

Wacław NIEMIEC

STRUKTURA UNIWERSALNEGO UKŁADU ADAPTACYJNEJ REGULACJI
PROCESÓW PRZEMYSŁOWYCH

Streszczenie. Artykuł jest przedłużeniem rozważań zawartych w publikacji "Analiza układów sterowania adaptacyjnego procesów przemysłowych" [1]. Autor podaje w nim dalszych 5 przykładów (5 zawarto w [1]) rozwiązań przemysłowych układów sterowania adaptacyjnego.

Autor zaproponował strukturę uniwersalnego układu adaptacyjnego sterowania procesów przemysłowych w oparciu o udowodnione w artykule, a także w [1] cechy obiektów determinujące konieczność ich sterowania adaptacyjnego (zmienne wzmocnienia, zmienne stałe czasowe, zmienne czasy martwe).

1. Wstęp

Jak wykazano [1] w oparciu o 5 przykładowych rozwiązań układów sterowania adaptacyjnego procesów przemysłowych poglądy na temat sterowania adaptacyjnego są bardzo zróżnicowane.

Podobnie jak duża jest różnorodność definicji pojęcia sterowania adaptacyjnego, tak samo duża jest różnorodność struktur sterowania adaptacyjnego (praktycznie każdy układ regulacji adaptacyjnej procesów przemysłowych wymaga opracowania osobnej struktury regulacji). Nie istnieje więc ogólna struktura odpowiadająca możliwie dużej ilości przypadków rozwiązań przemysłowych układów sterowania adaptacyjnego. Brak jest także w literaturze możliwie szerokiego ujęcia cech obiektów sterowania, determinujących konieczność sterowania adaptacyjnego. Celem niniejszej publikacji jest więc określenie ogólnej struktury sterowania adaptacyjnego procesów przemysłowych oraz wykazanie, jakie cechy obiektów określają konieczność ich sterowania adaptacyjnego (nieliniowe charakterystyki statyczne, dynamiczne, zmienne wzmocnienia, zmienne stałe czasowe, zmienne czasy martwe).

W tym celu w publikacji przedstawiono 5 dalszych przykładów (5 przykładów zawarto w [1]) przemysłowych rozwiązań układów regulacji adaptacyjnej i w oparciu o te 10 przykładów rozwiązano zadania niniejszej publikacji.

2. Adaptacja w przemysłowych rozwiązaniach układów regulacji

2.1. Adaptacyjne sterowanie procesem toczenia [2], [3]

Zgodnie z określeniem "posuw na obrót", które oznacza drogę narzędzia wzdłuż powierzchni obrabianej przez toczenie, podczas jednego obrotu detalu, przy określonym podziale jego obwodu za pomocą dzielnika zauważymy, że konieczne jest wprowadzenie adaptacyjnej korekty tego "posuwu na obrót" ponieważ:

- a) struktura materiału obrabianego nie jest jednolita,
- b) ulegają zmianie parametry narzędzia jak:
 - promień zaokrąglenia wierzchołka ostrza,
 - materiał ostrza,
 - ostrość ostrza,
 - stereometria ostrza,
- c) ulegają zmianie warunki skrawania jak:
 - szybkość skrawania,
 - szybkość posuwu,
 - głębokość toczenia.

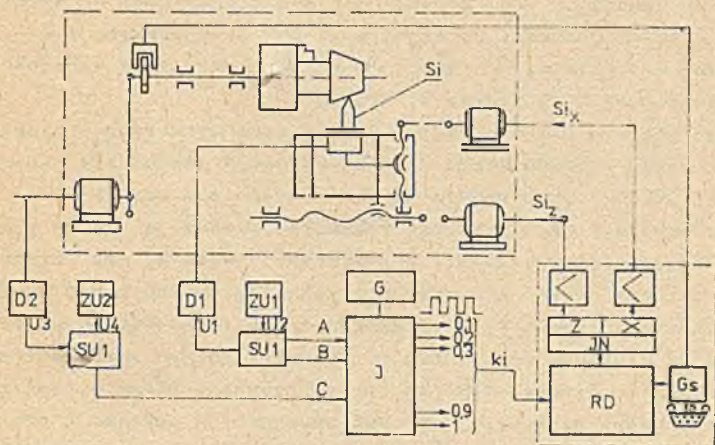
Wszystkie te czynniki mają decydujący wpływ na:

- gładkość powierzchni,
- utwardzenie wierzchołkowej warstwy,
- wzrost temperatury tworzenia wióra,
- ⁴ pojawienie się narostu na nożu.

Z podanych względów w adaptacyjnym układzie toczenia wielkościami sterującymi są:

- siła toczenia P ,
- moc toczenia N ,
- maksymalny posuw na obrót S .

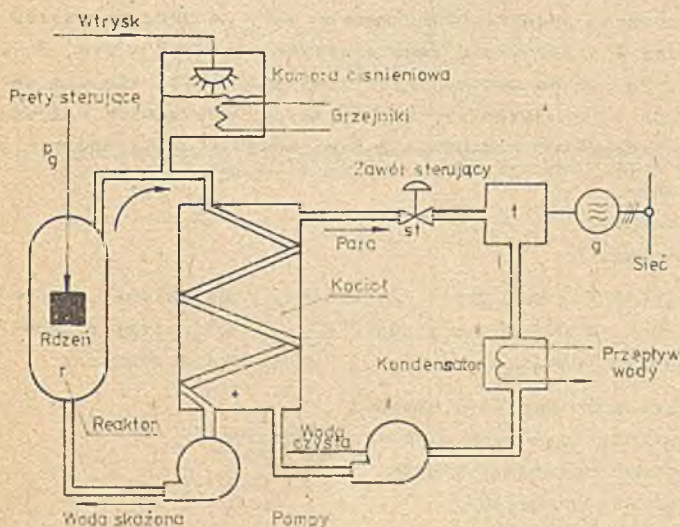
Zgodnie z rys. 1 adaptacyjny system sterowania dołączony do klasycznego układu sterowania numerycznego RD z interpolatorem IN zawiera ozujnik siły skrawania $D1$, zadajnik siły skrawania $ZU1$, komparator $SU1$ - porównujący faktyczną siłę skrawania z zadaną i analogiczne urządzenie dla mocy skrawania ($D2$, $ZU2$, $SU2$). Oprócz tego system posiada generator impulsów testujących G oraz urządzenie wybierające I , które wypracowuje sygnał korekcyjny posuwu na obrót Ki . Efektywność systemu regulacji adaptacyjnej polega na podwyższeniu wydajności przy toczeniu detali poddanych uprzednio obróbce plastycznej, co zmienia własności materiału na różnej głębokości. Z badań wynika, że zastosowanie sterowania adaptacyjnego pozwala od 1,4 - 1,8 razy skrócić czas maszynowy i w związku z tym zmniejszyć ilość przejść ostrza. Dzięki temu przepustowość stanowiska podwyższa się średnio o 20 - 30%.



Rys. 1. Adaptacyjny system sterowania procesem toczenia

2.2. Adaptacyjne sterowanie elektrowni atomowej ze względu na zmiany obciążeń [4]

Ciepło wyprodukowane podczas reakcji rozszczepienia w reaktorze - r wytwarza w wymienniku ciepła (kocioł na rys. 2) parę, która poprzez zawór



Rys. 2. Adaptacyjne sterowanie pracą elektrowni atomowej

sterujący - st napędza turbinę - t. Z turbiną parową sprzęgnięty jest mechanicznie generator - g produkujący moc elektryczną do sieci. Moc elektryczna oddawana do sieci musi być zrównoważona mocą mechaniczną wytwarzaną w turbinie. Moc mechaniczna jest określona wielkością mocy cieplnej otrzymanej w reaktorze atomowym.

Dla uniknięcia nierównowagi pomiędzy mocą wytworzoną (cieplną), a oddawaną (elektryczną) konieczna jest koordynacja sterowania zanurzeniem prętów grafitowych - p_g w reaktorze oraz otwarciu zaworu - st. Ponieważ pomiędzy reaktywnością reaktora, a pozycją prętów grafitowych nie ma jednoznaczności w czasie i przestrzeni reaktora, jak również przepływ pary do turbiny odbywa się przy różnych ciśnieniach przed zaworem - st, dlatego powiązanie obu tych elementów trzeba dobierać adaptacyjnie w zależności od kierunku ruchów prętów spowalniających w reaktorze i stanu pary w wymienniku ciepła. Jest to typowy przykład zmian parametrów obiektu regulacji, który sterowany jest adaptacyjnie na podstawie przeliczeń wykonywanych przez maszynę cyfrową, zapewniających stan równowagi w bilansie mocy elektrowni.

2.3. Adaptacja regulacji temperatury pary świeżej w bloku energetycznym [5],[6]

Pomiędzy temperaturą pary świeżej w przegrzewaczu kotła energetycznego a przepływem tej pary istnieje zależność zwana nieliniowością dynamiczną. Obrazuje to zjawisko wykres, przedstawiający na rys. 3a zależność własności dynamicznych przegrzewacza pary przy obciążeniu 100%.

Wykres 1 oznacza przebieg temperatury pary za przegrzewaczem (T_2 na rys. 3a) przebieg 2 - położenie zaworu wtryskowego (ZW - rys. 3a).

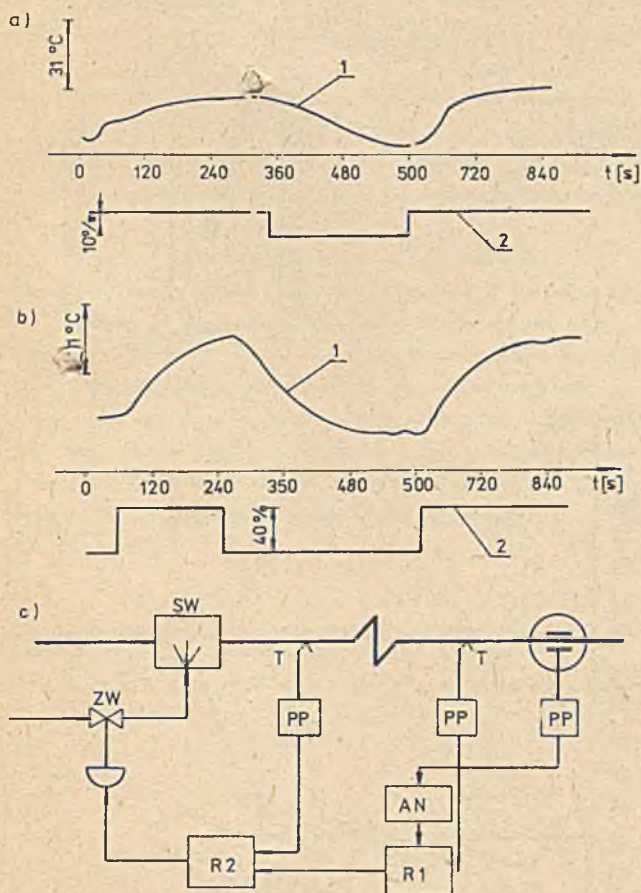
Na rys. 3b przedstawiane są te same zależności ale dla obciążenia 50%.

Z rys. 3b i 3c jasno wynika, że zmiany obciążenia wpływają na trzy podstawowe parametry przebiegu dynamicznego w przegrzewaczu pary:

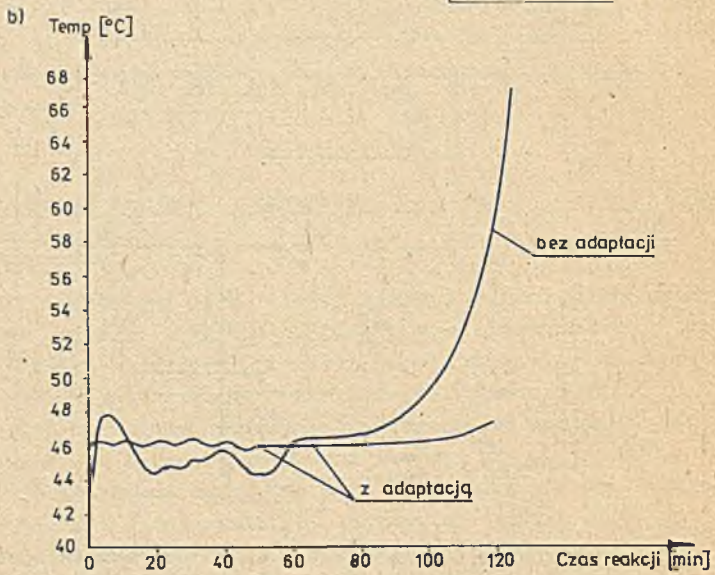
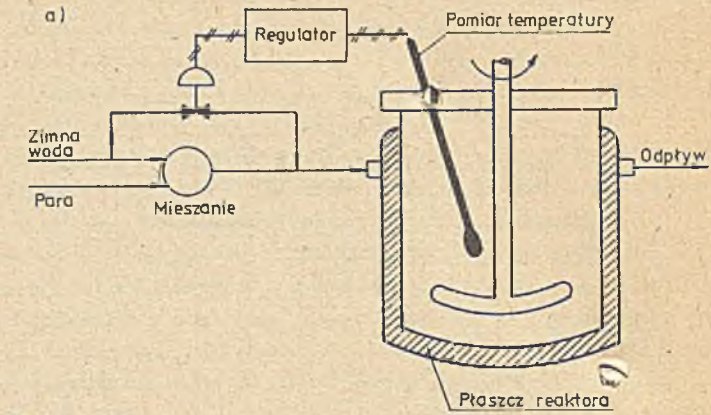
- wzmożenie,
- stałe czasowe,
- czasy martwe.

Z tych względów do regulacji temperatury pary świeżej, której wartość winna być utrzymana w granicach $535 [^{\circ}\text{C}] \pm 3[^{\circ}\text{C}]$ należy stosować adaptacyjny układ regulacji pokazany na rys. 3, na którym oznaczono:

- R_1 - regulator z adaptacją nastaw,
- AN - przystawka do zmiany nastaw regulatora,
- R_2 - klasyczny regulator ciągły,
- SW - schładzacz wtryskowy,
- PP - przetwornik pomiarowy.



Rys. 3. Przebiegi dynamiczne (a, b) oraz układ sterowania adaptacyjnego temperatury pary świeżej w bloku energetycznym (c)



Rys. 4. Układ sterowania adaptacyjnego katalityczną polimeryzacją a) oraz przebiegi dynamiczne temperatury tego procesu z adaptacją i bez adaptacji (b)

2.4. Adaptacyjne sterowanie katalityczną polimeryzacją [7]

Katalityczna polimeryzacja jest wysoce egzotermiczna tak, że stopień przereagowania rośnie więcej niż podwójnie, wraz ze wzrostem temperatury o każde 10 [°C].

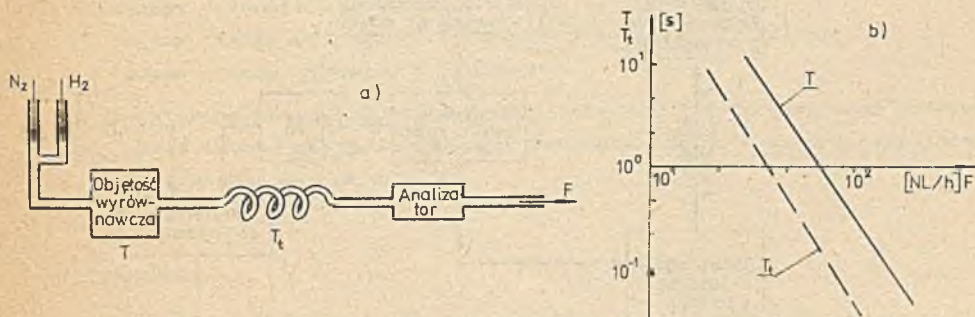
Zbyt niska konwersja monomerów daje produkty o niedostatecznej jakości i nadmierne koszty. Zbyt wysoka konwersja monomerów daje również produkty o niedostatecznej jakości, a ponadto powoduje wtórną reakcję wybuchową. Stąd własności produktu są wysoce zależne od temperatury reakcji oraz jej przebiegu.

Rys. 4a przedstawia układ regulacji temperatury reakcji.

W procesie polimeryzacji materiały są umieszczone w reaktorze i ogrzewane do temperatury reakcji. Po dodaniu katalizatora zaczyna się reakcja egzotermiczna. Temperatura reakcji jest regulowana dopływem mieszaniny gorącej i zimnej wody do płaszcza chłodzącego reaktora. Ze względu na zmianę gęstości produktów w reaktorze i związaną z nią zmianę współczynnika przewodzenia ciepła, jak też opasu transportu przez oazy okres tworzenia się produktu, obiekt regulacji zmienia swoje własności statyczne i dynamiczne. Powoduje to konieczność zastosowania regulacji adaptacyjnej, której wyniki przedstawiono na rys. 4b.

2.5. Adaptacyjne sterowanie koncentracją gazów [8]

Rozważa się obiekt, przez który przepływa mieszanina wodoru i azotu (rys. 5a).



Rys. 5. Adaptacyjne sterowanie koncentracją gazów:

a - obiekt regulacji, b - przebiegu czasu martwego i stałej czasowej jako funkcji przepływu mieszaniny gazów

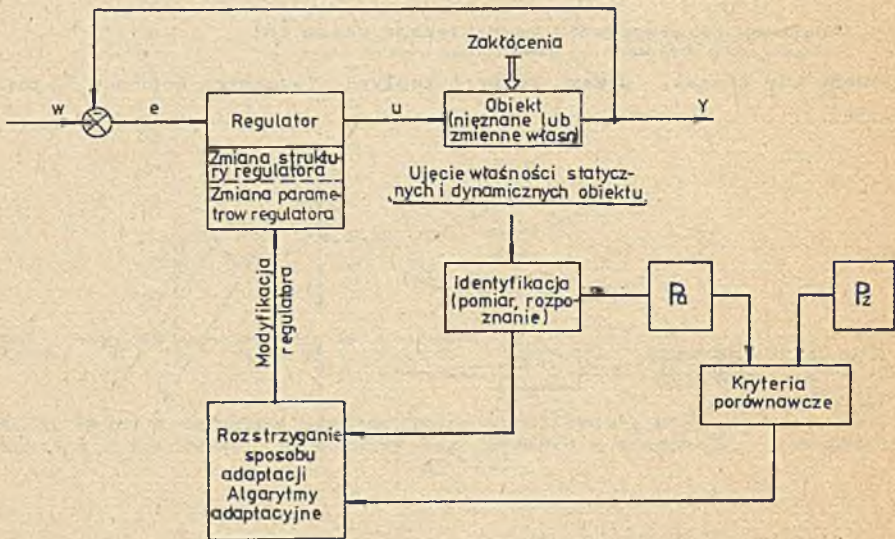
Płynąca mieszanina natrafia na swej drodze na zbiornik wyrównawczy (o stałej czasowej T) i przewód rurowy (element opóźniający o czasie martwym T_d) podłączony do analizatora. Ze względu na to, że zarówno T jak i T_d są funkcjami przepływu F (rys. 5b) istnieje konieczność adaptacyjnej regulacji koncentracji tych gazów.

Regulator specjalizowany adaptuje dynamiczne nastawy klasycznego regulatora do aktualnego przepływu.

3. Określenie modelu przemysłowych układów adaptacyjnych

Przedstawione w punkcie 2 przykładowe rozwiązania przemysłowych układów adaptacyjnych pozwalają stwierdzić, że regulacja adaptacyjna ma na celu poprawienie dobroci regulacji klasycznej. Przykładowe rozwiązania pozwalają określić ogólną strukturę przemysłowych układów adaptacyjnych (rysunek 6). Zgodnie z nim realizacja adaptacji przebiega w następującym porządku:

- identyfikacja (pomiar wskaźnika jakości, wykrycie i określenie parametrów dynamicznych, pomiar wartości wzmożenia),
- porównanie wskaźników jakości, wartości regulowanej oraz dynamiki z wartościami zadanymi (blok kryteriów porównawczych),
- rozstrzygnięcie sposobu sterowania. Na podstawie informacji z bloku identyfikującego i sygnału z bloku "kryteria porównawcze" uzyskujemy decyzję co do sposobu adaptacji. W wyniku modyfikacji regulatora otrzymujemy pożądaną dobroć regulacji.



Rys. 6. Struktura ogólnego układu sterowania adaptacyjnego
 P_a - blok aktualnych wielkości, P_z - blok zadanymi wielkościami procesu

Jeżeli obecnie popatrzymy na analizowane przykłady rzeczywistych układów przemysłowych z punktu widzenia tych cech obiektów regulacji, których zmiany zmuszają nas do stosowania regulacji adaptacyjnej, to zauważymy, że ich występowanie niekoniecznie musi pokrywać się we wszystkich przypadkach,

Ilustruje to poniższa tabela:

	Zmienne oechy obiektu regulacji		
	Wzmooczenie	Stałe czasowe	Czas martwy
P R Z Y K Ł A D Y	3.1 [1]	3.1 [1]	3.1 [1]
	3.2 [1]		3.2 [1]
	3.3 [1]	3.3 [1]	
	3.4 [1]	3.4 [1]	3.4 [1]
	3.5 [1]	3.5 [1]	3.5 [1]
	2.1	2.1	2.2
	2.2	2.2	2.3
	2.3	2.3	
	2.4	2.4	
	2.5	2.5	

Wnioski

Wprawdzie przytoczone z literatury definicje adaptacyjnego sterowania posiadają pewne wspólne oechy, to jednak na podstawie analizy przykładowych procesów przemysłowych, wymagających takiego sterowania wykazano, że dominującymi przyczynami wprowadzenia automatycznego sterowania adaptacyjnego są:

- a) zmiany parametrów procesu
- b) zmiany wielkości (wartości) sygnałów wejściowych procesu,
- c) łączne zmiany sygnałów i parametrów.

Potwierdza to poprawność definicji sterowania adaptacyjnego proponowanej przez autora artykułu [1], jak też uniwersalność modelu strukturalnego, przedstawionego na rys. 6.

LITERATURA

- [1] Niemiec W.: Analiza układów sterowania adaptacyjnego procesów przemysłowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Automatyka". Zeszyt Nr 50.
- [2] Atamanow S.A.: Adaptiwnoje upravljenie processom tokarnoj obrabotki. Stanki i Instrument 5 (1975) s. 9-10.
- [3] Kaczmarek J.: Podstawy obróbki wiórowej, ściernej i erozyjnej. WNT Warszawa 1970.
- [4] Moore R.L., Schweppe F.: Adaptive control for nuclear power plant load changes. Proceedings of the IFAC June (12-17) 1972.
- [5] Placowska B., Szkulcecki E.: Zastosowanie regulatora z adaptacją nastaw w układzie regulacji temperatury pary świeżej Energetyka 6 (1976) s. 217-220.

- [6] Dutko J., Szmulewski J.: Regulator PID o działaniu ciągłym z adaptacją nastaw dynamicznych. Prace IASE-28 1974 ss. 221-227.
- [7] Adams P.G.; Schooley A.T.: Ada-predictive control for a batch reaction Instrumentation Technology. January 1969.
- [8] Peinke W.: Adaptiv-Steuerung der ReglerEinstellung mit einfachen Mitteln - Regelungstechnik 16 1970.
- [9] Weber W.: Adaptive Regelungssysteme t. I i II R. Oldenbourg München und Wien - 1971.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СТРУКТУРА АДАПТИВНОЙ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Р е з ю м е

Статья является продолжением исследований содержащихся в статье "Анализ схем адаптивного управления промышленными процессами" [1]. Автор даёт в этой статье дальнейших 5 примеров решения промышленных схем адаптивного управления.

Автор предложил структуру универсальной схемы адаптивного управления промышленными процессами на основе доказанных в этой статье а также в [1] черт объектов определяющих необходимость адаптивного управления ими (меняющиеся усиление, постоянные времени и запаздывания).

THE STRUCTURE OF THE ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF INDUSTRIAL PROCESSES

S u m m a r y

The article constitutes the extension of considerations contained in the paper [1] - "An analysis of the adaptive control systems of industrial processes". The author serves the further five of examples (five examples are contained in [1]) of the solutions of the industrial adaptive control systems.

Basing on the proved in the paper (an in [1] too) the objects' features which determine the necessity of the adaptive control (various gains, various time-constants, and various time delay) the structures of the universal adaptive control system is proposed.