ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1972

Seria: GÓRNICTWO z. 52 Nr kol. 332

Krystian Kalinowski

PRZYCZYNEK DO TEORII KOMPLEKSOWEJ AUTOMATYZACJI STEROWANIA ZAKŁADEM MECHANICZNEJ PRZERÓBKI WĘGLA

Streszczenie: Dla teorii kompleksowej automatyzacji sterowania w stanie ustalonym zakładu wzbogacenia określono zbiory sygnałów mierzalnych i sterowalnych, zbiory sygnałów mierzalnych i niesterowalnych, zbudowano ogólny model zakładu wzbogacenia węgla, określono cel sterowania. Podano również metody znalezienia optymalnego wektora sterującego.

Procesy wzbogacenia i przeróbki węgla charakteryzują się udziałem dużej ilości zespołów maszynowych, jak również dużą złożonością wpływu wielu czynników na efekty końcowe. Powiększenie czasu efektywnej pracy ciągów maszynowych jak i efektów ekonomicznych nie jest możliwe przy dotychczasowych metodach charakteryzujących się brakiem szybkiej informacji i wykorzystania jej w celu podejmowania optymalnych decyzji prowadzenia procesów przeróbczych. Polepszenie aktualnego stanu wymaga wprowadzenia systemów i metod kompleksowej automatyzacji. W pracy oparto się na teorii kompleksowej automatyzacji sterowania podanej w [1] i [2].

W zagadnieniach kompleksowej automatyzacji sterowania można wyróżnić następujące zbiory sygnałów [1]:

a) zbiór sygnałów mierzalnych i sterowalnych zapisane wektorem

$$\bar{u} = (u_1, u_2 \dots u_e),$$

b) zbiór sygnałów mierzalnych i niesterowalnych

$$\bar{v} = (v_1, v_2 \dots v_k),$$

c) zbiór sygnałów niemierzalnych i niesterowalnych

$$\bar{z} = (z_1 \dots z_l).$$

Konstrukcja modelu matematycznego procesu polega na znalezieniu zależności występujących między zbiorami sygnałów a wskaźnikami procesu, co można napisać:

$$y = F(\bar{u}, \bar{v}, \bar{z})$$

Cel sterowania można wyrazić jako dokonanie pewnych operacji matematycznych na wskaźnikach procesów y

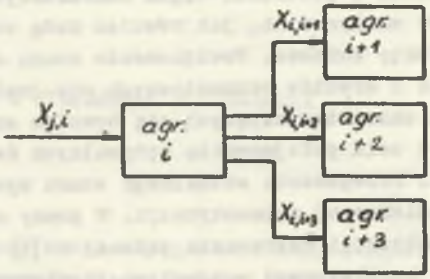
$$\underset{u}{\blacktriangle}(y)$$

Wybrane zmienne $\bar{u}$ oznaczono przez $\bar{u}_{opt.}$. Do realizacji operacji matematycznych sterowania stosuje się tu zazwyczaj maszynę cyfrową, której zadaniem przy kompleksowym sterowaniu jest wyznaczenie $u_{opt.}$ w zależności od sygnałów mierzalnych.

W zakładach wzbogacenia występują głównie trzy rodzaje procesów technologicznych; rozdział, mieszanie i magazynowanie.

Procesy rozdziału obejmują klasyfikację, wzbogacenie, rozdrabnianie, odwadnianie.

Przebieg strumieni w procesie rozdziału można przedstawić jak na rys. 1 L (3).



Rys. 1. Obraz strumieni w procesie rozdziału dla i-tego agregatu

Dla idealnego procesu rozdziału równania opisujące rozkład strumieni są następujące:

$$x_{ji} - x_{i,i+1} - x_{i,i+2} - x_{i,i+3} = 0,$$

$$x_{ji}\, a_{i,i+1} - x_{i,i+1} = 0, \qquad (1)$$

$$x_{ji}\, a_{i,i+2} - x_{i,i+2} = 0,$$

$$x_{j,i}\, a_{i,i+3} - x_{i,i+3} = 0,$$

gdzie:

x_{ji} – strumień wychodzący z j-tego agregatu i wchodzący do i-tego agregatu

$a_{i,i+1}$ – współczynnik rozdziału dla strumienia $x_{i,i+1}$.

Jak widać, w przypadku odealnego rozdziału ilość nadawy przychodzącej na jednostkę czasu agregat przeróbczy zostaje rozłożona na trzy składowe o stałym stosunku ilościowym $a_{i,i+1} : a_{i,i+2} : a_{i,i+3}$, przy czym

$$a_{i,i+1} + a_{i,i+2} + a_{i,i+3} = 1 \tag{2}$$

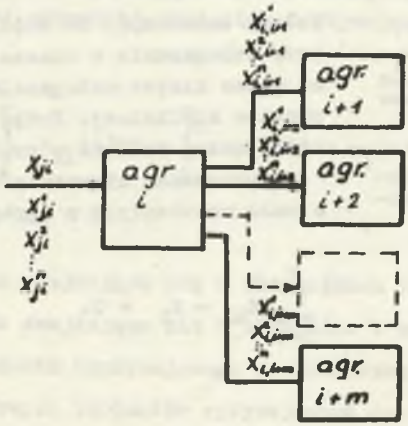
Uogólniając, gdy nadawa przychodząca na i-ty agregat, w którym następuje idealny proces rozdziału na n składowych można napisać układ równań określający rozkład strumieni.

$$\begin{aligned} x_{ji} - \sum_{k=1}^{n} x_{i,i+k} &= 0, \\ a_{i,i+1}\, x_{ji} - x_{i,i+1} &= 0, \\ a_{i,i+2}\, x_{ji} - x_{i,i+2} &= 0, \\ a_{i,i+n}\, x_{ji} - x_{i,i+n} &= 0, \end{aligned} \tag{3}$$

gdzie:

$$\sum_{k=1}^{n} a_{i,i+k} = 1.$$

Przy wielu agregatach przeróbczych istnieje możliwość zmiany stosunku ilościowego składowych.

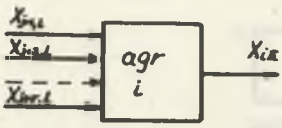


Rys. 2. Obraz strumieni w procesie rozdziału z uwzględnieniem możliwości przerobienia nadawy i-tego agregatu z różnymi sposobami

Nadawę przychodzącą na agregat można podzielić na części i przerabiać je w różny sposób, przy różnych stosunkach ilościowych składowych (rys. 2). Zatem równania rozkładu strumieni mają następującą postać:

$$
\begin{aligned}
& x_{j,i} - \sum_{k=1}^{n} x_{ji}^{k} = 0, \\
& x_{ji}^{k} - \sum_{l=1}^{m} x_{i,i+l}^{k} = 0, \\
& a_{i,i+1}^{k}\, x_{j\,i}^{k} - x_{i,i+1}^{k} = 0, \\
& a_{i,i+2}^{k}\, x_{ji}^{k} - x_{i,i+2}^{k} = 0 \\
& \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\
& a_{i,i+m}^{k}\, x_{ji}^{k} - x_{i,i+m}^{k} = 0 \\
& \sum_{l=1}^{m} a_{i,i+l}^{k} = 1,
\end{aligned}
\tag{4}
$$

gdzie: k = 1,2 ... n - oznacza ilość różnych sposobów produkcji w tym samym agregacie przeróbczym, m - ilość składowych rozdziału agregatu przeróbczego.



Rys. 3. Obraz strumieni w procesie mieszania

Należy zaznaczyć, że współczynniki $a_{i,i+l}^{k}$, np. przy wzbogacaniu w cieczach ciężkich są określone przez krzywe wzbogacalności. Pozostaje zatem problem nieliniowy. Próbę rozwiązania tego problemu można znaleźć w pracy [4].

W procesach mieszania (rys. 3) równania strumieniu wchodzących z agregatu mają postać:

$$\sum_{i=1}^{r} x_{il} - x_{l} = 0. \tag{5}$$

W procesach tych istotna jest jakość otrzymanej mieszaniny, co można wyrazić równaniem:

$$\sum_{i=1}^{r} y_i x_i - y \sum_{i=1}^{r} x_i = 0, \tag{6}$$

gdzie:

y_i - ilość (wyrażona w postaci ułamka) składowej odpowiedzialnej za jakość składowej x_i,

y - pożądana ilość składnika (wyrażona w postaci ułamka odpowiedzialna za jakość mieszaniny,

$x_i = \int_0^{T_d} x_{il}\, dt$ dla $x_{il}(t) = \text{const}$

otrzymujemy:

$$x_i = x_{il} \cdot T_i \tag{7}$$

T_i - okres pracy zakładu,

r - liczba składowych produktów wchodzących w skład mieszaniny.

Należy zaznaczyć, że znak równości w (6) można zastąpić przez znak nierówności $<$ lub $>$.
W pierwszym przypadku znak $<$ oznacza maksimum zawartości danego składnika, znak $>$ oznacza zadanie minimum zawartości danego składnika.

Procesy magazynowania występują przy magazynowaniu produktów zakładu w zbiornikach. Są one związane zazwyczaj z procesami mieszania.
Równania opisujące ten proces wyrażają masę substancji znajdującej się w zbiorniku w zależności od strumieni produktów dopływających i odpływających.

$$m_l = \sum_{i=1}^{r} \int_0^{T_i} x_{il}(t)dt - \int_0^{T_i} x_l(t)dt + m_l(o), \tag{8}$$

gdzie:

m_l - masa produktu znajdująca się w zbiornikach l

$m_l(o)$ - masa produktu znajdująca się w zbiorniku l na początku,

$x_{lp}(t)$ - strumień produktu wypływającego ze zbiornika L

r - liczba składowych produktów wpływających do zbiornika L,

dla $x_{il}(t)$ = const, $x_{lp}(t)$ = const równanie sprowadzi się do postaci:

$$m_L = \sum_{i=1}^{r} T_i x_{il} - x_{ls} T_l + m_l(o). \tag{9}$$

Ograniczenia występujące przy sterowaniu procesem wzbogacenia mają charakter techniczny i ekonomiczny.
Ograniczenia techniczne związane są z ograniczoną wydajnością maszyn i agregatów przeróbczych, ograniczoną pojemnością zbiorników. Można to ująć za pomocą następujących nierówności:

$$\sum_{q=1}^{n} b_{jp} x_{jp} \leqslant t_j, \tag{10}$$

gdzie:

x_{jp} - przerób agregatu j w czasie realizacji sposobu p

b_{jp} - czasokres, w którym zostaje przerobiona jednostka ilościowa agregatu j przy sposobie p,

tj - odstęp czasu, w ciągu którego mają zostać realizowane sposoby p = 1,2, ... n

$m_j < M_j$, gdzie M_j - pojemność w jednostkach masy zbiornika j.

Ograniczenia ekonomiczne można zazwyczaj przedstawić za pomocą nierówności:

$$x_j \geqslant A_j, \tag{12}$$

gdzie x_j ilość produktu końcowego j przypadającego na jednostkę czasu

A_j - odbiór na j - ty produkt

Celem sterowania mogą być wskaźniki techniczne lub ekonomiczne. Jasne jest, że celem sterowania zakładem wzbogacenia powinny być efekty ekonomiczne, a więc maksymalizacja dochodów. Funkcję docelową znajdzie się wtedy, gdy od dochodów uzyskanych każdorazowo z produktów końcowych odejmiemy koszty związane z wyprodukowaniem tych produktów.

Można to napisać następującymi równaniami:

$$x_l - \sum_{q=1}^{W} x_{lq} = 0, \tag{13}$$

$$\sum_{l=\alpha+1}^{\beta} C_l x_l + \sum_{l=\beta+1}^{S} \sum_{q=1}^{W} C_{lq} x_{lq} - \sum_{i=1}^{\alpha} d_l x_l = \max, \tag{14}$$

Równanie 8 i 9 uwzględnia możliwość otrzymania za jednostkę tych samych produktów $l = +1, \ldots S$ różnych cen sprzedaży C_{lq}. α_l - koszty związane z wyprodukowaniem jednostki produktu x_l. Nie uwzględniając tego faktu funkcja celu sprowadza się do postaci:

$$\sum_{l=1}^{S} C_l x_l - \sum_{i=1}^{\alpha} d_l x_l = \max, \tag{15}$$

przy czym x_l jest ilością nadawy przychodzącą na agregat przeróbczy gdy $l = 1,2 \ldots \alpha$ i ilością produktu końcowego, gdy $l = \alpha + 1, \alpha + 2, \ldots, S$.

Dochód z produkcji zależy od odpowiednich własności dotyczących takich jak: wielkość granulacji, zawartość popiołu, wody itp. Właściwości te są możliwe do regulacji. Istnieje zatem możliwość przedstawienia dochodów jako funkcji właściwości produktów zakładu wzbogacenia.
Zmienne te będą zatem wskaźnikami procesu wzbogacenia i uwzględnione one są w równaniach (6).

Przeróbka węgla surowego przebiega normalnie w formie ciągłej produkcji. Zmiany technicznych warunków w czasie trwania procesu przeróbczego na danym agregacie powoduje zmianę stosunku ilościowego strumieni równania (4), jak również własności składników wyjściowych. Sterowanie zakładem wzbogacania będzie wtedy tylko możliwe, kiedy same poszczególne agregaty maszyn i dalsze urządzenia przeróbcze pozwalają na zmianę ilości nadawy, np. nadawa dochodzi ze zbiorników, zmiana ilościowa może nastąpić przez czasowe ilościowe dopasowywanie. Najczęściej istnieje możliwość przy stałym czasie pracy oraz stałej szybkości maszyny, regulacji ilości nadawy od zera do wartości maksymalnej (np. przy łamaczach, siłach, urządzeniach transportowych, przy urządzeniach z cieczą ciężką oraz przy osadzarkach).
Te wielkości fizyczne, które umożliwiają regulację nadawy przychodzącej na agregaty zakładu oznaczymy przez u_{ji}. Można więc napisać, że

$$x_{ji} = f(u_{ji}),$$

gdzie: ji takie znaczniki, które określają strumienie możliwe do regulacji.

Te wielkości fizyczne, które powodują zmianę własności produktów wyjściowych z agregatów przeróbczych oznaczono przez u^*_{kl}. Można również napisać, że przy stałej nadawie na agregat

$$x_{kl} = g(u^*_{kl})$$

jak i

$$y_{kl} = h(u^*_{kl})$$

Jako przykład tych wielkości można podać ciężar właściwy cieczy ciężkiej w wzbogacalnikach z cieczą ciężką, wielkość szczeliny wypustowej w urządzeniach zdrabniających itp.

Należy zaznaczyć, że

$$u^1_{ji} \leq u_{ji} \leq u^2_{ji}, \quad u^{*1}_{kl} \leq u^*_{kl} \leq u^{*2}_{kl},$$

gdzie u^1_{ji}, u^2_{ji} $u^{*1}_{k,l}$, u^{*2}_{kl} - minimalne i maksymalne wartości sygnałów.

Wielkości fizyczne u_{ji} jak i u^*_{kl} przyjmuje się jako sygnały mierzalne i sterowalne.

Jako wielkości mierzalne i niesterowalne przyjmuje się w ilości różnych rodzajów węgla surowego, który ma być przerobiony w określonym okresie przez zakład przeróbczy.

$$v_k = m_k = x^k_{j,i} T_k,$$

gdzie:

k - oznaczono rodzaj węgla surowego

Tk - okres czasu przerobu węgla k.

Do tego zbioru sygnałów zaliczyć trzeba wielkości A_j z nierówności (12)

$$v'_j = A_j$$

i stan początkowy charakteryzowany przez masy produktów w zbiornikach z poprzedniego okresu

$$v'_i = m_i(o)$$

Został więc określony zbiór sygnałów mierzalnych i sterowalnych $\bar{u}$, zbiór sygnałów mierzalnych i niesterowalny.

Model procesu wzbogacania w zakładzie określony jest przez układy równań: (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), przy czym strumienie występujące w równaniach powinny być większe lub równe zeru. Cel sterowania sformułowany jest przez równanie (13) i (14).

Ogólny problem sterowania zakładu wzbogacania polega na tym, aby znając zbiór sygnałów mierzalnych i niesterowalnych $\bar{v} = \{\bar{v}_k, v'_j, v''_i\}$ i określonym modelu reprezentowanym przez równania (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), znaleźć zbiór wartości $\bar{u} = \{u_{j,i}, u^*_{kl}\}$ tak, aby maksymalizować funkcję celu (14).

Jeżeli wartości u^*_{kl} są stałe i nie są zmieniane podczas sterowania zagadnienie sprowadza się do znalezienia zmiennych u_{ji}.

Jak można zauważyć, równania (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7) są liniowe, funkcja celu jest również formą liniową. Znalezienie więc zmiennych u_{ji} wymaga stosowania metod programowania liniowego.

Znalezienie wektora $\bar{u}$ w postaci $u = (u_{ji}, u_{kl})$ jest zagadnieniem znacznie bardziej skomplikowanym. Równania np. (4) mają charakter nieliniowy, a współczynniki są funkcjami strumieni wyjściowych, (związane to jest np. z krzywymi wzbogacalności). Trzeba w tym wypadku stosować metody programowania nieliniowego. Częściowo taki problem został przedstawiony w pracy (4) i rozwiązany stosując ogólną zasadę optymalności R. Belmana.

LITERATURA

1. Węgrzyn S., Podstawy automatyki kompleksowej. PAN 1968.
2. Górny A., Wołek S., Struktura kompleksowych systemów sterowania i teoria oprogramowania jednostek centralnych. Materiały konferencyjne "Automatyzacja i cybernetyka w górnictwie" Katowice 1971.
3. Meyer M., Stahlberg W., Kurzfristige Produktionsplanung in Steinkohlenaufbereitungsanlagen mit Hilfe eines mathematischen Modells. Bergbauwissenstraften nr 5 1966.
4. Kalinowski K., Zastosowanie maszyny cyfrowej do określenia optymalnych warunków wzbogacenia kopalin. ZN Pol.Śl. "Górnictwo" nr 41 1969.

ПРИЛОЖЕНИЕ К ТЕОРИИ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАВОДОМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЯ

Р е з ю м е

Для теории комплексной автоматизации управления в установленном состоянии завода обогащения определено своды измерительных и управляемых сигналов, своды измерительных и неуправляемых сигналов, построили общую модель завода обогащения угля, определили цель управления. Кроме того разработали тоже методы нахсда оптимального управляемого вектора.

THE VONTRIBUTION TO THEORY OF COMPLETE AUTOMATIC STERING FOR INDUSTRIAL WOCKS OF MECHANICAL RECAST COAL

S u m m a r y

For the theory of allround awtomation of steering in a stabilized state of the concentrating institution assemblages of measurable and dirigible signals, assemblages of measurable and undirigible signals are defined. A general model of an institution concentrating coal is built, the aim of steering is determined methods of finding an optimum steering vector are given.