie zmian w rzeczywistości ekonomicznej w skali gospodarki narodowej towarzyszących zastosowaniu robota, zmiany te rozpatrywane są w odniesieniu do przyjętego wariantu bazowego, np. starej techniki

produkcji. Szczegółowym modelem efektów nazywamy zaś model efektów konkretnego zastosowania robota. Obliczenie oszczędności rocznej E i okresu zwrotu t_z wymaga znajomości szczegółowego modelu efektów, wskaźniki te nie oddają przy tym całej złożoności modelu efektów. W tym momencie nasuwa się wniosek, aby przyjąć jako podstawę oceny efektywności ekonomicznej właśnie szczegółowy model efektów zastosowania robota. Wybór optymalnej ekonomicznie techniki produkcji polegałby wtedy na wielokryterialnym porównywaniu szczegółowych modeli efektów alternatywnych technik produkcji. Dodajmy, że wszystkie porównywane szczegółowe modele efektów technik alternatywnych powinny mieć tę samą bazę odniesienia. Szczegółowy model efektów powinny tworzyć następujące grupy danych techniczno-ekonomicznych:

1. Dane techniczno-organizacyjne wyrażane najczęściej w jednostkach fizycznych:

- rodzaje i ilość produkowanych wyrobów,
- opis techniczny zastosowania robota z niezbędnymi rysunkami.

2. Nakłady na realizację projektu robotyzacji:

- koszt zakupu samego robota,
- koszt oprzyrządowania, narzędzi i chwytaków specjalnych,
- koszt projektu robotyzacji, - koszty instalacji i rozruchu,
- koszty szkolenia pracowników przewidzianych do obsługi robota.

3. Efekty ekonomiczne zastosowania robota przemysłowego:

- efekty zmiany zużycia pracy żywej, - efekty zmian zużycia materiałów,
- efekty zmian w wyposażeniu w maszyny i urządzenia oraz w nakładach inwestycyjnych,
- efekty zmian w gospodarce remontowej, - efekty zmian jakości produkcji,
- efekty uruchomienia nowej lub zwiększenia dotychczasowej produkcji,
- efekty zmian dotyczących braków produkcyjnych,
- efekty widoczne w kalkulacji dewizowej, - efekty zastosowania robotów jako rozwiązań wyprzedzających obecny poziom techniki i stwarzających warunki dalszego postępu technicznego,
- efekty poprawy bezpieczeństwa, higieny i kultury pracy,
- efekty reakcji pracowników na kolegę-robota,

4. Wskaźniki syntetyczne efektywności:

- oszczędność roczna,
- okres zwrotu - inne.

Propozycja przyjęcia jako podstawy oceny efektywności szczegółowego modelu efektów jest w dużej mierze zbieżna z postulatami pracy [10], efekty cząstkowe modelu /punkt 3/ mają strukturę przyjętą w pracy [4].

4. Obliczanie i szacowanie efektów ekonomicznych zastosowania robotów przemysłowych

Ze względu na brak miejsca omówimy krótko jedynie ogólne zasady obliczania i szacowania najistotniejszych efektów ekonomicznych zastosowa-

nia robotów. Oprzemy się przy tym na obszernych i dokładnych wskazówkach pracy [4] i znanych nam kilkunastu zastosowaniach robotów PR-02 i IRb [11,12] wykonanych lub koordynowanych przez Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów w Warszawie.

Efekt ekonomiczny zmiany zużycia pracy żywej oblicza się sumując efekty zmian pracochłonności poszczególnych operacji technologicznych i doliczając narzut na świadczenia społeczne. Przy stałych kosztach pośrednich do efektów ekonomicznych nie należy doliczać narzutu kosztów pośrednich, np. wydziałowych i ogólnozakładowych. Zmniejszenie zatrudnienia w wyniku zastosowania robotów przemysłowych musi być rozpatrywane w ścisłym związku z aktualną sytuacją kadrową w przedsiębiorstwie, na lokalnym rynku pracy oraz w skali gospodarki narodowej. Przede wszystkim musi być rozwiązany problem znalezienia odpowiedniej pracy dla zastępowanych przez roboty pracowników. Związane z tym koszty ewentualnego przeniesienia lub przeszkolenia pracowników są ujemnym efektem zastosowania robotów. W przeważającej większości przypadków zastosowań mamy do czynienia z łagodzeniem deficytu siły roboczej, który ujawni się, jak się przewiduje [1], w najbliższej przyszłości. W tej sytuacji zastosowanie robotów jest jedną z możliwości utrzymania aktualnego stanu zatrudnienia lub jego zwiększenia. Inną możliwością jest przeniesienie istniejących jeszcze na wsi rezerw siły roboczej do centrów przemysłowych. Pociąga to jednak za sobą duże koszty modernizacji rolnictwa, znaczne nakłady na infrastrukturę komunalną, budownictwo mieszkaniowe i zaplecze kulturalne. Koszt przeniesienia jednego człowieka z wsi do miasta można obecnie oszacować co najmniej na 1 mln złotych. Musimy także pamiętać, że robot uczestnicząc w produkcji nie uczestniczy w konsumpcji zbiorowej, nie obciąża funduszu akcji socjalnej, funduszu mieszkaniowego, transportu, nie wydłuża kolejek po deficytowe dobra. Efekt uzyskiwany przez gospodarkę narodową przez zastosowanie robota przemysłowego zamiast człowieka powinien być wszechstronnie oszacowany i obliczany za pomocą współczynnika zwiększającego efekt oszczędności płac bezpośrednich. Naszym zdaniem współczynnik ten powinien wynosić aktualnie co najmniej 5 i powinien być weryfikowany okresowo stosownie do zmieniającej się sytuacji gospodarczej i sytuacji na rynku pracy. Zmniejszenie zatrudnienia przynosi również efekty dodatnie w postaci oszczędności ze zmniejszenia płynności i absencji, wyeliminowania urlopów i poprawy dyscypliny pracy. Na dalszych etapach robotyzacji jej efektem będzie skrócenie czasu pracy przy niezmiennym zatrudnieniu i płacach. W [4] zaproponowano sposób oszacowania tego efektu przy założeniu, że godzina czasu wolnego przynosi gospodarce narodowej efekt równy połowie płacy godzinowej pracownika.

Przy szacowaniu efektów cząstkowych szczegółowego modelu efektów należy oprzeć się na pracy [4]. Metody obliczania efektów cząstkowych

powinny być przedmiotem badań i tematem dalszych publikacji.

5. Wnioski

- Istnieje potrzeba opracowania metodyki oceny efektywności ekonomicznej automatyzacji produkcji w tym automatyzacji za pomocą robotów przemysłowych,
- podstawą takiej oceny może być omówiony w referacie szczegółowy model efektów,
- należy doskonalić ten model przez uwzględnianie ujawniających się w praktyce nowych rodzajów efektów i uściślanie sposobów obliczania i szacowania efektów cząstkowych.

LITERATURA

- [1] Kaczmarczyk A.: Fabryki bezludne w przemyśle maszynowym /studium prognostyczne/. Biuletyn MERA-PIAP, 1-2/79,
- [2] Szeffler S. i inni: Ekonomia polityczna dla wyższych szkół technicznych i rolniczych, PWN Warszawa 1974,
- [3] Melich A.: Doskonalenie systemu funkcjonowania gospodarki. Kierunki. Życie Warszawy nr 264 z 09.11.1979 r.
- [4] Pilawski B.: Obliczanie efektów ekonomicznych postępu technicznego w przedsiębiorstwie, PWE Warszawa 1976,
- [5] Jodełko Z.: Ocena ekonomiczna mechanizacji i automatyzacji w przemyśle maszynowym, WNT Warszawa 1976,
- [6] Krajewski S.: Niektóre problemy metodyki badań ekonomicznej efektywności mechanizacji i automatyzacji..., Broszura TWWP Warszawa 1969,
- [7] Instrukcja GUS dla sprawozdawczości statystycznej z rozwoju techniki w przemyśle, Wyd. GUS Warszawa 1976,
- [8] Olszewski M.: Automatemyczne maszyny manipulacyjne w procesie produkcyjnym, Mechanik 8/78, s. 393 i 9/78, s. 461-466,
- [9] Olszewski M.: Aspekt ekonomiczny automatyzacji..., Z. Nauk. PŚ 1 46/78,
- [10] Ciborra C., Romano P.: Economic evaluation of industrial robots. A proposal. Proc. 8th ISIR, Stuttgart 1978, s. 15-23,
- [11] Sawwa R.: Społeczno-gospodarcze aspekty robotyzacji i typowe zastosowania robotów IRb, Mat. Kr. Nar. N-T, Toruń 1978
- [12] Rudnicki Z.: Zastosowanie przemysłowego robota typu IRb na przykładzie operacji gratowania detali, Z. Nauk. PŚ 1 46/78,
- [13] Говсиевич Р. Е. и др.: Определение экономической эффективности промышленных роботов, Станки и инструмент 8/78, с. 10-12.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ В ПОЛЬСКОЙ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Р е з ю м е

В работе представлены известные критерии экономической эффективности применения промышленных роботов. Предложена многокритериальная оценка эффективности на основе подробной модели экономических эффектов. Описаны правила оценки и расчёта частичных эффектов этой модели.

AN ECONOMIC EFFICIENCY OF APPLICATIONS OF INDUSTRIAL ROBOTS IN POLISH
MACHINE - BUILDING INDUSTRY

S u m m a r y

Some known economic efficiency criterions of applications of industrial robots are presented. A multi-criterion evaluation of efficiency is proposed basing on the model of economical effects. The estimation and calculation principles of the model's components are discussed.