ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1969
Seria: AUTOMATYKA z. 14

Bogusław Wojciechowski
Katedra Automatyzacji
Procesów Przemysłowych

4.2. PRZYCZYNEK DO PROBLEMU REGULACJI TAŚMY SPIEKALNICZEJ

Streszczenie. W pracy przedstawiono aktualny stan automatyzacji taśmy spiekalniczej oraz podano propozycję nowego rozwiązania tego zagadnienia.

Taśmę spiekalniczą rozpatrzono jako dwuwymiarowy obiekt regulacji ze sprzężeniami skrośnymi. Dla tak przyjętego obiektu regulacji podano propozycję struktury obwodów: automatycznej regulacji intensywności spiekania i automatycznej regulacji szybkości posuwu taśmy spiekalniczej, zabezpieczających uzyskiwanie wysokiej wydajności procesu spiekania oraz wysokiej jakości produkowanego spieku.

Ważnym problemem dla procesu spiekania rud jest opracowanie systemu automatyki taśmy spiekalniczej, dotychczasowe bowiem rozwiązania z wielu względów (wskazanych poniżej) wydają się być niezadowalające.

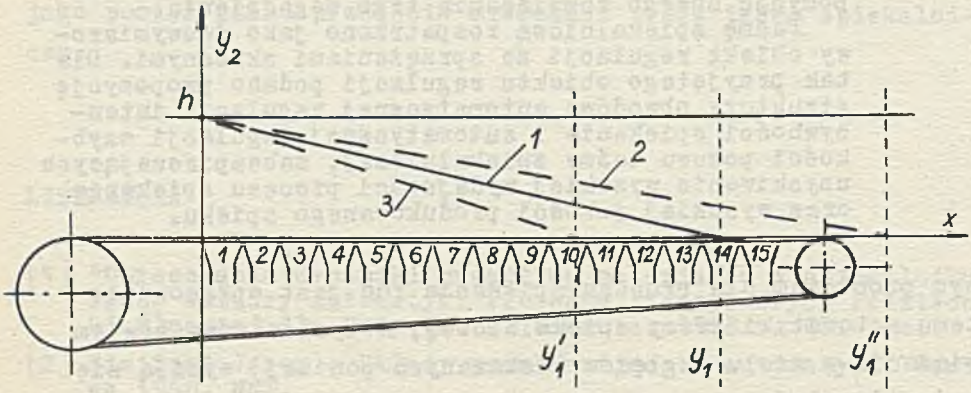
W opracowaniu przedstawiono aktualny stan automatyzacji taśmy spiekalniczej oraz podano propozycję nowego rozwiązania tego zagadnienia.

1. Charakterystyka procesu spiekania

Celem procesu spiekania jest uzyskanie maksymalnej produkcji spieku, przy jednoczesnym zapewnieniu jego najlepszej jakości [1] [2]. Zasadnicze wielkości sterujące to: stosunek składników mieszanki, jej wilgotność, szybkość posuwu taśmy spiekalniczej oraz ilość zassanego powietrza do komór odciągowych. Proces spiekania przebiega w warunkach oddziaływania wielu czynników zakłócających: zmian chemiczno-mineralogicznych i składu ziarnowego składników spiekanej mieszanki, warunków dozowania, transportu, mieszania i nawilżania, warunków układania mieszanki na taśmie spiekalniczej oraz warunków spiekania.

Przy optymalnym reżimie pracy taśmy spiekalniczej, proces winien przebiegać wzdłuż ściśle określonej strefy spiekania i sfinalizować się w końcowej części taśmy, nad przedostatnią komorą ssącą. Cel ten uzyskuje się poprzez zsynchronizowanie: tzw. czasu pionowego spiekania mieszaniny z czasem przebywania na taśmie danej objętości materiału.

W przypadku poprawnego prowadzenia procesu spiekania, zmiana położenia strefy spiekania wzdłuż długości taśmy (oś x) przebiega zgodnie z krzywą "1" (rys. 1). Odpowiada to sytuacji, kiedy przy optymalnej, stałej szybkości posuwu taśmy u_1 i stałej grubości warstwy h - pionowa szybkość spiekania mie-



Rys. 1. Przebieg położenia strefy spiekania przy różnych wartościach szybkości posuwu taśmy

szaniny posiada wartość zapewniającą zakończenie procesu nad przedostatnią komorą ssącą (punkt y_1). Zwiększenie szybkości posuwu taśmy lub zmniejszenie pionowej szybkości spiekania w stosunku do ich wartości optymalnych, powoduje zmianę położenia strefy spiekania wzdłuż krzywej typu "2". Wtedy punkt zakończenia spiekania (y_1'') przesunie się poza długość taśmy, co oznacza niespieczenie się całej ilości mieszaniny przebywającej na taśmie. Z drugiej strony zmniejszenie szybkości posuwu taśmy lub zwiększenie pionowej szybkości spiekania powoduje efekt odwrotny. Wówczas proces kończy się np. w punkcie y_1', a zmiana położenia strefy spiekania przebiega wzdłuż krzywej typu "3". Dodać należy, że każda z wymienionych zmian

parametrów, w stosunku do ich wartości optymalnych, powoduje przede wszystkim zmniejszenie wydajności procesu, przy jednoczesnym pogorszeniu jakości spieku.

2. Aktualny stan automatyzacji taśmy spiekalniczej

W ramach spotykanych współcześnie rozwiązań automatyzacji taśmy spiekalniczej, dostrzec można układy regulacji szybkości taśmy, zabezpieczające uzyskiwanie maksymalnej wydajności produkcji przy konkretnych: własnościach spiekanej mieszaniny i warunkach samego spiekania. W układach tych szybkość posuwu taśmy spiekalniczej reguluje się zazwyczaj na podstawie różnych czynników pozwalających określić punkt zakończenia spiekania (np. kontrola wizualna, wykorzystanie przebiegu profilu temperatur, lub podciśnienia gazu w komorach ssących, badanie maksymalnej wydajności spiekania, czy też stosunku ilości gotowego spieku do ilości spieku zwrotnego, itd.) [2] [3] [4].

Wyróżniającą cechą obecnych UAR szybkości taśmy spiekalniczej jest fakt, że regulację prowadzi się po zakończeniu procesu spiekania, a nie w trakcie jego przebiegu, co w efekcie wprowadza do układu regulacji opóźnienie transportowe.

Ponadto w obecnych rozwiązaniach nie spotyka się układów regulacji jakości produktu, określanej odpowiednią porowatością, wytrzymałością i redukcyjnością spieku. Przeprowadza się jedynie okresowo kontrolę własności spieku i na tej podstawie koryguje się skład spiekanej mieszaniny oraz warunki prowadzenia procesu.

Wobec w/w względów zaproponowano inne rozwiązanie automatyzacji taśmy spiekalniczej.

3. Istota proponowanego rozwiązania

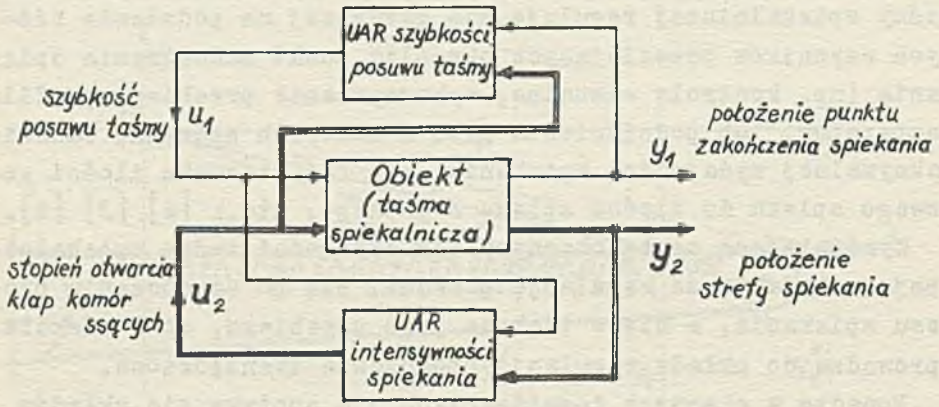
Na rys. 2 przedstawiono taśmę spiekalniczą jako dwuwymiarowy obiekt regulacji ze sprzężeniami skrośnymi. Wielkości wejściowe obiektu to: szybkość posuwu taśmy spiekalniczej oraz stopień otwarcia klap komór ssących. Jako wielkości wyjściowe obiektu przyjęto: położenie punktu zakończenia spiekania oraz położenie strefy spiekania. Regulację wielkości wyjściowych

(konkretniej:ich stabilizację) dokonuje się przy pomocy dwóch obwodów regulacyjnych, uzupełnionych przez dwie pętle sprzężeń kompensujących.

Dzięki tym sprzężeniom jest to układ regulacji autonomicznej.

Proponowany układ podwójnej regulacji taśmy spiekalniczej zabezpiecza maksymalną wydajność procesu przy zadanej jakości spieku.

Istota pracy układu polega na następującym: mieszanina podawana na taśmę spiekalniczą posiada znaczny rozrzut parame-



Rys. 2. System podwójnej regulacji automatycznej taśmy spiekalniczej

trów charakteryzujących zestaw chemiczny i przewiewność w każdej mikro- i makroobjętości, i odpowiednio do tego, mieszanina ułożona na taśmie, w każdej takiej elementarnej objętości wymaga swojego optymalnego reżimu spiekania. Dlatego w ramach układu podwójnej regulacji automatycznej przewidziano dwa rodzaje regulacji:

- automatyczną regulację szybkości taśmy spiekalniczej dla uśrednionej charakterystyki przewiewności całej mieszaniny ułożonej na taśmie oraz
- automatyczną regulację intensywności spiekania - dla oddzielnych odcinków taśmy spiekalniczej (na podstawie położenia strefy spiekania).

W ten sposób automatyczna regulacja szybkości taśmy dla uśrednionej przewiewności mieszaniny zabezpiecza jej maksymalną wydajność, natomiast automatyczna regulacja intensywności spiekania na poszczególnych odcinkach taśmy - odpowiednią jakość spieku.

Poniżej rozpatrzono pracę obu obwodów regulacyjnych.

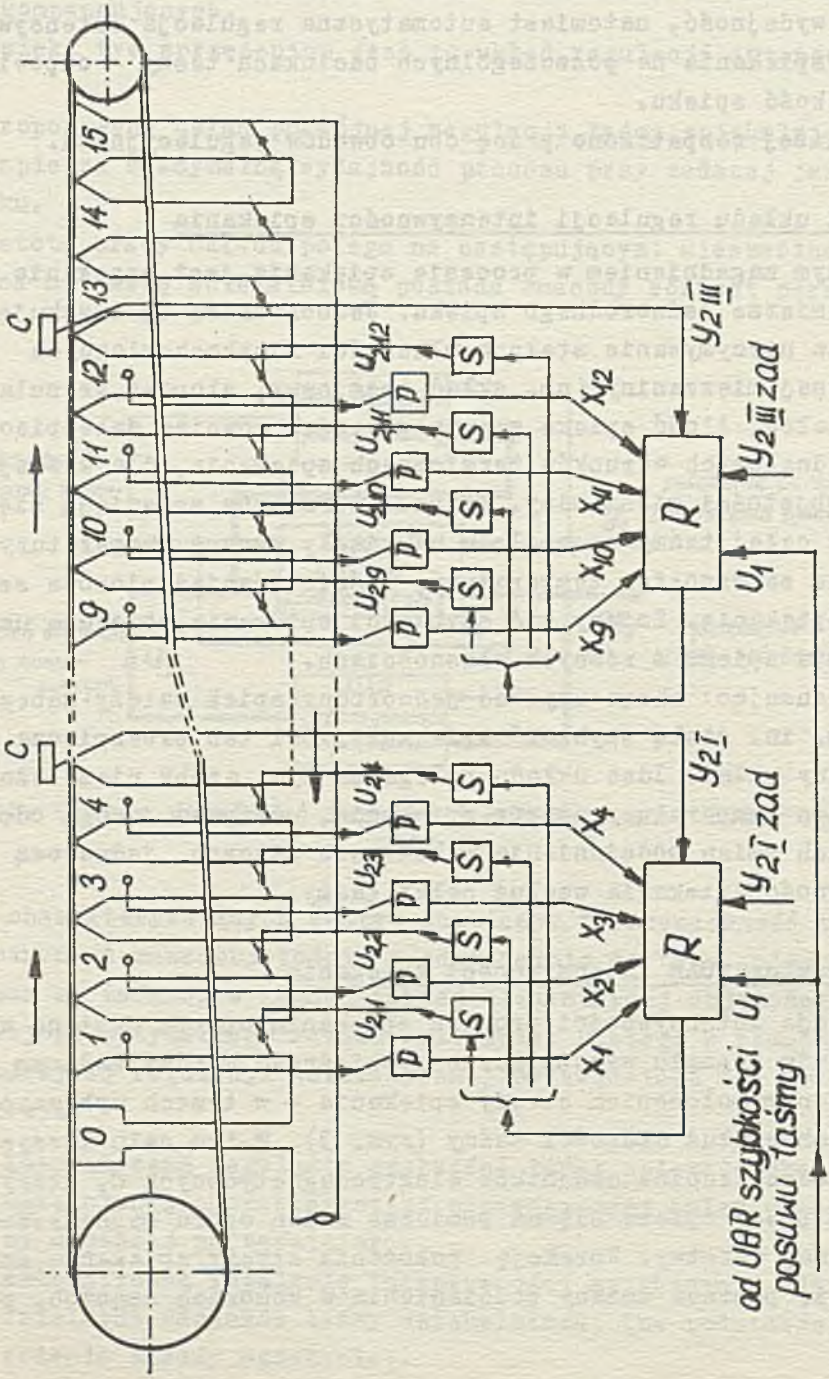
4. Cel układu regulacji intensywności spiekania

Istotnym zagadnieniem w procesie spiekania jest uzyskanie w dużej mierze jednorodnego spieku. Jednorodność tę uzyskuje się poprzez utrzymywanie stałych własności fizykochemicznych spiekanej mieszaniny (np. skład chemiczny, stopień granulacji materiałów, ilość spieku zwrotnego), jak również zabezpieczenie jednakowych warunków termicznych spiekania, dla każdej mikroobjętości mieszaniny. Warunki termiczne zmieniają się wzdłuż całej taśmy ze względu na ciągły wzrost temperatury. Łącznie ze wzrostem temperatury, rośnie również pionowa szybkość spiekania. Zmiany zaś szybkości spiekania powodują uzyskiwanie spieku o różnych własnościach.

Reasumując: chcąc uzyskać jednorodny spiek należy zabezpieczyć m. in. stałą szybkość spiekania. Cel ten zabezpiecza proponowany układ. Idea układu polega na tym, ażeby niezależnie od zmian temperatury strefy spiekania, utrzymać drogą odpowiednich zmian podciśnienia w komorach ssących jednakową intensywność spiekania wzdłuż całej taśmy.

5. Struktura UAR intensywności spiekania

Regulacja intensywności procesu spiekania oparta jest na wykorzystaniu sygnału wyrażającego rozbieżność między zadanym i faktycznym położeniem strefy spiekania - w trzech wybranych punktach wzdłuż długości taśmy (rys. 3). W tym celu korzysta się z odpowiednich czujników elektromagnetycznych C, których zasada pracy opiera się na pomiarze zmian oporu magnetycznego spiekanej warstwy. Korekcję położenia strefy spiekania uzyskuje się poprzez zmiany podciśnienia w komorach ssących, po-



Rys. 3. UAR intensywności spiekania mieszaniny

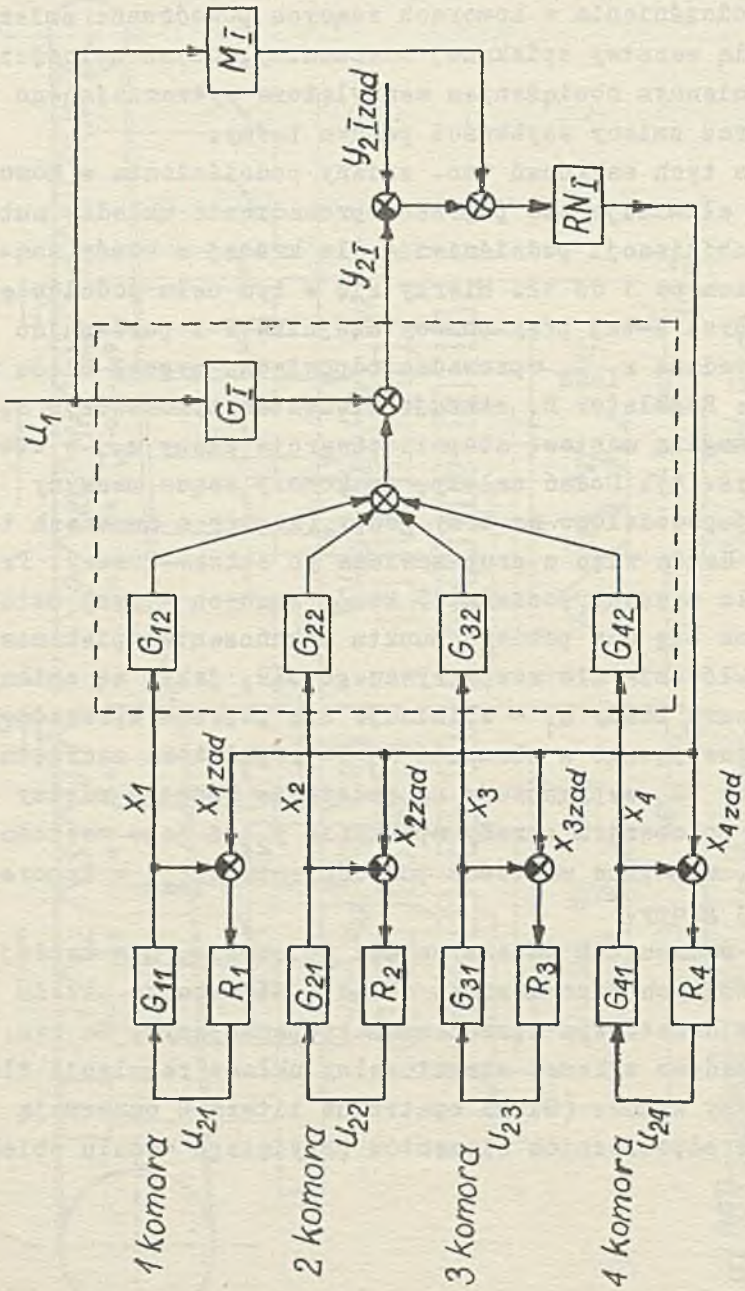
wodując tym samym odpowiednio: zwiększenie lub zmniejszenie pionowej szybkości spiekania.

Zasadniczymi zakłóceniami dla UAR intensywności spiekania są: zmiany podciśnienia w komorach ssących powodowane zmienną przewiewnością warstwy spiekanej mieszaniny, nieszczelnością urządzeń i zmiennym obciążeniem wentylatora wytwarzającego podciśnienie oraz zmiany szybkości posuwu taśmy.

Pierwsze z tych zakłóceń tzn. zmiany podciśnienia w komorach ssących eliminuje się poprzez wprowadzenie układów automatycznej stabilizacji podciśnienia dla każdej z komór ssących o numerach od 1 do 12. Mierzy się w tym celu podciśnienie x_i w komorze i-tej przy pomocy czujnika P i porównując z wartością zadaną x_{izad} wprowadza odpowiedni sygnał błędu na regulator R_i. Regulator R_i steruje elementem wykonawczym S, powodując wymaganą nastawę stopnia otwarcia klapy u_{2i} w komorze i-tej (rys. 4). Dodać należy, że komory ssące maszyny spiekalniczej podzielono na trzy grupy (komory o numerach 1-4, 5-8 i 9-12). Każda więc z grup zawiera po cztery komory. Przyjmując, że cała maszyna posiada 15 komór ssących - trzy ostatnie przeznacza się dla pomiaru punktu zakończenia spiekania.

Drugie zakłócenie dla rozpatrywanego UAR, jakim są zmiany szybkości posuwu taśmy u_1 - eliminuje się poprzez wprowadzenie sygnału kompensującego z elementu M_j do regulatora nadrzędnego RN_j. Regulator RN_j wypracowuje na podstawie różnicy między rzeczywistym położeniem strefy spiekania y_{2j} i jego wartością zadaną y_{2jzad} wymagane wartości podciśnienia x_{izad} w komorach ssących j-tej grupy.

W sumie w ramach UAR intensywności spiekania, dla każdej grupy komór ssących przewidziano układ o strukturze układu kaskadowego z dodatkowym sprzężeniem kompensującym. Na rys. 4 podano przykładowo schemat strukturalny układu regulacji dla pierwszej grupy komór. (Bloki opatrzone literą G oznaczają transmitancje odpowiednich elementów przyjętego modelu obiektu).



Rys. 4. Schemat strukturalny UAR intensywności spiekania mieszaniny

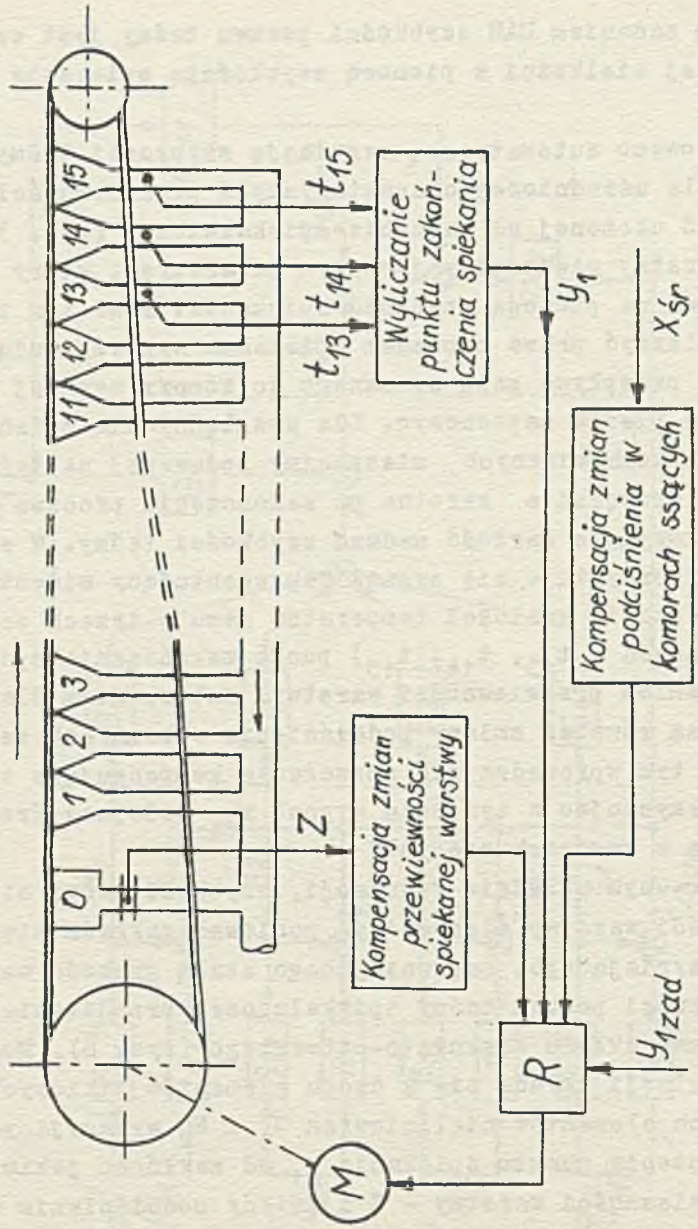
6. UAR szybkości posuwu taśmy spiekalniczej

Podstawowym zadaniem UAR szybkości posuwu taśmy jest zsynchronizowanie tej wielkości z pionową szybkością spiekania warstwy mieszaniny.

Zaproponowano automatyczną regulację szybkości taśmy spiekalniczej dla uśrednionej charakterystyki przewiewności całej mieszaniny. Z ułożonej na maszynie spiekalniczej (rys. 5). Przewiewność warstwy mieszaniny jest tym parametrem, który decydująco wpływa na pionową szybkość spiekania. Poza tym parametr ten można mierzyć przed procesem spiekania wykorzystując w tym celu pomiar przepływu gazu zassanego do komory zerowej umieszczonej przed piecem zapłonowym. Dla uwzględnienia zmian charakterystyk fizykochemicznych mieszaniny podawanej na taśmę, stosuje się sprzężenie zwrotne po zakończeniu procesu spiekania, które koryguje wartość zadaną szybkości taśmy. W sprzężeniu tym wykorzystuje się sygnał reprezentujący zidentyfikowany (na podstawie wartości temperatur gazu w trzech ostatnich komorach ssących - t_{13}, t_{14}, t_{15}) punkt zakończenia spiekania y_1. Oprócz zmian przewiewności warstwy, zaburzeniem dla opisywanego UAR są również zmiany podciśnienia w komorach ssących. W związku z tym wprowadza się sprzężenie kompensujące to zakłócenie, wykorzystując w tym celu sygnał $x_{śr}$ podający średnie podciśnienie w komorach ssących.

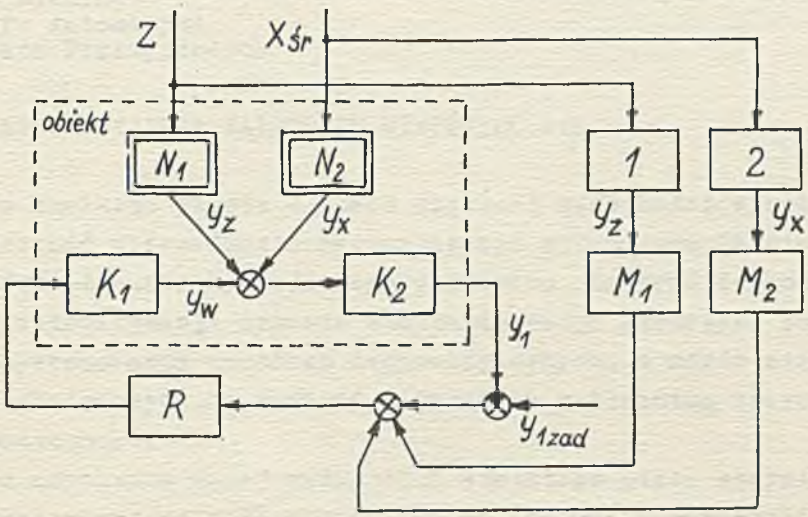
W proponowanym układzie regulacji, szybkość taśmy nie zależy od grubości warstwy mieszaniny, ponieważ zakłada się istnienie noża zgarniającego, zapewniającego stałą grubość warstwy.

UAR szybkości posuwu taśmy spiekalniczej przedstawia sobą strukturę tzw. układu zamknięto- otwartego (rys. 6). Model obiektu regulacji składa się z dwóch elementów liniowych K_1 i K_2 oraz dwóch elementów nieliniowych N_1 i N_2 wyrażających zależność położenia punktu spiekania y_1 od zakłóceń jakimi są: zmiany przewiewności warstwy - Z i zmiany podciśnienia w komorach ssących $x_{śr}$. Wielkości y_w, y_z i y_x - to składowe y_1 odpowiednio ze względu na: szybkość posuwu taśmy, przewiewność warstwy i podciśnienie w komorach ssących. Bloki "1" i "2" stanowią modele części nieliniowych obiektu N_1 i N_2, umożliwiając



Rys. 5. UAR szybkości posuwu taśmy spiekalniczej

analizę układu jako liniowego obwodu regulacji. Na regulator R podaje się różnicę rzeczywistego i zadanego położenia punktu



Rys. 6. Schemat strukturalny UAR szybkości posuwu taśmy spiekalniczej

zakończenia spiekania oraz sygnały od zakłóceń poprzez bloki kompensujące M_1 i M_2. Regulator R steruje wzbudzeniem generatora w napędzie taśmy spiekalniczej, uzyskując odpowiednie zmiany prędkości posuwu taśmy.

LITERATURA

[1] Rurański St. - Zarys mechanizacji i automatyzacji w hutnictwie żelaza, Katowice 1967, "Śląsk".

[2] Klimowickij M.D., Kopełowicz A.P. - Awtomaticzeskij kontrol i regulirowanije w czernoj metałłurgii - Sprawocznik, Moskwa 1967 Izd. "Metałłurgia".

[3] Leclergo P., Xardel G. - L'automatisme de la chaine d'agglomeration de l'usine D'Homecourt (SIDELOR) Rev. Metall, Vol. 60, nr 6, 1963.

[4] Tunny W.I. - Control and instrumentation for a new sintering plant, Iron Steel Engr. Vol. 39, nr 9/1963.

[5] Kazuto Togino - The Government Mechanical Laboratory Tokyo, Japan, Sampling Controllers Pace Japanesse Sintering Mill, Control Engr. May 1964.