

KRZYSZTOF GOSIEWSKI

Katedra Urządzeń Automatyki

PRZEGLĄD STOSOWANYCH UKŁADÓW OPTYMIZACJI  
Z ZASTOSOWANIEM MASZYNY CYFROWEJ

**Streszczenie.** Artykuł obejmuje przegląd układów przemysłowych w których maszyny cyfrowe służą do obliczania algorytmu sterowania w celu uzyskiwania optymalnego przebiegu procesu. Oprócz krótkiego omówienia struktury stosowanych układów, artykuł zawiera dyskusję pewnych problemów z zagadnień pomiarów, przetwarzania danych oraz programowania dla układów przemysłowych z maszyną cyfrową.

W końcowej części zawiera przykłady kilku praktycznych zastosowań przemysłowych w chemii i energetyce.

Dążenie do uzyskania optymalnego przebiegu procesów przemysłowych spowodowało rozwój układów regulacji kompleksowej z zastosowaniem maszyn matematycznych. W ostatnich latach notuje się wzrost zastosowań maszyn cyfrowych do tych celów.

Wybór alternatywy przelicznika<sup>x)</sup>, analogowy czy cyfrowy, podejmuje się w zależności od następujących czynników:

1. Koniecznej częstotliwości dokonywania pomiarów i ingerowania w przebieg procesu.
2. Postaci równania opisującego obiekt.
3. Ilości punktów pomiarowych koniecznych w celu wprowadzenia dostatecznej ilości informacji do przelicznika.
4. Żądanej dokładności regulacji.

---

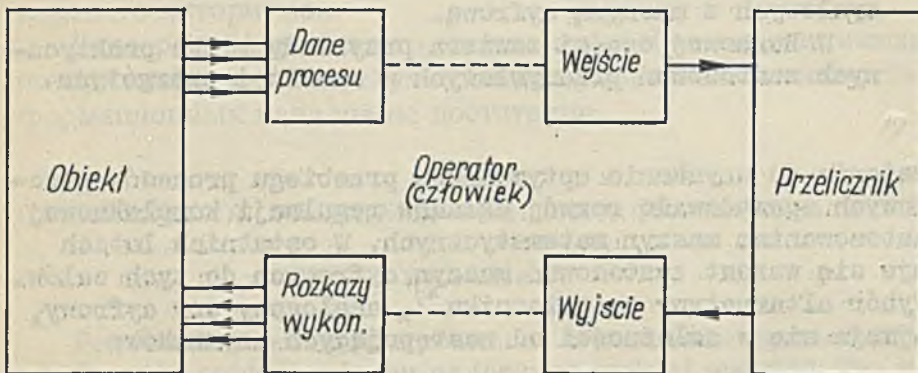
<sup>x)</sup> W dalszym ciągu artykułu zamiast terminu "maszyna matematyczna" stosuję termin krótszy "przelicznik".

W układach optymalizacji przelicznik może pracować zasadniczo na dwa sposoby:

### 1. Przelicznik nie sprzężony z obiektem (off-line computer)

Przelicznik nie jest stałe sprzężony z obiektem, lecz podawanie danych i odbieranie rozkazów wykonawczych od przelicznika (oraz wykonywania tych rozkazów) dokonuje człowiek. Ten sposób pracy przelicznika w literaturze zachodniej nazywany jest "off - line computer" (rys.1).

Ten sposób pracy przelicznika stosowany jest przy procesach wolnozmiennych, w których częstotliwość występowania zakłóceń jest rzędu dni lub tygodni. Przelicznik pracujący w tym systemie może być, w celu pełnego wykorzystania, dodatkowo używany do dokonywania obliczeń biurowych lub konstrukcyjnych.

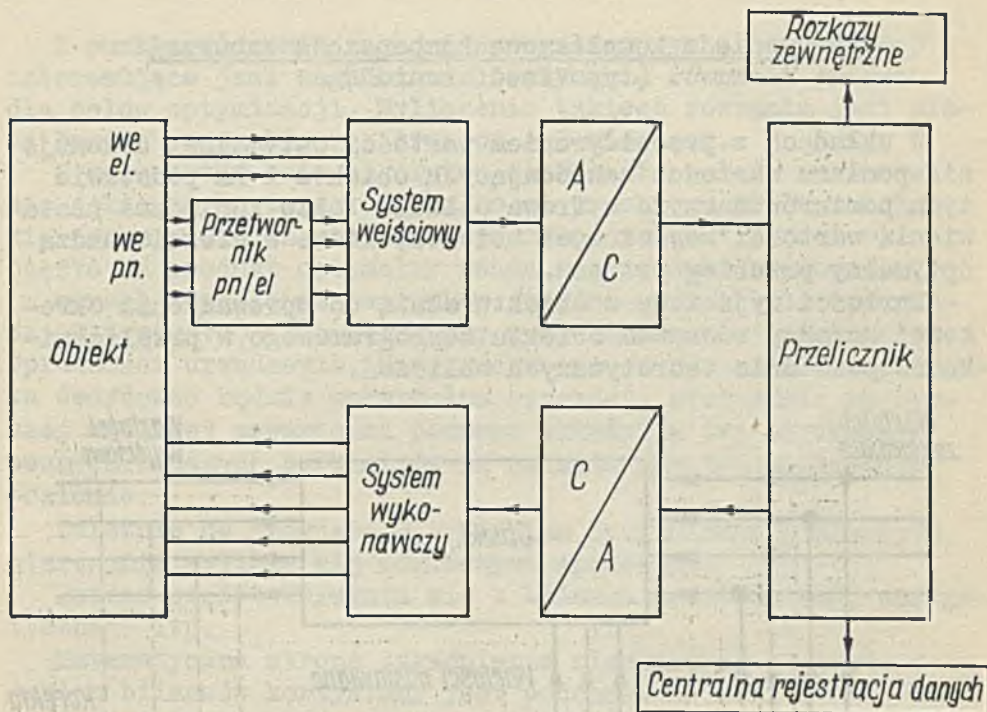


Rys.1

W systemie "off - line" stosuje się prawie wyłącznie maszyny cyfrowe.

### 2. Przelicznik sprzężony z obiektem (on - line computer)

Stałe sprzężenie przelicznika z obiektem przy pomocy systemu przetwarzania informacji i systemu elementów wykonawczych ("on - line computer") (rys.2).



Rys. 2

W dalszej części zajmować się będziemy jedynie układami pracującymi z użyciem maszyn cyfrowych. Ze względu na konieczność stałego powiązania przelicznika z obiektem niezbędne jest posiadanie całego szeregu elementów, które zapewniłyby takie przetwarzanie danych, aby można je było wprowadzać na przelicznik oraz rozkazy z przelicznika realizować na obiekcie, przez zmiany parametrów procesu. Wszystkie dane wyjściowe z obiektu muszą być przetwarzane na zunifikowany sygnał elektryczny, który z kolei wprowadzony na przetwornik analogowo-cyfrowy zostanie zamieniony na sygnał cyfrowy. Podobnie sygnały cyfrowe otrzymane na wyjściu z maszyny, muszą być przetworzone na wygodny do wykorzystania analogowy sygnał elektryczny. Zagadnienie pomiarów i przetwarzania danych omówione zostanie w dalszej części.

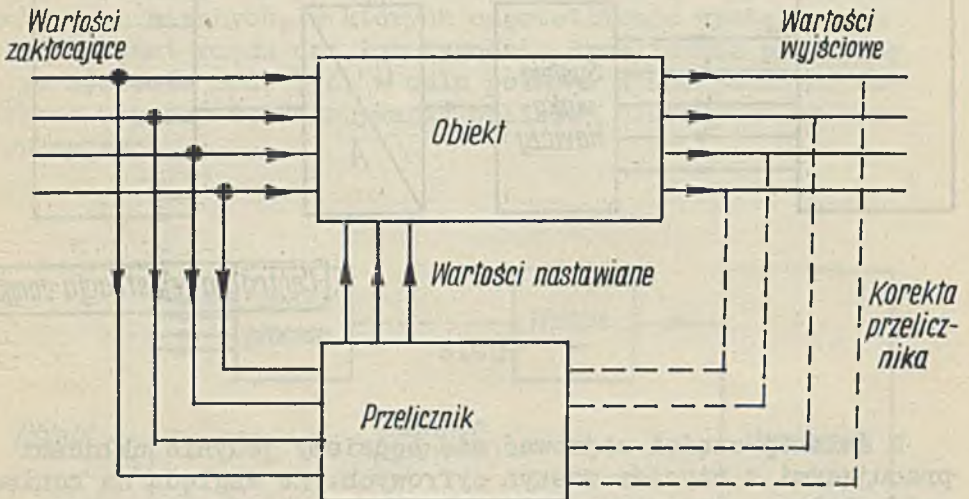
Układy typu "on - line" z maszynami cyfrowymi dzieli się na:

- 1) Układy z przewidywaniem warunków optymalnych (typ "feedforward"), czyli kompleksowa kompensacja zaburzeń
- 2) Układy z szukaniem wartości optymalnej (typ "feedback") czyli kompleksowe sprzężenie zwrotne.

Sterowanie z kompleksową kompensacją zaburzeń  
(typ "feedforward")

W układach z przewidywaniem wartości optymalnej dokonuje się pomiaru wartości zakłócających obiektu i na podstawie tych pomiarów maszyna cyfrowa oblicza takie konieczne nastawienia wartości wejściowych obiektu, które w efekcie dadzą optymalny przebieg procesu.

Wartości wyjściowe z obiektu służą do wprowadzenia okresowej korekty równania obiektu zaprogramowego w przeliczniku na podstawie teoretycznych obliczeń.



Rys.3

Dla sterowania w systemie "kompensacji" opracowano schemat, który obejmuje 4 następujące kroki:

1. Wstępne studium procesu w celu oceny korzyści ekonomicznych jakie może dać sterowanie przy pomocy przelicznika.
2. Dokładna analiza procesu z wyliczeniem równań procesu (algorytmu sterowania).
3. Zainstalowanie przelicznika, ustawienie programu pracy i uruchomienie.
4. Nadzór ruchowy i ocena efektów osiągniętych przez zastosowanie przelicznika.

Z punktu widzenia zagadnień regulacyjnych, najbardziej interesujące jest zagadnienie otrzymania równania procesu dla celów optymalizacji. Wyliczenie takiego równania jest pracą bardzo czasochłonną: trwa od 4-8 miesięcy.

W celu ustawienia algorytmu sterowania należy zastanowić się jakie są kryteria optymalności przebiegu procesu lub jakie cechy powinien posiadać optymalny produkt wyjściowy. Często za produkt optymalny uważa się produkt najtańszy (w ramach określonych warunków jakościowych, które wymagane są od produktu) lub otrzymany przy zachowaniu największej sprawności urządzenia. Niejednokrotnie o optymalności produktu decydować będzie maksymalna czystość, otrzymanie najwyższej możliwej zawartości pewnego składnika lub otrzymanie pewnych żądanych parametrów na maksymalnym lub minimalnym poziomie.

Zależnie od przyjętego kryterium optymalności, algorytm sterowania wylicza się odmiennymi sposobami.

Bardzo często korzysta się z bilansu kosztów, mas, energetycznego itp.

Matematyczna strona zagadnienia niezależnie od tego, z jakich bilansów korzystamy jest podobna.

Na podstawie bilansowania wyliczamy równanie modelowe, które w zasadzie jest dopiero pierwszym przybliżeniem procesów rzeczywistych w obiekcie i wymaga stałej korekty przez porównywanie ze stanem faktycznym. Korekty te wprowadza się wykorzystując wartości wyjściowe z obiektu i przez porównywanie ich z wartościami wyliczonymi przez przelicznik, otrzymujemy możliwości korekty współczynników równania. Korektę tę na ogół wykonuje się automatycznie.

#### Przykład uzyskiwania równania modelowego na podstawie bilansu kosztów

W celu otrzymania równania modelowego należy postępować wg następujących wytycznych:

1. Ułożenie równania zysku.
2. Opis granic i ograniczeń procesu.
3. Opis funkcjonalnych zależności między poszczególnymi zmiennymi procesu.

Równanie zysku:

Zysk = całkowity dochód - całkowity wydatek

$$Z = \sum_{i=1}^n V_{pi} P_i - \sum_{i=1}^m V_{Fi} F_i - F_0 \quad (1)$$

Z - zysk

$P_i$  - ilość i-tego produktu wyjściowego

$F_i$  - ilość i-tego produktu wejściowego

$V_{pi}$ ,  $V_{Fi}$  - odpowiednie ceny jednostkowego (wzgl. wartości)

$F_0$  - koszty stałe.

Następną czynnością po ułożeniu równania zysku jest podział zmiennych na 3 grupy:

1. zmienne niezależne  $x_i$ ,
2. zmienne zależne  $y_i$ ,
3. zmienne zewnętrzne (zadawane z zewnątrz)  $z_i$ .

Trzecią grupę zmiennych tzn. zmienne zewnętrzne można określić ściśle i jednoznacznie, gdyż jest ona na ogół łatwa do wyodrębnienia, określona przez warunki zadawane z zewnątrz, natomiast rozdział na zmienne zależne i niezależne jest trudniejszy, gdyż mając najczęściej do czynienia z wartościami powiązаныmi ze sobą funkcyjnie, musimy zdecydować, które uznamy za niezależne.

Na ogół w równaniu zysku w systemie "feedforward", wartości wejściowe  $P_i$  uznaje się za niezależne zaś wyjściowe  $F_i$  za zależne, wartości  $V_{pi}$  i  $V_{Fi}$  traktujemy jako zmienne zewnętrzne. Koszty stałe  $F_0$  pomija się, gdyż nie mają one wpływu na optimum. Każda zmienna zależna  $y_i$  da się przedstawić jako pewna funkcja zmiennych  $y_i$  i  $z_i$

$$y_i = f_i(z_1, z_2, \dots, x_1, x_2, \dots) \quad (2)$$

Jeżeli wartości  $y_i$  wstawimy do równania zysku to otrzymamy

$$Z = \varphi_i(z_i, x_i) \quad (3)$$

Obliczając poszczególne pochodne cząstkowe

$$\frac{\partial z}{\partial x_i} = 0 \quad (4)$$

znajdujemy ekstremum zysku ze względu na wartość  $x_i$ , sprawdzając

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x_i^2} \geq 0$$

możemy stwierdzić czy mamy do czynienia z maksimum czy minimum zysku.

Bardzo istotną sprawą jest znalezienie funkcji (2). Funkcje te otrzymuje się z analizy przebiegu fizykalnego procesu, cenną pomocą w tym przypadku może być bilans energetyczny lub masowy.

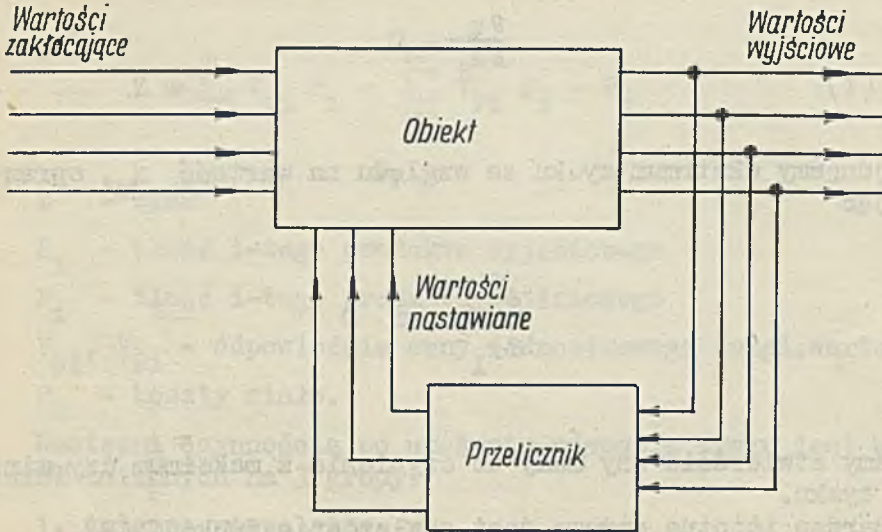
W przypadku, kiedy obliczamy optimum sprawności urządzenia wychodząc na przykład z bilansu cieplnego, sposób postępowania jest analogiczny jak przy równaniu zysku.

Obliczenie optimum związane jest z całym szeregiem założeń i ograniczeń podanych na ogół w postaci liniowych nierówności, których wpływ na wartość optimum jest niezwykle istotny i nie do pominięcia. Przykład analizy takich ograniczeń podany zostanie dalej, przy rozpatrywaniu programu dla rafinerii ropy naftowej.

#### Kompleksowe sprzężenie zwrotne (typ "feedback") - System "Opcon"

Działanie systemu opartego na zasadzie sprzężenia zwrotnego polega na tym, że do obliczenia warunków optymalnych wciągane są wartości wyjściowe z obiektu.

Maszyna cyfrowa pracuje w tych układach w układzie sprzężenia zwrotnego, analogicznie do prostych układów regulacji jednoparametrowej.



Rys.4

Wyliczenie algorytmu sterowania jest sprawą podobną jak w układach "kompensacji", z tym, że rozdziału zmiennych na zależne i niezależne dokonujemy odwrotnie.

Zaletą tych układów jest to, że obliczanie algorytmu sterowania nie jest konieczne i układ może pracować na zasadzie szukania optimum metodą prób. Przelicznik w takich układach wylicza jedynie wielkości optyimizowane (np. koszt, sprawność itp.) i kieruje poszukiwaniem optimum wg założonej strategii.

Informacje na temat strategii układów optyimizacji znaleźć można w literaturze [14].

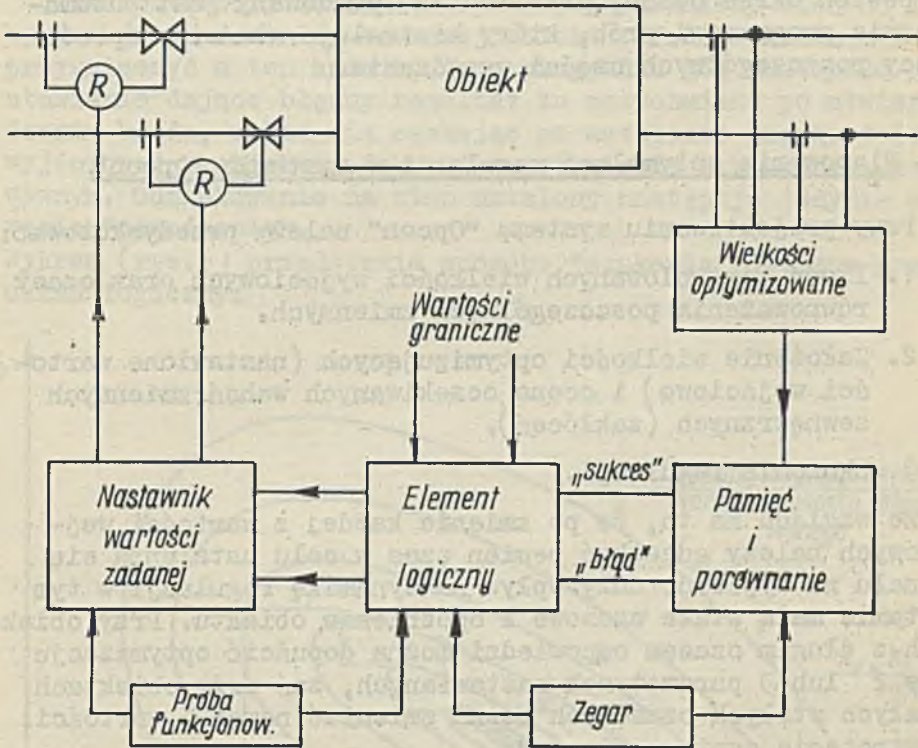
Ciekawym rozwiązaniem kontroli typu "sprzężenia zwrotnego" jest sterowanie znane pod nazwą systemu "Opcon" (Optimizing Control) (rys.5).

W systemie tym urządzenie przelicznikowe zastępuje rolę doświadczonego operatora, który nie zna wprawdzie związków matematycznych rządzących procesem, ale przez kolejne eksperymentowanie szuka nastawienia optyimizalnego.

Urządzenie logiczne w systemie "Opcon" potrafi wyciągnąć wnioski z efektów nastawień poprzednich i zależnie od tych efektów dokonywać następnej zmiany wartości nastawionych.



Maszyna ujmuje ilościowy skutek każdej operacji i wyciąga logiczne wnioski wg założonej strategii. Zasady tej strategii należy osobno zaprogramować w przeliczniku (elemente logicznym).



Rys.5

W systemie "Opcon" znajomość równania procesu jest oczywiście niepotrzebna, w związku z tym konstrukcja przelicznika jest o wiele prostsza niż w układach w których dokonujemy analizy równania procesu. Zamiast wyliczania warunków optimum, element logiczny dokonuje jedynie kilku nieskomplikowanych operacji. Działanie układu polega na tym, że dokonuje się pomiaru jednej wartości wyjściowej i następnie krokami odpowiedniej wielkości zmienia się wartości wejściowe szukając optimum zmierzonej wielkości wyjściowej, po znalezieniu optimum jednego z wyjść, w podobny sposób szuka się krokami optimum następnych wartości wyjściowych. Wydaje się że układ taki może działać prawidłowo jedynie w wypadku gdy różne wartości wejściowe mają wpływ na optimum każdego z wyjść.

Znalezienie optimum każdej z wartości wyjściowych trwa pewien czas, wobec tego, układy te stosuje się jedynie w wypadku obiektów o niewielkiej ilości sygnałów wejściowych i wyjściowych, biorących udział w optymalizacji procesu. Co pewien okres czasu, przelicznik poddawany jest automatycznie programowi prób, który kontroluje właściwy sposób pracy poszczególnych części urządzenia.

### Planowanie optymalnej regulacji w systemie "Opcon"

Przy projektowaniu systemu "Opcon" należy przedyskutować:

1. Ilość kontrolowanych wielkości wyjściowych oraz czasy równoważenia poszczególnych zmiennych.
2. Założenie wielkości optyimizujących (nastawione wartości wejściowe) i ocena oczekiwanych wahań zmiennych zewnętrznych (zakłóceń).
3. Ekonomia regulacji.

Ze względu na to, że po zmianie każdej z wartości wejściowych należy odczekać pewien czas w celu ustalenia się sygnału na wyjściu, duży wpływ na dynamikę regulacji w tym systemie mają stałe czasowe i opóźnienie obiektu. Przy obiektach z długim czasem odpowiedzi można dopuścić optyimizację przy 2 lub 3 parametrach nastawianych, zaś przy obiektach o małych stałych czasowych można zmieniać nawet 6 wartości.

Strategia systemu "Opcon".

Element logiczny przygotowany jest do działania zgodnego z pewną założoną strategią. Strategia ta, to metoda pracy układu podczas szukania warunków optymalnych, składa się ona zasadniczo z 3 elementów:

- 1) wielkości kroku,
- 2) kierunku dokonywanych nastawień,
- 3) czas między krokami.

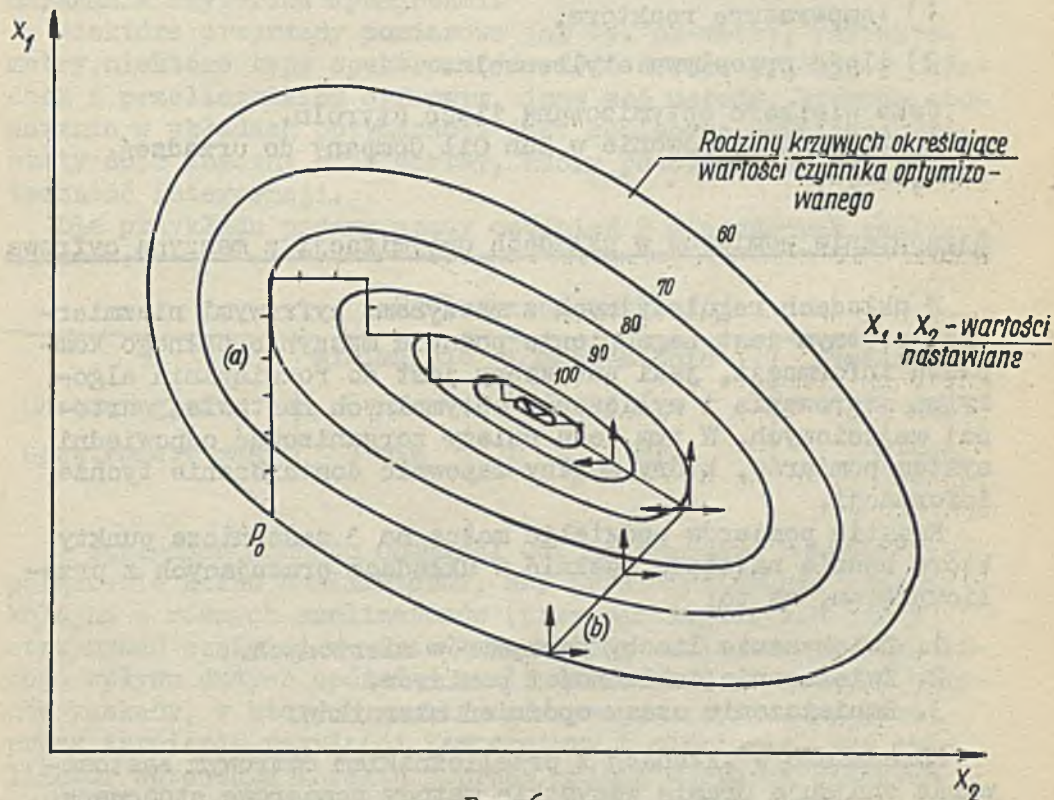
Celowym jest stosować różne wielkości kroku, zależnie od wielkości błędu podanego na układ logiczny. Podczas gdy stan układu różni się bardzo od stanu optymalnego należy dokonywać dużych zmian wartości nastawionych, natomiast w pobliżu optimum wielkość kroku powinna być znacznie mniejsza.

Wielkość kroku jest ograniczona w górę, tym, by nie wprowadzać na układ niebezpiecznych zaburzeń. Jednostka porównawcza decyduje, czy dokonane przestawienie prowadziło do

powodzenia czy do błędu. W wypadku powodzenia, następnego kroku dokonuje się w tym samym kierunku, w razie nastawienia błędnego następuje zmiana kierunku dokonywanych nastawień.

Czas potrzebny do znalezienia optimum zależy więc od liczby kroków oraz stałej czasowej obiektu. Pracę układu można przyspieszyć w ten sposób, że w przypadku gdy nastąpiło nastawienie dające błędny rezultat to natychmiast po stwierdzeniu błędu, układ nie czekając na ustalenie się wartości wyjściowej z obiektu, dokonuje nastawienia w kierunku przeciwnym. Odczekiwanie na stan ustalony następuje jedynie w razie "powodzenia".

Wykres (rys.6) przedstawia sposoby "szukania" optimum przez układ logiczny.



Rys.6

Jedną ze strategii (a) polega na tym, że po każdym posunięciu błędnym zmienia się wartość nastawiona, w pobliżu optimum zmienia się wielkość kroku, ten sposób prowadzi na

ogół do większej ilości kroków, a co za tym idzie, do dłuższego czasu pracy urządzenia. Ilość kroków da się zredukować jeżeli jednocześnie dokonuje się zmiany obu wielkości (b), przy tej metodzie konieczne jest jednak uprzednie stwierdzenie, czy oba kierunki zmian prowadzą do "sukcesu", podobnie po dokonaniu niewielkiej ilości kroków, należy każdorazowo sprawdzić kierunki zmian obu wielkości. W pobliżu optimum mniejszymi krokami zmieniamy każdą z wartości osobno.

W praktyce należy wybrać rozwiązanie kompromisowe, między ilością kroków a prostotą elementu logicznego.

Pierwsze zastosowanie systemu "Opcon" miało miejsce przy katalitycznej dehydracji etylbenzolu na styrol w firmie Dow Chemical w USA.

Jako przestawialne wartości wejściowe wybrano

- 1) temperaturę reaktora,
- 2) ilość przepływu etylbenzolu.

Jako wielkość optyimizowaną ilość styrolu.

Następne zastosowanie w Sun Oil Company do urządzeń destylacji.

### Zagadnienie pomiarów w układach optyimizacji z maszyną cyfrową

W układach regulacyjnych z maszynami cyfrowymi niezmiernie istotnym jest zagadnienie podania maszynie pełnego kompletu informacji, jaki potrzebny jest do rozwiązania algorytmu sterowania i wyliczenia optymalnych nastawień wartości wejściowych. W tym celu należy zorganizować odpowiedni system pomiarów, który mógłby zapewnić dostarczenie tychże informacji.

Kwestię pomiarów podzielić można na 3 zasadnicze punkty które będzie należało spełnić w układach pracujących z przelicznikiem, są to:

1. Zwiększenie liczby parametrów mierzonych.
2. Zwiększenie dokładności pomiarów.
3. Zmniejszenie czasu opóźnień mierników.

Zasadniczo w układach z przelicznikiem cyfrowym zastosowanie znajdują prawie wszystkie metody pomiarowe stosowane w układach konwencjonalnych, z tym, że istotną sprawą jest używanie metod pomiarowych obarczonych jak najmniejszym błędem. W układach optyimizacji zwrócić należy szczególną uwagę na sprawę analizatorów, gdyż są to przyrządy, bez których praca układów optyimizacji byłaby niemożliwa. Jak

wiadomo wiele typów stosowanych analizatorów działa z dość znacznym czasem zwłoki, wobec tego ważne jest stosowanie takich metod, które wynik analizy podawałyby możliwie szybko. Zagadnienie to jest szczególnie istotne, przy procesach wykazujących dużą zmienność, gdyż może zająć taki wypadek, że dane otrzymywane z analizatora będą zupełnie niezgodne ze stanem faktycznym (ze względu na opóźnienie) i będą powodowały interwencję w niepożądanym kierunku. Zaleca się więc prowadzenie badań nad ulepszeniem metod analizy, godnym polecenia byłoby również rozwinięcie nowych metod. Może wystąpić także konieczność dokonywania takich analiz, jakich nie wykonuje się w konwencjonalnych układach regulacji.

Głównym problemem, przy zastosowaniu analizatorów, jest sprawa dokładnego określenia składu surowców i produktów dla uzyskania kryteriów wydajności.

Niektóre przyrządy pomiarowe jak np. pH-metry, refraktometry, niektóre typy spektrometrów dość dobrze pracują w układach z przelicznikiem cyfrowym, inne zaś metody, których stosowanie w układach optymalizacji jest konieczne posiadają niestety dość znaczny czas martwy, który powodować może nieskuteczność interwencji.

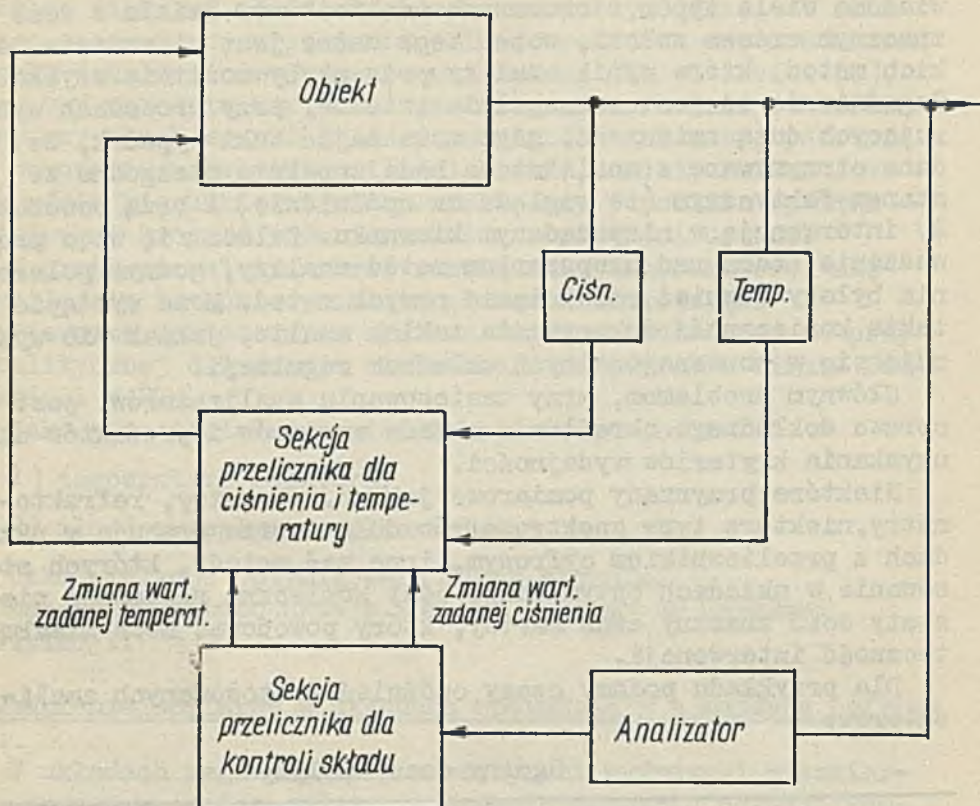
Dla przykładu podamy czasy opóźnień 2 stosowanych analizatorów:

Ogólny czas analizy

	minimalnie	maksymalnie	średnio
Chromatograf	6 min	33 min	16 min
Spektrometr masy	3 min	7 min	4 min

W zakładach Monsanto Chemical Co. zastosowano równoległe połączenie kilku analizatorów, aby przez pobieranie analiz kolejno z różnych analizatorów (przy nieciągłej ich pracy) otrzymywać częściej wyniki. Inną metodą zmniejszenia szkodliwego wpływu dużych opóźnień analizatora jest stosowanie układów kaskady, w których szybka interwencja zapewniona jest przez istnienie regulacji temperatury i ciśnienia, zaś analizator wprowadza korektę poprzez zmianę wartości zadanych w obwodach regulacji ciśnienia i temperatury (rys.7).

Zagadnienie wpływu czasu analizy na przebieg optymalizacji rozpracowane jest w literaturze [10].



Rys.7

## Przetwarzanie danych

Przetwarzanie informacji otrzymanych z pomiarów jest sprawą niezwykle istotną w układach z przelicznikiem cyfrowym, ze względu na konieczność dostosowania sygnału do warunków wejścia maszyny cyfrowej. Sygnał pomiarowy dany w postaci pneumatycznej, elektrycznej, przesunięcia itp. trzeba przy pomocy przetworników zamienić na zunifikowany sygnał elektryczny, tak, aby korzystając z jednego typu przetwornika analogowo-cyfrowego można go było przekształcić w sygnał cyfrowy możliwy do wprowadzenia na wejście maszyny cyfrowej. W Krajach należących do Rady Wzajemnej Pomocy Gospodarczej celowym byłoby korzystać z unifikacji dokonanej w ramach systemu URS.

Sygnał analogowy elektryczny może być typu prądowego lub napięciowego, ze względów praktycznych, mając na uwadze prostotę konstrukcji konwertera analogowo-cyfrowego, wydaje się, że wygodniejszym byłby sygnał typu napięciowego, gdyż wówczas można konwerter budować na zasadzie kompensacji napięcia.

W systemie URS zalecany jest jako wyjściowy sygnał przetworników, kod dwójkowo-dziesiętny z wagami 8-4-2-1. Jedyne w wypadkach wyjątkowo uzasadnionych dopuszcza się stosowanie prostego kroku dwójkowego.

Podobnym zagadnieniem jest odwrotna konwersja sygnału cyfrowego otrzymanego z przelicznika na sygnał analogowy w celu realizowania nastawień wyliczonych przez maszynę cyfrową.

Rozkazy otrzymane z maszyny mogą w dwojaki sposób inżynierować w przebieg procesu:

1. Rozkazy z maszyny cyfrowej powodują zmianę nastawienia elementów wykonawczych, sterowanych jedynie rozkazami z maszyny bez istnienia konwencjonalnych sprzężeń zwrotnych.
2. Rozkazy z maszyny cyfrowej powodują zmianę nastawienia wartości zadanych regulatorów pracujących w konwencjonalnych układach regulacji temp., ciśnienia, przepływu itp. Istnieje także możliwość wpływania wprost na zmianę nastawienia elementów wykonawczych przy istnieniu konwencjonalnych regulacji ciągłych.

Sposób podany w pkt 2 zapewnia oczywiście o wiele większą pewność ruchową i dlatego w dotychczas pracujących układach jest bodajże wyłącznie stosowany.

Sygnał cyfrowy musi być więc zamieniony przy pomocy odpowiedniego konwertera na sygnał elektryczny zdolny do sterowania zmianą wartości zadanych lub zmianą nastawienia elementów wykonawczych. Stąd wynika warunek dla układów regulacji ciągłej mających współpracować z maszyną cyfrową, muszą one posiadać łatwość zmiany wartości zadanych lub położenia elementów wykonawczych, przy pomocy sterowanych elektrycznie nastawników.

#### Przykłady praktycznych zastosowań układów automatyki z przelicznikiem cyfrowym

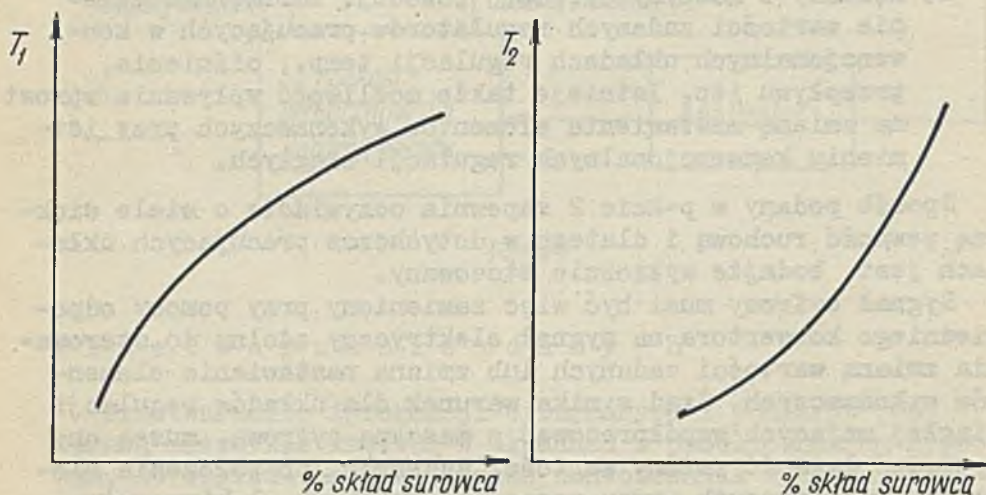
Układy optymalizacji z maszynami cyfrowymi znalazły najszersze zastosowanie w energetyce oraz w przemyśle chemicznym (głównie w petrochemii).

Zależnie od postaci algorytmu sterowania oraz od ilości wejść i wyjść stosuje się w praktyce przeliczniki mniej lub

bardziej skomplikowane. Często do celów przemysłowych używa się przeliczników skonstruowanych celowo dla rozwiązywania określonych problemów, zamiast uniwersalnych maszyn cyfrowych. W niektórych zagadnieniach, w których występuje różniczkowe stosuje się nieco odmienny rodzaj maszyny cyfrowej zwany analizatorem różniczkowym.

### Przemysł Chemiczny

Przykładem dość prostej optymalizacji typu "kompensacji" z zastosowaniem przelicznika cyfrowego jest układ zastosowany przy automatyzacji destylacji frakcjonowanej. Celem regulacji było utrzymanie maksymalnej czystości produktu wyjściowego. Zależnie od składu surowca, dla otrzymania 99% czystości produktu muszą być utrzymane pewne określone temperatury w ściśle określonych punktach kolumny destylacyjnej. Zależność tych temperatur od procentowego składu surowca dla 99%-owej czystości produktu wyjściowego obrazują załączone na rys.8 wykresy:

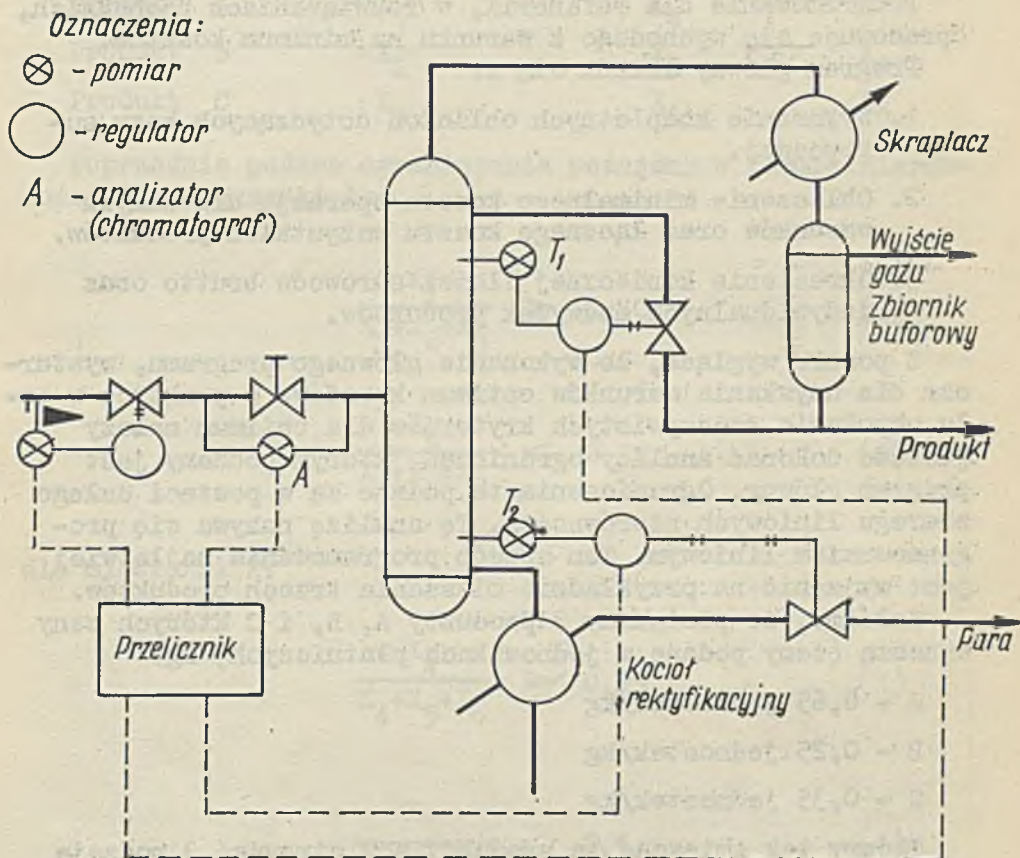


Rys.8

Przebieg tych krzywych jest zaprogramowany w pamięci przelicznika, który otrzymując dane o przepływie i składzie surowca, oblicza konieczne temperatury  $T_1$  i  $T_2$  i utrzymuje je na żądanym aktualnie poziomie poprzez zmianę wartości zadanych regulatorów.



Uproszczony schemat regulacji przedstawia rys.9. W podanym układzie w celu analizy składu surowca zastosowano chromatograf.



Rys.9

### Optymalizacja rafinerii przy pomocy przeliczników cyfrowych

Podobnie jak destylacja frakcjonowana, wszystkie ważniejsze operacje w rafinerii ropy naftowej jak np. topienie surowca, destylacja, cracking, depropanizacja itp. stanowią doskonałe pole do kompleksowej optymalizacji przy pomocy maszyny cyfrowej. Ze względu na to, że między parametrami poszczególnych operacji zachodzą dość skomplikowane korelacje, bardzo istotną sprawą jest opracowanie szczegółowego programu pracy dla maszyny.

Kompletny program składa się z 2 zasadniczych części:

1. Główny program rafinacji.
2. Programowanie liniowe.

Programowanie dla rafinerii, w rozwiązaniach zachodnich, opracowuje się wychodząc z warunku na minimum kosztów.

Program główny składa się z:

1. Wykonanie kompletnych obliczeń dotyczących bazy surowcowej.
2. Obliczenie minimalnego kosztu operacji dla danych warunków oraz łącznego kosztu wszystkich produktów.
3. Określenie koniecznej ilości surowców brutto oraz indywidualnych nadwyżek produktów.

Z pozoru wygląda, że wykonanie głównego programu, wystarcza dla uzyskania warunków optimum kosztów. W praktyce w celu uzyskania rzeczywistych kryteriów dla optimum należy jeszcze dokonać analizy ograniczeń, którym poddany jest program główny. Ograniczenia te podane są w postaci całego szeregu liniowych nierówności. Tę analizę nazywa się programowaniem liniowym. Ten sposób programowania najłatwiej jest wyjaśnić na przykładzie mieszania trzech produktów.

Założmy, że posiadamy 3 produkty A, B, i C których ceny wynoszą (ceny podane w jednostkach płatniczych) kg:

A - 0,65 jednostek/kg

B - 0,25 jednostek/kg

C - 0,35 jednostek/kg

Chcemy tak zmieszać te produkty aby otrzymać 3 rodzaje mieszanki określone następującymi warunkami. Mieszanka 1 musi zawierać co najmniej 50% A i nie więcej niż 25% B, cena mieszanki 1 wynosi 0,50 jedn./kg.

Mieszanka 2 powinna zawierać co najmniej 25% A i nie więcej niż 50% B, cena miesz. 2 wynosi 0,35 jedn./kg.

Mieszanka 3 może zawierać wszelką kombinację A, B i C, cena mieszanki 3 wynosi 0,25 jedn.

Posiadamy 100 kg A, 100 kg B i 60 kg C.

Powstaje problem, jak zestawić składy mieszanek aby przy zachowaniu wszystkich podanych ograniczeń uzyskać przy sprzedaży maksymalny zysk.

Oznaczmy przez  $X_k$  udziały poszczególnych produktów w mieszankach, wg załączonej tabeli:

	Miesz.1	Miesz.2	Miesz.3
Produkt A	$X_1$	$X_4$	$X_7$
Produkt B	$X_2$	$X_5$	$X_8$
Produkt C	$X_3$	$X_6$	$X_9$

Poprzednio podane ograniczenia podajemy w formie nierówności dla mieszanki 1.

$$\frac{X_1}{X_1+X_2+X_3} \geq 0,50 \quad (1)$$

$$\frac{X_2}{X_1+X_2+X_3} \leq 0,25 \quad (2)$$

dla mieszanki 2:

$$\frac{X_4}{X_4+X_5+X_6} \geq 0,25 \quad (3)$$

$$\frac{X_5}{X_4+X_5+X_6} \leq 0,5 \quad (4)$$

Ograniczenie ilości posiadanych produktów wyrażamy także w formie nierówności

$$X_1 + X_4 + X_7 \leq 100$$

$$X_2 + X_5 + X_8 \leq 100$$

$$X_3 + X_6 + X_9 \leq 60$$

Dodatkowo układamy jeszcze równanie zysku

$$Z = 0,50 (X_1 + X_2 + X_3) + 0,35 (X_4 + X_5 + X_6) + 0,25 (X_7 + X_8 + X_9) - \\ - 0,65 (X_1 + X_4 + X_7) - 0,25 (X_2 + X_5 + X_8) - 0,35 (X_3 + X_6 + X_9)$$

W omawianym zagadnieniu występuje 10 wartości niewiadomych i tylko 8 związków matematycznych wynikających z podanych ograniczeń.

W celu wyliczenia udziałów  $X_k$ , dających maksymalny zysk, stosować należy metodę iteracji.

Ze względu na ogromną czasochłonność tej metody rozwiązanie takiego zagadnienia jest praktycznie możliwe jedynie przy zastosowaniu maszyn matematycznych.

W układach przemysłowych opracowuje się dla przelicznika program wykonywania obliczeń iteracyjnych, zaś dane wprowadza się z zewnątrz w zależności od zmieniających się warunków (np. cen, dysponowanych ilości produktów itp.). Realizacja mieszania wg stosunków obliczanych przez przelicznik dokonywana jest w układach "on-line" automatycznie przez regulację stosunku przepływów.

Dokładniejsze informacje odnośnie rozwiązywania "programu liniowego" metodą iteracji znaleźć można w literaturze [7].

W praktyce program główny i programowanie liniowe są między sobą wielokrotnie powiązane, tak że w efekcie program dla przelicznika składa się z elementów obu tych rodzajów programowania.

## E n e r g e t y k a

Zasadniczo dwa czynniki wpływają na decyzję użycia maszyny cyfrowej w układach przemysłowej automatyzacji:

1. Skomplikowane korelacje między parametrami procesu.
2. Wielka ilość parametrów istotnych dla przebiegu procesu, których kontrola jest konieczna.

W wypadku automatyzacji elektrowni wielkiej mocy występują oba te czynniki i dlatego obok przemysłu chemicznego, elektrownie stały się miejscem zastosowania przeliczników cyfrowych w układach regulacji.

Obecnie na świecie pracuje już kilka elektrowni w których zastosowano maszyny cyfrowe dla uzyskania optymalnej pracy kotłów i turbin wielkiej mocy.

Dla przykładu omówimy zastosowanie przelicznika cyfrowego w automatyzacji dwóch kotłów i turbin o mocy 200 MW każdy, w elektrowni Huntington Beach w USA. Kotły opalane są paliwem płynnym i gazowym.

Korzyści wynikające z zastosowania maszyny cyfrowej są następujące:

1. Wzrost bezpieczeństwa personelu oraz ochrona przed większymi wypadkami.
2. Poprawa ciągłości ruchu.
3. Zmniejszenie kosztów wydatkowanych na paliwo (wzrost sprawności).
4. Redukcja kosztów operacyjnych (zmniejszenie ilości pracowników).
5. Zmniejszenie kosztów utrzymania.

Rozważono dwie koncepcje zastosowania przelicznika:

1. Zastosowanie wszystkich konwencjonalnych pętli regulacji i ingerencja przelicznika w wartości zadane regulatorów.
2. Praca przelicznika bez konwencjonalnych obwodów regulacji.

Mając na uwadze pewność eksploatacyjną wybrano koncepcję pierwszą. W celu zorientowania co do ilości danych wprowadzanych na maszynę podamy ilości czujników zastosowanych w układzie dla 1 kotła:

1. 312 termopar,
2. 55 czujników oporowych,
3. 52 wejścia pneumatyczne,
4. 514 wejść o charakterze dwupołożeniowym,
5. 3 kontakty licznikowe,
6. 72 analogowe wejścia elektryczne (w tej liczbie mieszczą się metody analizy stosowane w układach kotłowych).

Ingerencja przelicznika dotyczyła następujących obwodów:

1. Kontroli kotła i turbiny.
2. Kontroli temperatury wtórnych przegrzewaczy pary.
3. Kontroli kotła pomocniczego oraz mieszanki powietrznej.
4. Kontroli paleniska.
5. Kontroli przepływu przez turbinę i przegrzewacz.
6. Pomocniczej kontroli turbiny.
7. Pomocniczej kontroli generatora.
8. Kontroli rozruchu i wyłączenia pomp.
9. Kontroli odpowietrzania kondensatu.
10. Innych mniej ważnych obwodów kontrolnych.

W układzie przewidziana jest możliwość ręcznego nastawienia pewnych parametrów.

Oprócz funkcji spełnianych w układzie optymalizacji pracy kotła, przelicznik używany jest do pewnych innych zadań jak np. sterowanie rozruchem i wyłączeniem całego bloku kocioł - turbina - generator, wykonywanie blokad zabezpieczających prawidłową pracę zespołu, zabezpieczenie awaryjne itp.

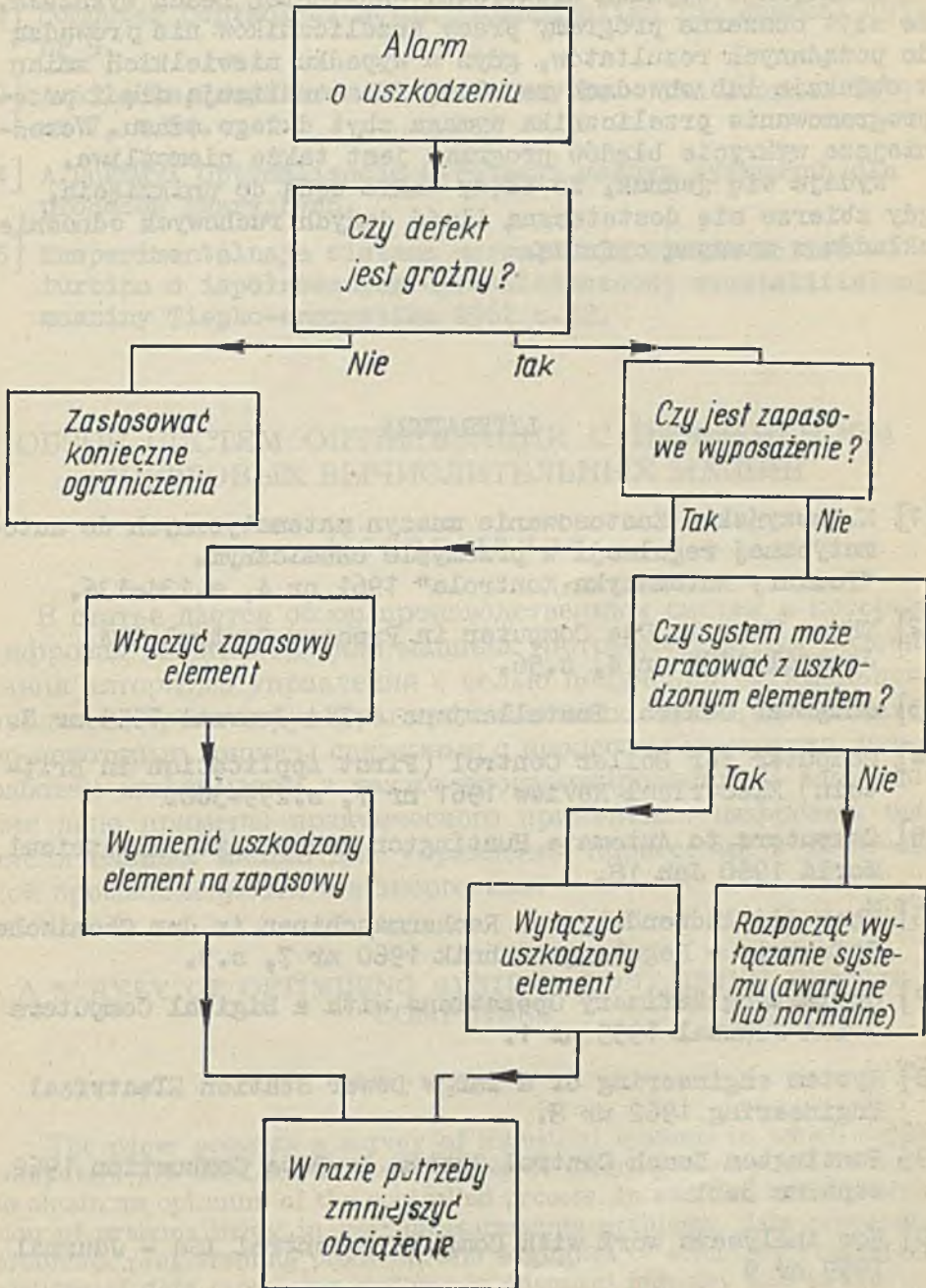
Rozruch i wyłączenie z ruchu dużych jednostek energetycznych jest sprawą niezmiernie skomplikowaną, gdyż czynności wykonywane, muszą następować w ściśle określonej kolejności, w miarę spełnienia pewnych z góry ustalonych warunków. Dokonywanie rozruchu ręcznie jest bardzo trudne przy jednostkach dużej mocy, gdyż należy stale sprawdzać wskazania bardzo dużej ilości przyrządów pomiarowych, a także dokonywać pewnych obliczeń. Dlatego więc zastosowanie przelicznika w celu kontroli rozruchu będzie niewątpliwie dużym ułatwieniem, bowiem wszystkie żądane warunki możemy zaprogramować, a maszyna porównując dane otrzymane z aktualnych pomiarów z programem będzie dawała odpowiednie rozkazy wykonawcze w celu dokonania niezbędnych zmian w procesie.

Podobnie można zaprogramować cały szereg blokad, których wykonanie będzie zapewnione przez stałą kontrolę przelicznika.

W wypadku awarii przelicznik dokonywać może analizy uszkodzenia i podejmować odpowiednie decyzje wykonawcze.

Każda czynność wg podanego na rys.10 schematu logicznego musi zostać szczegółowo zaprogramowana.

## Postępowanie logiczne w wypadku awarii



Rys. 10

Praktyka w wypadku elektrowni Huntington Beach wykazała, że zbyt obszerne programy pracy przeliczników nie prowadzą do pożądaných rezultatów, gdyż w wypadku niewielkich zmian w obiekcie lub obwodach regulacji deaktualizują się i reprogramowanie przelicznika wymaga zbyt dużego czasu. Wcześniejsze wykrycie błędów programu jest także niemożliwe.

Wydaje się jednak, że błędy takie będą do uniknięcia, gdy zbierze się dostateczną ilość danych ruchowych odnośnie układów z maszyną cyfrową.

#### LITERATURA

- [1] K. Tuszyński: Zastosowanie maszyn matematycznych do automatycznej regulacji w przemyśle chemicznym. "Pomiary Automatyka Kontrola" 1961 nr 4, s.134-136.
- [2] Three Ways to Use Computer in Process Control ISA Journal 1959 nr 4, s.56.
- [3] Computer Control Installations - ISA Journal 1959 nr 7.
- [4] Computer for Boiler Control (First Application in Britain) Electrical Review 1961 nr 7, s.299-300.
- [5] Computers to Automate Huntington Beach Units Electrical World 1960 Jan 18.
- [6] Über die Anwendung von Rechenmaschinen in der Chemischen Industrie - Regelungstechnik 1960 nr 7, s.9.
- [7] Optimizing Refinery Operations with a Digital Computers - ISA Journal 1959 nr 1.
- [8] System engineering of a large Dower Station Electrical Engineering 1962 nr 8.
- [9] Huntington Beach Control System to Data Combustion 1962 sept nr 3.
- [10] How Analysers work with Computers Control ISA - Journal 1959 nr 9
- [11] Process Computer Control Concepts - ISA Journal 1959 nr 7.



- [12] Computer Control of Butan Izomerization ISA Journal 1959 nr 9.
- [13] Available Computers and What They Do - ISA Journal 1959 nr 7, s.54.
- [14] A.Bukowy: Optymalizacja strategii maszyn cyfrowych dla procesów awaryjnych.
- [15] Eksperymentalna systema upravljenja blokom kotieł - turbina s ispolzowanjem upravliajuszczej vychislitelnoj mashiny Tjepko-energetika 1962 s.32.

## ОБЗОР СИСТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

### С о д е р ж а н и е

В статье дается обзор производственных систем в которых цифровая вычислительная машина употребляется для подсчитания алгоритма управления с целью получения оптимального процесса. Кроме структуры применяемых систем, представлено некоторые вопросы связанные с процессом измерения, переработки информации а также программирования. В заключение дано примеры практического применения цифровых вычислительных машин для управления процессами в химической промышленности и в энергетике.

## A SURVEY OF OPTIMISING SYSTEMS CONTAINING DIGITAL COMPUTERS

### S u m m a r y

The paper presents a survey of industrial systems in which digital computers are used for the calculation of steering algorithm in order to obtain an optimum of the controlled process. In addition to the discussion of systems being in use, measurements problems, data processing problems, programming problems and examples of some practical applications of data processing systems in chemical industry and in energetics are given in the paper.