ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1994
Seria: **GÓRNICTWO** z. 218 Nr kol. 1220

Stanisław **KOWALIK**
Katerdra Organizacji i Ekonomiki Górnictwa Politechniki Śląskiej

WYKORZYSTANIE METOD AUTOMATYKI KOMPLEKSOWEGO STEROWANIA DO OCENY EFEKTYWNOŚCI PRODUKCJI

Streszczenie. Oceny efektywności produkcji przedsiębiorstwa dokonuje się poprzez wskaźniki efektywności. W pracy wykorzystano metodę identyfikacji obiektów wielowymiarowych w celu znalezienia zależności między tymi wskaźnikami a czynnikami wpływającymi na ich zmianę. Wykorzystano też ujemne sprzężenie zwrotne do sterowania wybranymi wskaźnikami efektywności.

MAKING USE OF THE AUTOMATICS METHODS OF COMPLEX CONTROL FOR THE EVALUATION OF PRODUCTION EFFECTIVENESS

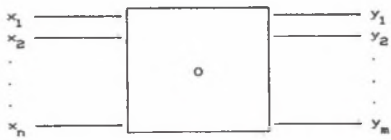
Summary. The evaluation of production effectiveness of an enterprise is made by means of effectiveness indices. This paper has made use of the metfod of multidimensional objects identification in order to fined the relationship between these indices and the factors having an effect on their change. Negative feedback for the control of selected effectiveness indices has also been made use of.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ АВТОМАТИКИ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЗНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

Резюме. Оценка эффективности производства данного предприятия проводится на основании показателей эффективности. В работе был использован метод идентификации многомерных объектов с целью установленна зависимости между этими показателями и факторами, вызывающими их изменение . Была ицпользована также отрицательная обратная связь для управления избранными показателями эффективности.

1. SFORMUŁOWANIE ZAGADNIENIA

W pracy będziemy zajmowali sie analizą działalności przedsiębiorstwa ze względu na jego efektywność produkcji. Tę efektywność będziemy oceniali poprzez wskaźniki efektywności. Mogą to być przykładowo: wielkość zużywanej energii elektrycznej, zysk, wielkość wydobycia węgla itp. Z całości działalności przedsiębiorstwa wyodrębnimy pewien interesujący nas fragment związany z określonymi wskaźnikami efektywności produkcji. Mogą to być np. wskaźniki związane z analizą bilansu [8], wskaźniki związane z analizą bieżących wyników ekonomicznych [1], wskaźniki związane z badaniem efektywności wykorzystania środków trwałych [1], [2] itp. Zależeć nam będzie na tym, aby ineteresujące nas wskaźniki utrzymać na zadanym z góry poziomie. W ogólnym ujęciu przyjmujemy, że efektywność wybranego fragmentu produkcji będzie charakteryzować m wskaźników $y_1,\dots, y_m$. Graficznie przedstawione to jest na rysunku 1.
Obiekt O reprezentuje tutaj wybrany fragment działalności przedsiębiorstwa. Na wyjściu tego obiektu znajdują się interesujące nas wskaźniki efektynowści produkcji $y_1,\dots,y_m$, a na wejściu obiektu zaznaczyliśmy wszystkie czynniki, które mają wpływ na zmianę wskaźników efektywności. Ogólnie przyjmujemy, że takich czynników może być n. Oznaczamy je przez $x_1,\dots,x_n$. Wpływ czynników na wskaźniki efektywności może być różny. Jeden czynnik może oddziaływać na jeden lub wiele wskaźników, albo wiele czynników może wpływać na zmianę jednego wskaźnika efektywności. Tymi czynnikami mogą być przykładowo: wielkość zatrudnienia, ilość dostarczanej wody lub gazu itp.



Rys.1. Obiekt sterowania o n wejściach i m wyjściach
Fig.1. Control object with n inputs and m outputs

2. NIEKTÓRE WSKAŹNIKI EFEKTYWNOŚCI PRODUKCJI

Zbiór wskaźników $y_1,...,y_m$ wybieramy według naszych potrzeb. Przykładowo podajemy niektore z nich poniżej.

2.1. Wskaźniki związane z analizą bilansu [8]

2.1.1. Wskaźniki płynności (liquidity ratios):
a) wskaźnik bieżący (current ratio),
b) wskaźnik szybki (quick ratio).

2.1.2. Wskaźniki zyskowności (profitability ratios):
a) stopa zysku brutto (gros profit margin),
b) stopa zysku netto (net profit margin),
c) zwrot z inwestycji (return on investment),
d) zwrot z kapitału (return on equility),
e) wskaźnik zysków na 1 akcję (earnings per share),
f) wartość wypłat (payout ratio).

2.1.3. Wskaźniki zadłużenia (leverage ratios):
Wskaźniki te pokazują, kto dostarczył firmie środków - właściciele czy zewnętrzni kredytodawcy. Firmy posiadające wysoką proporcję stałych zobowiązań są uważane za poważnie zadłużone:
a) relacja dług/kapitał (deb to equity),
b) wskaźnik pokrycia długu (debt coverage ratio).

2.1.4. Wskaźniki sprawności działania (activity ratios):
a) wskaźnik wykorzystania środków trwałych (fixed assed turnover ratio),
b) wskaźnik rotacji zapasów (inventory turnover ratio),
c) wskaźnik cyklu należności (accunts receivable turnover ratio),
d) okres ściągania należności (average collection period).

2.2. Wskaźniki związane z analizą bieżących wyników ekonomicznych [1].

2.2.1. Wskaźniki wyniku finansowego:
a) wartość sprzedaży produkcji i usług,
b) koszt własny sprzedaży,
c) wynik bilansowy,
d) wskaźnik udziału kosztów sprzedaży,
e) wskaźnik rentowności sprzedaży.

2.2.2. Wskaźniki wiarygodności finansowej:
a) wskaźnik bieżący płynności finansowej,
b) wskaźnik szybki płynności finansowej,

2.2.3. Wskaźnik sprzedaży i usług.

2.2.4. Wskaźniki analizy kosztów:
a) wskaźnik opłacalności produkcji lub sprzedaży,
b) wskaźnik operacyjności,
c) wskaźnik opłacalności wydatków.

2.3. Wskaźniki dotyczące badania efektywności wykorzystania środków trwałych. [1], [2]:
a) wskaźnik produktyności majątku trwałego,
b) wskaźnik odnawiania środkow trwałych,
c) wskaźnik zaangażowania inwestycyjnego,
d) wskaźnik rentowności środków trwałych,
e) wskaźnik rentowności maszyn i urządzeń.

2.4. Syntetyczny wskaźnik analizy stanu zatrudnienia.

3. IDENTYFIKACJA OBIEKTU STEROWANIA

Pierwszym naszyn etapem analizy efektywności produkcji będzie identyfikacja obiektu O (rys.1). Wykorzystamy do tego metody analizy regresyjnej dla układu o n wejściach i m wyjściach. Wpływ czynnika x_j na wielkość wskaźnika y_i na ogół nie jest dokładnie znany. Jest trudny do ustalenia, a zapis matematyczny jest często niemożliwy. Przyjmujemy, że obiekt O jest "czarną skrzynką" o nieznanym działaniu. Do identyfikacji obiektu wykorzystamy metodę najmniejszych kwadratów [5], [6], [9]. Zakładamy z pewnym przybliżeniem, że zależność między x_j a y_i jest następująca

$$y_i = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \ldots + a_{in}x_n + a_{i,n+1}, \qquad (i=1,\ldots,m). \tag{1}$$

Aby ujednolicić i uprościć zapis matematyczny wzoru (1), wprowadzamy dodatkową zmienną

$$x_{n+1} \overset{df}{=} 1. \tag{2}$$

Wtedy wzór (1) możemy zapisać w postaci

$$y_i = \sum_{j=1}^{n+1} a_{ij} x_j. \tag{3}$$

Równanie (3) zapisujemy w postaci macierzowej

$$Y = AX. \tag{4}$$

To równanie rozpisane ma postać

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ . \\ . \\ . \\ y_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}, & \ldots, & a_{1n}, & a_{1,n+1} \\ . & & . & . \\ . & & . & . \\ . & & . & . \\ a_{m1}, & \ldots, & a_{mn}, & a_{m,n+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ . \\ . \\ x_n \\ 1 \end{bmatrix} \tag{5}$$

Jest to zależność liniowa. Przyjęcie nieliniowej zależności powoduje znaczne skomplikowanie i trudności w ogólnym zapisie i rozwiązaniu zagadnienia. Na ogół taka zależność z pewnym przybliżeniem wystarcza. W celu dokonania identyfikacji współczynników a_{ij} dokonujemy k ($k \geq n+1$) pomiarów czynników x_j na wejściu obiektu O i k pomiarów odpowiadających im wskaźników efektywności y_i na wyjściu obiektu. Pomiary te mają być dokonane w różnych chwilach czasowych, dla różnych wartości czynników x_j i wskaźników y_i. Otrzymujemy w ten sposób macierz pomiarów czynników X_p na wejściu układu i macierz pomiarów wskaźników Y_p na wyjściu układu. Macierze X_p i Y_p tworzymy w ten sposób, że w wierszach macierzy zapisujemy kolejne wektory pomiarowe. Pokazują to wzory (6) i (7).

$$X_p = \begin{bmatrix} x_{11}, & \ldots, & x_{1n}, 1 \\ . & . & . \\ . & . & . \\ . & . & . \\ x_{k1}, & \ldots, & x_{kn}, 1 \end{bmatrix} \tag{6}$$

$$Y_p = \begin{bmatrix} y_{11}, & \dots, & y_{1m} \\ . & . & . \\ . & . & . \\ . & . & . \\ y_{k1}, & \dots, & y_{km} \end{bmatrix} \tag{7}$$

Otrzymujemy w ten sposób zależność macierzową

$$X_p A^T = Y_p. \tag{8}$$

Naszym zadaniem będzie znalezienie współczynników macierzy A. Między elementami macierzy X_p i Y_p zachodzi zależność

$$y_{li} = \sum_{j=1}^{n+1} a_{ij} x_{lj}, \qquad (l=1,\dots,k;\ i=1,\dots,m). \tag{9}$$

gdzie: m - liczba wyjść układu,
n - liczba wejść układu,
k - liczba pomiarów,
i - numer wskaźnika efektywności na wyjściu układu,
j - numer czynnika na wejściu układu,
l - numer pomiaru.

Przystępujemy do wyznaczenia elementów macierzy A. Równanie (8) mnożymy stronami kolejno przez X^T_p oraz $(X_p\ X_p)^{-1}$. Po przemnożeniu lewostronnym otrzymujemy

$$X_p^T X_p A^T = X_p^T Y_p, \tag{10}$$

$$\left(X_p^T X_p\right)^{-1} X_p^T X_p A^T = \left(X_p^T X_p\right)^{-1} X_p^T Y_p, \tag{11}$$

$$A^T = \left(X_p^T X_p\right)^{-1} X_p^T Y_p, \tag{12}$$

$$A = \left[\left(X_p^T X_p\right)^{-1} X_p^T Y_p\right]^T. \tag{13}$$

Równanie (13) określa sposób obliczenia elementów macierzy A [6], [9], a tym samym identyfikacja obiektu O ze względu na efektywność produkcji została przeprowadzona. W obliczeniach tych wymagane jest obliczenie macierzy odwrotnej $(X^T_p X_p)^{-1}$. Jeżeli okazałoby sie, że wyznacznik

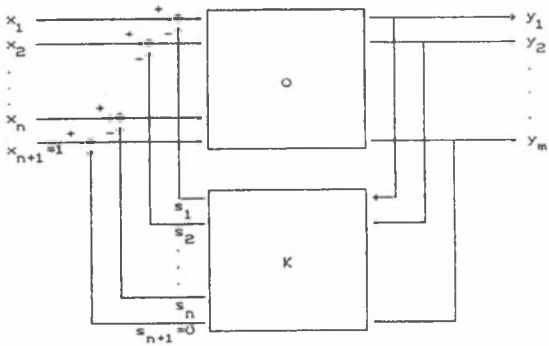
$$\det\left(X_p^T X_p\right) = 0, \tag{14}$$

to należy zwiększyć ilość pomiarów k, aby było możliwe obliczenie potrzebnej macierzy odwrotnej.

4. STEROWANIE OBIEKTEM Z WYKORZYSTANIEM UJEMNEGO SPRZĘŻENIA ZWROTNEGO

Dalszym etapem rozważań będzie takie sterowanie obiektem O, aby wskaźniki efektywności produkcji utrzymać na zadanym z góry poziomie. Jest to zadanie z dziedziny sterowania obiektem o wielu wejściach i wielu wyjściach [4], [7], [9]. W przedsiębiorstwie musi występować organ albo zespół ludzi, którzy widząc zmiany wskaźników efektywności produkcji na wyjściu układu, potrafili wpływać na ich poprawę poprzez zmianę czynników oddziałujących na te wskaźniki na wejściu układu. Ten organ sterujący symbolicznie oznaczymy przez K. Wystąpi tu ujemne sprzężenie zwrotne w układzie z obiektem O. Układ ze sprzężeniem zwrotnym przedstawiony jest na rysunku 2.

Zespół sterujący K tzw. regulator ma do dyspozycji znane wartości wskaźników efektywności $y_1,...,y_m$ i na ich podstawie musi wydać decyzje, jak skorygować wielkości wejściowe $x_1,...,x_n$. Innymi słowy musi określić sygnały sterujące $s_1,...,s_n$. które w pewien spo-



Rys. 2. Układ z ujemnym sprzężeniem zwrotnym
Fig. 2. The system with negative feedback

sób będą zmniejszały lub zwiększały wielkość sygnałów $x_1,...,x_n$. Ponieważ równanie (1) określa zależność liniową z wyrazem wolnym $a_{i,n+1}$, oraz wprowadziliśmy fikcyjną zmienną $x_{n+1}=1$ zdefiniowaną przez równanie (2), więc także wprowadzamy fikcyjny sygnał $s_{n+1} = 0$ na wyjściu regulatora K. Ten sygnał będzie równy zero, gdy utworzymy dodatkowy n+1 wiersz w macierzy regulatora K, w którym wszystkie elementy będą równe zero.

$$k_{n+1,i} \overset{df}{=} 0. \tag{15}$$

Zapiszmy związki między sygnałami w takim układzie (rys.2).

$$S = KX, \tag{16}$$

$$Y = A(X - S). \tag{17}$$

Wtedy

$$Y = A(X - KY) = AX - AKY, \tag{18}$$

$$Y + AKY = AX, \tag{19}$$

$$(1 + AK)Y = AX. \tag{20}$$

Równanie (20) mnożymy obustronnie przez $(1+AK)^{-1}$. Otrzymujemy wtedy

$$Y = (1 + AK)^{-1}AX. \tag{21}$$

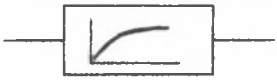
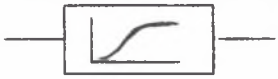
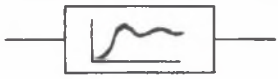
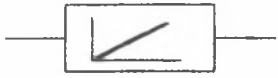
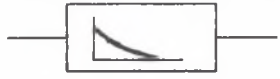
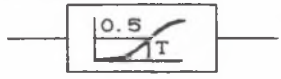
Równanie (21) podaje nam zależność między sygnałami wejściowymi x_j a sygnałami wyjściowymi y_i w układzie ze sprzężeniem zwrotnym.

5. UKŁAD REGULACJI

Przystąpimy teraz do bliższego określenia obiektu sterującego K. W obiekcie odbywa się transformacja sygnałów $y_i,...,y_m$ na sygnały $s_1,...,s_n$. Należy więc określić wpływ każdego sygnału y_i na poszczególne sygnały s_j. Wszystkie te wpływy lub oddziaływania oznaczamy przez k_{ji} i grupujemy w macierzy K (j=1,...,n+i;i=1,...,m). Automatyka przewiduje następujące rodzaje reagowania na sygnały y_i [9]. Podaje je tablica 1. Elementy k_{ji} mogą być kombinacjami wielkości występujących w tablicy 1.

Tablica 1

Nazwy, funkcje przejścia i oznaczenia elementów automatyki

Lp.	Nazwa elementu	K(p)	Oznaczenie
1	bezinercyjny	k	
2	inercyjny pierwszego rzędu	$\frac{k}{1+pT}$	
3	inercyjny drugiego rzędu	$\frac{k}{(1+pT_1)(1+pT_2)}$	
4	oscylacyjny drugiego rzędu	$\frac{k\omega_n^2}{p^2+2\omega_n p+\omega_n^2}$	
5	całkujący idealny	$\frac{k}{p}$	
6	całkujący rzeczywisty (z inercją)	$\frac{k}{p(1+pT)}$	
7	różniczkujący idealny	kp	
8	różniczkujący rzeczywisty	$\frac{kpT}{1+pT}$	
9	continuum RC	$e^{-\sqrt{pT}}$	
10	continuum LC	e^{-pT}	

Najbardziej rozpowszechnionymi typami regulatorów w automatyce są [9]:

a) Regulator całkujący I.
W tym regulatorze sygnał wyjściowy s jest proporcjonalny do całki sygnału wejściowego y:

$$s = k_2 \int_0^t y dt \tag{22}$$

Funkcja przejścia takiego regulatora ma postać

$$K(p) = k_2 \frac{1}{p}. \tag{23}$$

Jest to transformata Laplace'a Carsona funkcji czasowej [3], [9],

b) Regulator proporcjonalno-całkujący PI.
W tym regulatorze sygnał wyjściowy s jest sumą sładowej proporcjonalnej do sygnału wejściowego y i składowej proporcjonalnej do całki tego sygnału:

$$s = k_1 y + k_2 \int_0^t y dt \tag{24}$$

Funkcja przejścia takiego regulatora ma postać

$$K(p) = k_1 + k_2 \frac{1}{p}. \tag{25}$$

c) Regulator proporcjonalno-różniczkujący PD.
W tym regulatorze sygnał wyjściowy s jest sumą składowej proporcjonalnej do sygnału wejściowego i składowej proporcjonalnej do pochodnej tego sygnału

$$s = k_1 y + k_3 \frac{dy}{dt}. \tag{26}$$

Funkcja przejścia takiego regulatora ma postać

$$K(p) = k_1 + k_3 p. \tag{27}$$

d) Regulator proporcjonalno-całkująco-różniczkujący PID.
W tym regulatorze sygnał wyjściowy s jest sumą składowej proporcjonalnej do sygnału wejściowego y, składowej proporcjonalnej do całki i składowej proporcjonalnej do pochodnej tego sygnału:

$$s = k_1 y + k_2 \int_0^t y dt + k_3 \frac{dy}{dt}. \tag{28}$$

Funkcja przejścia takiego regulatora ma postać

$$K(p) = k_1 + k_2 \frac{1}{p} + k_3 p. \tag{29}$$

Współczynniki k_1, k_2, k_3 nazywamy odpowiednio współczynnikami wzmocnienia, całkowania i różniczkowania.

6. STABILNOŚĆ UKŁADU ZE SPRZĘŻENIEM ZWRTONYM

Zajmiemy się teraz zbadaniem stabilności układu przedstawionego na rysunku 2. Chcemy określić, kiedy współczynniki efektywności produkcji będą utrzymywane na stałym poziomie; kiedy nie będą ulegały gwałtownym zmianiom i wahaniom. Odpowiedź na to pytanie daje automatyka [4], [7], [9]. Należy obliczyć wyznacznik macierzy 1+AK z równania (21) i przyrównać go do zera. "1" oznacza tutaj macierz jednostkową, a 1+AK jest macierzą zapisaną w postaci operatorowej, ponieważ elementy macierzy K są transformatami Laplace'a Carsona.

$$\det(1 + AK) = 0. \tag{30}$$

Warunkiem koniecznym i wystarczającym stabilności jest, by części rzeczywiste pierwiastków zespolonych równania charakterystycznego (3) były ujemne

$$\mathrm{Re}\, p_j < 0. \tag{31}$$

Stabilność można też zbadać bez wyznaczania pierwiastków zespolonych. Należy wtedy sprawdzić, czy jest spełnione kryterium Hurwitza. Mówi ono, że warunkiem koniecznym i wystarczającym stabilności jest, by wszystkie współczynniki wielomianu równania

charakterystycznego (30) były dodatnie oraz by wszystkie minory Hurwirtza utworzone z tych współczynników były dodatnie [9].

Jeżeli warunki Hurwitza zostaną spełnione, to efektywność produkcji możemy oceniać wtedy jako dobrą.

7. ZAKOŃCZENIE

W pracy tej zaprezentowano inne podejście do oceny efektywności produkcji przedsiębiorstwa. Wykorzystano metody automatyki kompleksowego sterowania dla układów o wielu wejściach i wielu wyjściach. Zastosowano ujemne sprzężenie zwrotne do stabilizacji wybranych wskaźników efektywności na wyjściu układu. Stabilność układu ze sprzężeniem zwrotnym oceniano na podstawie badania pierwiastków zespolonych równania charakterystycznego lub też na podstawie spełnienia kryterium Hurwitza.

W pracy tej zastosowano analogię między układem automatyki o wielu wejściach i wielu wyjściach a wybranym interesującym nas fragmentem dzialalności przedsiębiorstwa. W odniesieniu do przedsiębiorstwa zaprezentowane tutaj metody uznać można za teoretyczne, natomiast w automatyce są one powszechnie stosowane. Ujemne sprzężenie zwrotne jest od wielu lat znane i wykorzystuje je się w bardzo dużo układach automatyki. Jest wiele typowych regulatorów stosowanych z powodzeniem w przemyśle.

Metody zaprezentowane w tej pracy można łatwo zastosować do układów automatyki, ponieważ działanie elementów automatyki jest znane i można je opisać wzorami matematycznymi. W sterowaniu przedsiębiorstwem głównie udział biorą ludzie. Reakcje ludzi i ich działania jest trudno opisać w sposób formalny jakimś wzorem. W dalszych pracach z tej dziedziny będziemy się starali nadać aspekt praktyczny tym rozważaniom w odniesieniu do przedsiębiorstwa. Z uwagi na to, że człowiek w tym ujęciu ma reagować na zwiększenie się lub na zmniejszenie sygnałów na wyjściu układu wydaje się, że jest możliwy, przynajmniej przybliżony opis formalny całego zagadnienia.

LITERATURA

[1] Adamczyk S., Tomkowiak T.W.: Kontrola wewnętrzna w przedsiębiorstwie w warunkach gospodarki rynkowej. Polska Fundacja Promocji Kadr, Warszawa 1990.

[2] Chmiela A., Kozyra J., Przybyła H.:Organizacja i ekonomika w projektowaniu eksploatacji węgla kamiennego. Skrypt Pol. Śl. Górnictwo Nr 1546, Gliwice 1992.

[3] Ditkin W.A., Prudnikow A.P.: Przekształcenia całkowe i rachunek operatorowy. PWN, Warszawa 1964.

[4] Findeisen W.: Technika regulacji automatycznej. PWN, Warszawa 1965.

[5] Greń J.: Statystyka matematyczna. Modele i zadania. PWN, Warszawa 1982.
[6] Mańczyk K.: Metody identyfikacji wielowymiarowych obiektów sterowania, WNT, Warszawa 1971.
[7] Nowacki P., Szklarski ., Górecki M.: Podstawy teorii regulacji automatycznej, PWN, Warszawa 1958.
[8] Pacek J., Skarżyński G.: Jak czytać bilans firmy? Standard firm zachodnioeuropejskich. Poltext-Zam. Polska Fundacja Promocji Kadr. Warszawa 1990.
[9] Węgrzyn S.: Podstawy automatyki. PWN, Warszawa 1974.

Recenzent: prof.dr hab. inż. **Włodzimierz Sitko**
Wpłynęło do Redakcji w kwietniu 1993 r.

Abstract

This paper deals with an analysis of an enterprise activity with regard to its production effectiveness. That effectiveness is evaluated by means of effectiveness indices. From the whole activity of an enterprose we isolate one fragment interesting for us, connected with specified indices of production effectiveness. Generally we assume that the effectiveness of a selected fragment of production is characterized by m indices $y_i,...y_m$. N factors $x_1.,,,x_n$ have effect on these indices. The influence of factor x_j on the quantity of index y_i is not precisely known in general. The system of indeces $y_i,...y_m$ and factors $x_i,...x_n$, together with their connections is treated as a "black box" of unknown operation. We assume with a ceratain approximation that the relationhip between y_i and x_j is linear. Formula (4) shows that dependence. n order to identify such a system of both many inpust and outputs, the least square method is used [6], [9]. Identification is dealt with in chapter 3. K measurements of vectors X and Y are taken and then measurment matrices X_p and Y_p are formed. They are determined by formulae (6) and (7). The wanted matrix A from formula (4) is given by fromula (13) being the result of identification.

Chapter 4 deals with an object control while making use of negative feedback. At the output of that object there are selected effectiveness indices $y_1,...y_m$, and at the input factors $x_1,...x_n$. Control unit K, the so - called "regulator", has been joined to that object forming a negative fedback. It has been shown in figure 2. Formula (21) shows the relationship between vector X of input signals of the system with the feedback and vector Y of output signals.

Chapter 5 presents types of regulators most frequently found in automatics.

Chapter 6 deals with the stability of systems with feedback [9]. Meeting stability conditions influences the positive evaluation of production effectiveness.