ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1970
Seria: ENERGETYKA z. 37 Nr kol. 282

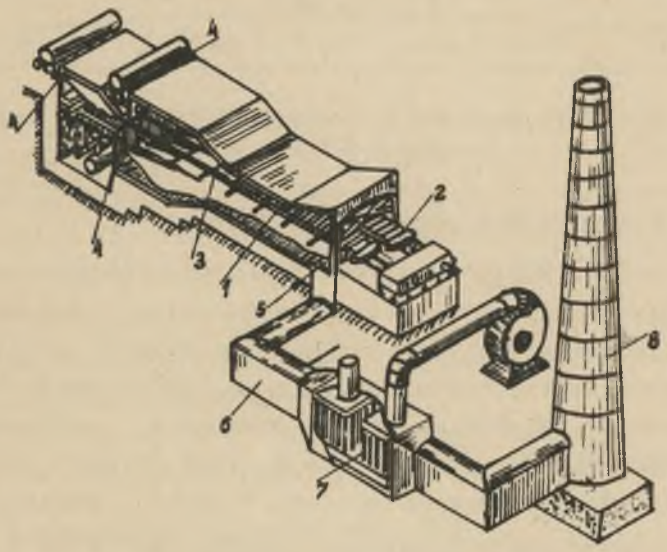
Jerzy Widenka
Wydziałowe Laboratorium
Miernictwa i Automatyki
Procesów Energetycznych

PIEC PRZEPYCHOWY JAKO OBIEKT REGULACJI TEMPERATURY

Streszczenie: W pracy przedstawiono model własności dynamicznych trójstrefowego pieca przepychowego Transmitancje schematu blokowego obliczono na podstawie układu równań różniczkowych opisujących wymianę w przestrzeni roboczej pieca. Otrzymany schemat blokowy wykorzystano dla porównania różnych koncepcji regulacji temperatury w piecu.

Wstęp

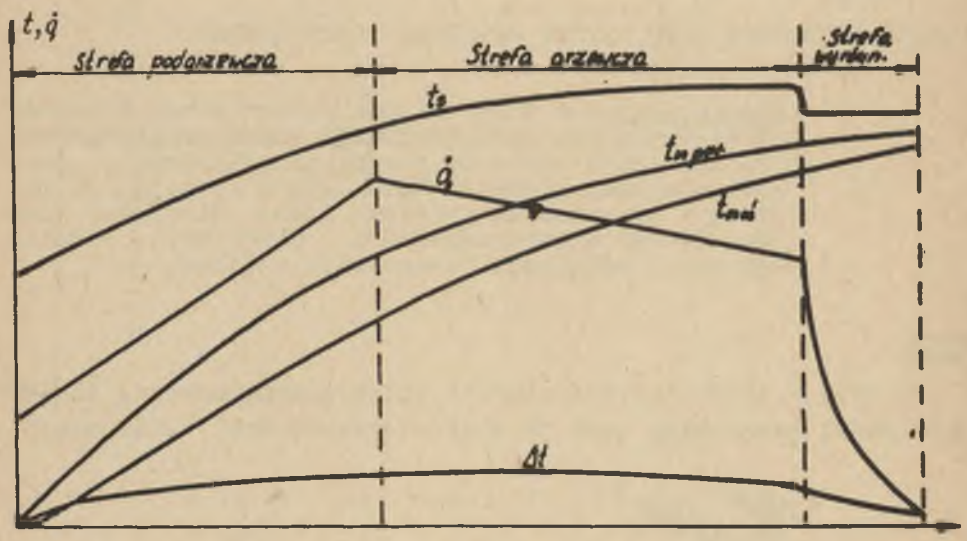
Na rys. 1 przedstawiono schemat pieca przepychowego. Nagrzewany metal przesuwany jest po chłodzonych rurach ślizgowych.



Rys. 1. Schemat ideowy pieca przepychowego
1) nagrzewany metal, 2) popychacz, 3) rury ślizgowe, 4) palniki, 5) i 6) kanały spalinowe, 7) rekuperator, 8) komin

Paliwo spala się w palnikach umieszczonych nad i pod powierzchnią nagrzewanego metalu.

Produkty spalania przepływają w przeciwprądzie w stosunku do nagrzewanego metalu. Po przejściu przez rekuperator spaliny przechodzą do atmosfery. Nagrzany metal wydawany jest przez okno wypychowe. Rozkład temperatur i strumienia cieplnego przejmowanego przez nagrzewany metal przedstawia rys. 2.

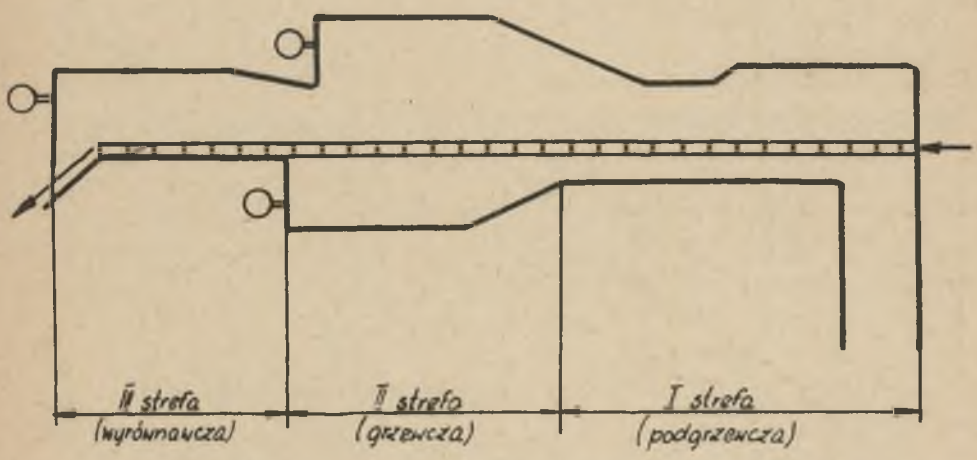


Rys. 2. Rozkład temperatury i strumienia cieplnego wzdłuż długości pieca

1. Własności dynamiczne pieca przepychowego

Wskutek zmiany wartości opałowej paliwa, asortymentu nagrzewanego wsadu, zmiany szybkości przesuwu wsadu i innych zakłóceń występujących w procesie nagrzewania metalu, przedstawione na rys. 2 profile temperatur ulegają zniekształceniu co powoduje pogorszenie jakości nagrzewu. Działaniu zakłóceń może przeciwdziałać układ regulacji temperatury, przez odpowiednią zmianę ilości doprowadzonego paliwa. W celu zaprojektowania właściwego układu regulacji należy poznać własności dynamiczne pieca, tzn. zmiany temperatury spalin i nagrzewanego metalu wywołanych zakłóceniami i zmianą ilości doprowadzonego do palni-

ków gazu. Ze względu na długość pieca i grubość obmurza oraz nagrzewanego wsadu, procesy wymiany ciepła w przestrzeni roboczej pieca należałoby opisać cząstkowymi równaniami różniczkowymi. Ponieważ nie można uzyskać rozwiązania układu równań cząstkowych opisujących wymianę ciepła w sposób analityczny, całą długość pieca podzielono na trzy strefy (rys. 3).

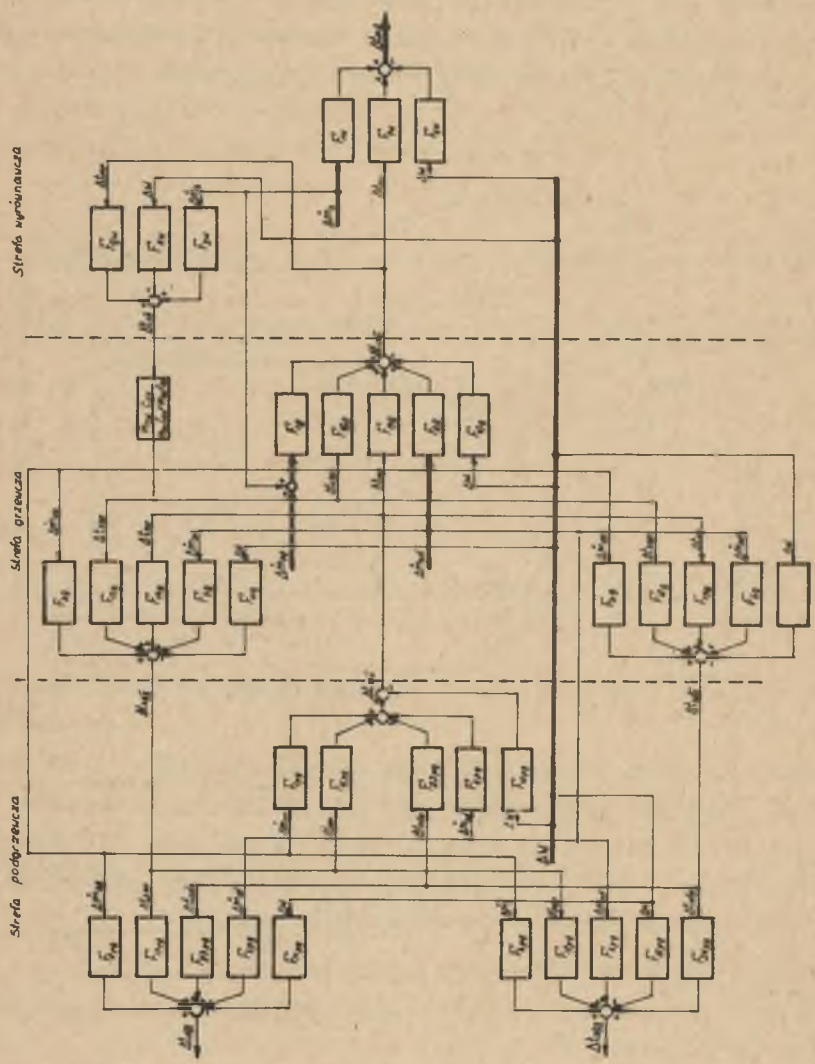


Rys. 3. Schemat podziału pieca przepychowego na trzy strefy

W każdej strefie procesy wymiany ciepła opisano zwykłymi równaniami różniczkowymi, dla średnich wartości parametrów określających reżim cieplny danej strefy. Przyjęcie takiego modelu pozwala traktować piec jako obiekt o stałych skupionych. Jako główne zakłócenia nagrzewania wsadu przyjęto:

a) zmiany grubości wsadu Δx
b) zmiany szybkości przesuwu wsadu, związane ze zmiennym tempem walcowania Δw
c) zmiany początkowej temperatury wsadu Δt_{wp}
d) zmiany wartości opałowej gazu ΔW_d.

Schemat blokowy uwzględniający zmianę szybkości przesuwu wsadu ΔW oraz zmiany wielkości nastawczych (ilość gazu do poszczególnych stref), przedstawia rys. 4.



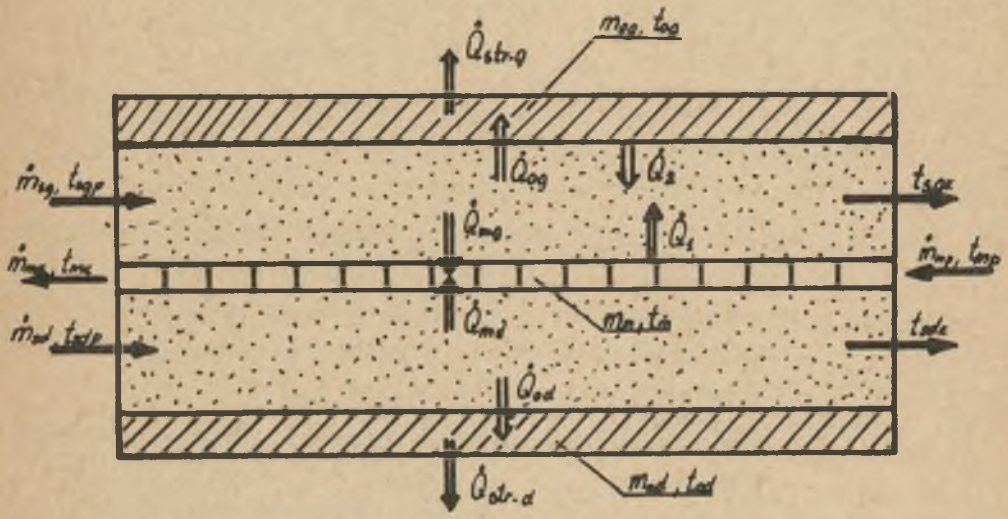
Rys. 4. Schemat blokowy pieca przepychowego dla zakłócenia od zmian prędkości przesuwu Δw

Wszystkie wielkości na schemacie oznaczają przyrosty temperatur metalu, spalin podgrzewu górnego i dolnego oraz przyrosty ilości spalin dla poszczególnych stref.

Wielkości otrzymane na schemacie blokowym przez sumowanie poszczególnych składowych w węzłach sumacyjnych oznaczają przyrosty temperatur końcowych (na wylocie) danej strefy. Transmitancje poszczególnych bloczków schematu obliczono na podstawie równań opisujących wymianę ciepła w przestrzeni roboczej każdej strefy pieca.

2. Równania różniczkowe wymiany ciepła w przestrzeni roboczej pieca

Podany niżej układ równań opisuje wymianę ciepła w strefie podgrzewczej i grzewczej. Dla strefy wyrównawczej należy opuścić równanie (4) ponieważ w tej strefie nie ma dolnego podgrze-



Rys. 5. Schemat przepływu spalin i wsadu w strefie grzewczej

wu wsadu. Ciepło przejmowane przez spód strefy wyrównawczej $\dot{Q}_{od}$ należy obliczyć zakładając równość temperatur metalu i powierzchni obmurza dolnego.

Schemat przepływu spalin i wsadu przedstawia rys. 5.

$$m_{og}\, C_{og}\, \frac{d\, t_{og}}{d\tau} = \dot{Q}_{og} - \dot{Q}_{str-g} \tag{1}$$

$$\dot{m}_{sg}\, C_{sg} \Big|_{0}^{t_{sgp}} t_{sgp} - \dot{m}_{sg}\, C_{sg} \Big|_{0}^{t_{sgk}} t_{sgk} = \dot{Q}_{mg} + \dot{Q}_{gII} + \dot{Q}_{og} \tag{2}$$

$$C_m\, \frac{d\left(m_m\, \frac{t_{mk}+t_{mp}}{2}\right)}{d\tau} = \dot{Q}_{mg} + \dot{Q}_{md} + \dot{m}_{mp}\, C_m \Big|_{0}^{t_{mp}} t_{mp} - \dot{m}_{mk} C_m \Big|_{0}^{t_{mk}} t_{mk} \tag{3}$$

$$\dot{m}_{sd}\, C_{sd} \Big|_{0}^{t_{sdp}} .t_{sdp} - \dot{m}_{sd}\, C_{sd} \Big|_{0}^{t_{sdk}} .t_{sdk} = \dot{Q}_{md} + \dot{Q}_{dII} + \dot{Q}_{od} \tag{4}$$

$$m_{od}\, C_{od}\, \frac{d\, t_{od}}{d\tau} = \dot{Q}_{od} - \dot{Q}_{str-d} \tag{5}$$

gdzie:

m_{og}, m_{od} – masy obmurza górnego i dolnego biorące udział w wymianie ciepła w stanach nieustalonych

C_{od}, C_{og} – rzeczywiste ciepła właściwe obmurza górnego i dolnego dla średnich temperatur powierzchni obmurza w danej strefie t_{og} i t_{od}

t_{og}, t_{od} – średnie temperatury powierzchni obmurza górnego i dolnego

$\dot{Q}_{og}$, $\dot{Q}_{od}$ – ilość ciepła przyjmowana przez obmurze górne i dolne od strony przestrzeni roboczej pieca

$\dot{Q}_{str-g}$, $\dot{Q}_{str-d}$ – straty ciepła przez obmurze górne i dolne do otoczenia

t_{sgp}, t_{sgk}, t_{sdp}, t_{sdk} – początkowe i końcowe temperatury spalin podgrzewu górnego i dolnego

$C_{sg}\Big|_0^{t_{sgp}}$, $C_{sd}\Big|_0^{t_{sdp}}$, $C_{sg}\Big|_0^{t_{sgk}}$, $C_{sd}\Big|_0^{t_{sdk}}$ – średnie ciepła właściwe spalin

$\dot{Q}_{IIg}$, $\dot{Q}_{IId}$ – ciepło tracone przez spaliny wskutek wybijania spalin, promieniowania przez otwory i nagrzewanie wody chłodzącej szyny ślizgowe

$\dot{Q}_{mg}$, $\dot{Q}_{md}$ – ciepło przejmowane przez grzany metal

t_{mp}, t_{mk} – początkowa i końcowa temperatura powierzchni metalu w strefie

$\dot{m}_{mp}$, $\dot{m}_{mk}$ – wydajności pieca mierzone na wlocie i wylocie strefy

m_m – masa nagrzewanego metalu w danej strefie,

$c_m\Big|_0^{t_{mp}}$, $c_m\Big|_0^{t_{mk}}$ – średnie ciepła właściwe metalu

c_m – rzeczywiste ciepło właściwe metalu dla temperatury t_m.

Załadunek i wyładunek grzanych slabów odbywa się okresowo. Ponieważ okres czasu między dwoma kolejnymi załadunkami jest mały w porównaniu z czasem trwania przebiegu nieustalonego wywołanego wystąpieniem zakłócenia, przyjęto, że przesuw nagrzewanego wsadu jest ciągły. Oprócz tego przyjęto następujące założenia:

a) ciepło przejmowane przez obmurze składa się z dwóch części:

$\dot{Q}_{pr}$ – ciepło wymienione drogą promieniowania,

$\dot{Q}_k$ – ciepło wymienione drogą konwekcji.

Dla obmurza górnego i dolnego przyjmuje się, że ciepło wymienione drogą konwekcji pokrywa straty obmurza do otoczenia $\dot{Q}_{str-g} = \dot{Q}_{k-g}$, $\dot{Q}_{str-d} = \dot{Q}_{kd}$

b) ilość ciepła wymieniona przez konwekcję między spalinami a metalem jest mała w stosunku do ilości ciepła wymienionej przez promieniowania,

c) zmiany $\dot{Q}_{II}$ oraz $\dot{Q}_{str}$ w stanach nieustalonych są pomijalnie małe

d) pojemność cieplną spalin pominięto jako nieznaczną w porównaniu z pojemnością metalu i obmurza.

Wielkość $\dot{Q}_{ogpr}$, $\dot{Q}_{mg}$, $\dot{Q}_{odpr}$, $\dot{Q}_{md}$ obliczono na podstawie równań opisujących wymianę ciepła przez promieniowanie w górnej i dolnej części przestrzeni roboczej (rys. 5).

Ilość ciepła pochłonięta przez metal jest określona wzorem:

$$\dot{Q}_{mg} = A_m \sigma_o \varepsilon_s T_{sg}^4 + \varphi_{o-m}(1 - \varepsilon_s) \dot{Q}_2 - \dot{Q}_1 \qquad (6)$$

gdzie:

A_m - powierzchnia metalu,

σ_o - zastępczy współczynnik promieniowania,

ε_s, $T_{sg} = \frac{T_{sgk} + T_{sgp}}{2}$ - emisyjność i średnia temperatura spalin,

φ_{o-m} - współczynnik opromieniowania obmurze-metal

$$\varphi_{o-m} = \frac{A_m}{A_o} \qquad (7)$$

A_o - powierzchnia obmurza,

$\dot{Q}_1$, $\dot{Q}_2$ - ilości ciepła odchodzące od powierzchni metalu i obmurza.

Pierwszy składnik $A_m \sigma_o \varepsilon_s T_s$ jest ilością ciepła emitowaną przez spaliny w kierunku metalu, drugi składnik $\varphi_{o-m}(1-\varepsilon_s)Q_2$ jest tą częścią ciepła Q_2 odchodzącą od powierzchni obmurza, która nie została pochłonięta przez spaliny i pada na powierzchnię metalu.

Ilość ciepła przejmowana przez obmurze jest określona wzorem:

$$\dot{Q}_{ogpr} = A_o \sigma_o \varepsilon_s T_{sg}^4 + (1-\varepsilon_s) \dot{Q}_1 + Q_2(1-\varphi_{o-m})(1-\varepsilon_s) - \dot{Q}_2 \qquad (8)$$

Poszczególne składniki oznaczają:

$A_o \sigma_o \varepsilon_s T_{sg}^4$ – ilość ciepła emitowanego przez spaliny w kierunku obmurza

$(1-\varepsilon_s)\dot{Q}_1$ – część ciepła $\dot{Q}_1$ która nie została pochłonięta przez spaliny i pada na powierzchnię obmurza

$(1-\varphi_{o-m})(1-\varepsilon_s)\dot{Q}_2$ – część ciepła odchodzącego od powierzchni obmurza nie pochłonięta przez spaliny, która pada z powrotem na obmurze

Wielkości $\dot{Q}_1$ i $\dot{Q}_2$ są określone zależnościami:

$$\dot{Q}_1 = (1-\varepsilon_m)A_m \varepsilon_s \sigma_o T_{sg}^4 + (1-\varepsilon_m)(1-\varepsilon_s)\varphi_{o-m}\dot{Q}_2 + A_m \sigma_o \varepsilon_m T_m^4 \qquad (9)$$

gdzie:

ε_m – emisyjność metalu

$T_m = \frac{T_{mk}+T_{mp}}{2}$ – średnia temperatury metalu

Pierwszy składnik jest ciepłem wypromieniowanym przez spaliny w kierunku metalu odbitym od jego powierzchni, drugi składnik jest częścią ciepła Q_2, która pada na powierzchnię metalu i zostaje od niej dobita, trzeci składnik określa emisję własną powierzchni metalu.

$$\dot{Q}_2 = (1-\varepsilon_o)A_o \sigma_o \varepsilon_s T_{sg}^4 + (1-\varepsilon_o)(1-\varepsilon_s)\dot{Q}_1 + (1-\varepsilon_s)(1-\varepsilon_o)(1-\varphi_{o-m})\dot{Q}_2 + A_o \sigma_o \varepsilon_o T_{og}^4 \qquad (10)$$

gdzie:

ε_o - emisyjność obmurza

T_{og} - średnia temperatura obmurza górnego.

Pierwszy składnik jest ilością ciepła wypromieniowaną przez spaliny na obmurze, która została odbita od jego powierzchni, drugi składnik i trzeci określa tę część ciepła $\dot{Q}_1$ i $\dot{Q}_2$, która pada na powierzchnię obmurza i zostaje od niej odbita, czwarty składnik określa emisję własną powierzchni obmurza. Po obliczeniu z równań (9) i (10) wielkości $\dot{Q}_1$ i $\dot{Q}_2$ i po podstawieniu ich do równań (6) i (8) otrzymuje się wyrażenia określające $\dot{Q}_{mg}$ i $\dot{Q}_{ogpr}$ w zależności od temperatur spalin, metalu i obmurza.

$$\dot{Q}_{mg} = a_1 T_{sg}^4 + b_1 T_{og}^4 - C_1 T_m^4 \tag{11}$$

gdzie:

$$a_1 = A_m \sigma_o \varepsilon_s \varepsilon_m + \varphi_{o-m}(1-\varepsilon_s)\varepsilon_m k_1 \tag{12}$$

$$b_1 = \varphi_{o-m}(1-\varepsilon_s)\varepsilon_m k_2 \tag{13}$$

$$C_1 = \varphi_{o-m}(1-\varepsilon_s)\varepsilon_m k_3 + A_m \sigma_o \varepsilon_m \tag{14}$$

Współczynniki k_1, k_2, k_3 są określone wzorami:

$$k_1 = \frac{\sigma_o(1-\varepsilon_o)\varepsilon_s A_o + A_m(1-\varepsilon_s)(1-\varepsilon_m)}{1-(1-\varphi_{o-m})(1-\varepsilon_s)(1-\varepsilon_o)-(1-\varepsilon_o)(1-\varepsilon_m)(1-\varepsilon_s)^2\varphi_{o-m}} \tag{15}$$

$$k_2 = \frac{A_o \sigma_o \varepsilon_o}{1-(1-\varphi_{o-m})(1-\varepsilon_s)(1-\varepsilon_o)-(1-\varepsilon_o)(1-\varepsilon_m)(1-\varepsilon_s)^2\varphi_{o-m}} \tag{16}$$

$$k_3 = \frac{A\ \sigma_o\ (1-\varepsilon_o)(1-\varepsilon_s)\ \varepsilon_m}{1-(1-\varphi_{o-m})(1-\varepsilon_s)(1-\varepsilon_o)-(1-\varepsilon_o)(1-\varepsilon_m)(1-\varepsilon_s)^2\ \varphi_{o-m}} \tag{17}$$

$$\dot{Q}_{ogpr} = a_2\ T_s^4 + o_2\ T_m^4 - b_2\ T_{og}^4 \tag{18}$$

gdzie:

$$a_2 = A_o\ \sigma_o\ \varepsilon_s + (1-\varepsilon_s)k_4 - (\varepsilon_s + \varphi_{o-m} - \varepsilon_s\ \varphi_{o-m})\ k_1 \tag{19}$$

$$b_2 = (\varepsilon_s + \varphi_{o-m} - \varepsilon_s\ \varphi_{o-m})k_5 - (1-\varepsilon_s)\ k_3 \tag{20}$$

$$o_2 = (1-\varepsilon_s)k_6 - (\varepsilon_s + \varphi_{o-m} - \varepsilon_s\ \varphi_{o-m})\ k_2 \tag{21}$$

Współczynniki k_4, k_5 i k_6 są określone wzorami:

$$k_4 = \frac{\left\{\left[1-(1-\varphi_{o-m})(1-\varepsilon_o)(1-\varepsilon_s)\right]A_m + (1-\varepsilon_o)(1-\varepsilon_s)\varphi_{o-m}A_o\right\}\varepsilon_s(1-\varepsilon_m)}{1-(1-\varphi_{o-m})(1-\varepsilon_s)(1-\varepsilon_o)-(1-\varepsilon_o)(1-\varepsilon_m)(1-\varepsilon_s)^2\ \varphi_{o-m}} \tag{22}$$

$$k_5 = \frac{A_m\ \sigma_o\ \varepsilon_m\left[1-(1-\varphi_{o-m})(1-\varepsilon_o)(1-\varepsilon_s)\right]}{1-(1-\varphi_{o-m})(1-\varepsilon_s)(1-\varepsilon_o)-(1-\varepsilon_o)(1-\varepsilon_m)(1-\varepsilon_s)^2\ \varphi_{o-m}} \tag{23}$$

$$K_6 = \frac{A_o\ \sigma_o\ \varepsilon_o\ (1-\varepsilon_m)(1-\varepsilon_s)\ \varphi_{o-m}}{1-(1-\varphi_{o-m})(1-\varepsilon_s)(1-\varepsilon_o) - (1-\varepsilon_o)(1-\varepsilon_m)(1-\varepsilon_s)^2\ \varphi_{o-m}} \tag{24}$$

Analogiczne zależności można podać dla dolnej części przestrzeni roboczej pieca.

4. Linearyzacja równań wymiany ciepła

Z uwagi na charakter wymiany ciepła (promieniowanie), układ równań różniczkowych (1) - (5) jest nieliniowy. Każda z wielkości zmiennych jest sumą wielkości w stanie ustalonym (oznaczoną znakiem kreska) i przyrostu Δ . Podstawiając do równań różniczkowych: $t_{og} = \bar{t}_{og} + \Delta t_{og}$, $t_{mp} = \bar{t}_{mp} + \Delta t_{mp}$, $t_{od} = \bar{t}_{od} + \Delta t_{od}$ itd., następnie uwzględniając tylko liniowe części przyrostów rozwiniętych w szereg Taylora poszczególnych wyrażeń układu równań (1) - (5), otrzymuje się układ równań różniczkowych dla przyrostów wielkości zmiennych.

Niżej podano dla przykładu układ równań różniczkowych dla strefy grzewczej pieca przepychowego walcowni uniwersalnej Huty im. Nowotki w Ostrowcu Świętokrzyskim. Podany układ równań uwzględnia zmianę szybkości przesuwu wsadu, wywołaną zmiennym tempem walcowania.

Dane:

a) podgrzew górny

$A_m = 15\ m^2$ $\quad A_o = 31\ m^2$ $\quad \varphi_{o-m} = 0{,}484$

$\varepsilon_m = 0{,}8$ $\quad \varepsilon_o = 0{,}8$ $\quad \varepsilon_s = 0{,}22$

b) podgrzew dolny

$A_m = 15\ m^2$ $\quad A_o = 27{,}5\ m^2$ $\quad \varphi_{o-m} = 0{,}546$

$\varepsilon_m = 0{,}8$ $\quad \varepsilon_o = 0{,}8$ $\quad \varepsilon_s = 0{,}26$

$m_{og} = 550\ kg$ $\quad m_{od} = 505\ kg$ $\quad m_m = 16400\ kg$

$c_{og} = 1{,}07\ \frac{kJ}{kg\ grd}$ $\quad c_{od} = 1{,}14\ \frac{kJ}{kg.grd}$

$\dot{m}_{mp} = \dot{m}_{mk} = 29000\ kg/h$ $\quad c_m = 0{,}72\ \frac{kJ}{kg\ grd}$

$$\dot{V}_{sg} = \dot{V}_{sd} = 77\ Nm^3/h \qquad t_{sg} = t_{sd} = 1360^oC$$

$$c_{sg}\Big|_0^{t_{sgk}} = c_{sd}\Big|_0^{t_{sdk}} = 1{,}7\ \frac{kJ}{Nm^3\,grd}$$

$$t_{og} = t_{od} = 1230^oC \qquad t_m = \frac{t_{mp} + t_{mk}}{2} = 1080^oC$$

Dla podanych wyżej danych zlinearyzowany układ równań (1) -(5) dla przyrostów temperatur przyjmuje postać:

$$\frac{d(\Delta t_{og})}{d\tau} = 11{,}4\ \Delta t_{sg} + 7{,}3\ \Delta t_m - 18{,}7\ \Delta t_{og}$$

$$\Delta t_{sg} = 0{,}146\ \Delta t_m + 0{,}385\ \Delta t_{og}$$

$$\frac{d(\Delta t_m)}{d\tau} = 1{,}16\ \Delta t_{sg} + 1{,}97\ \Delta t_{og} + 1{,}94\ \Delta t_{od} + 1{,}24\ \Delta t_{sd} -$$

$$- 6{,}05\ \Delta t_m + 31{,}4\ w\ m/h$$

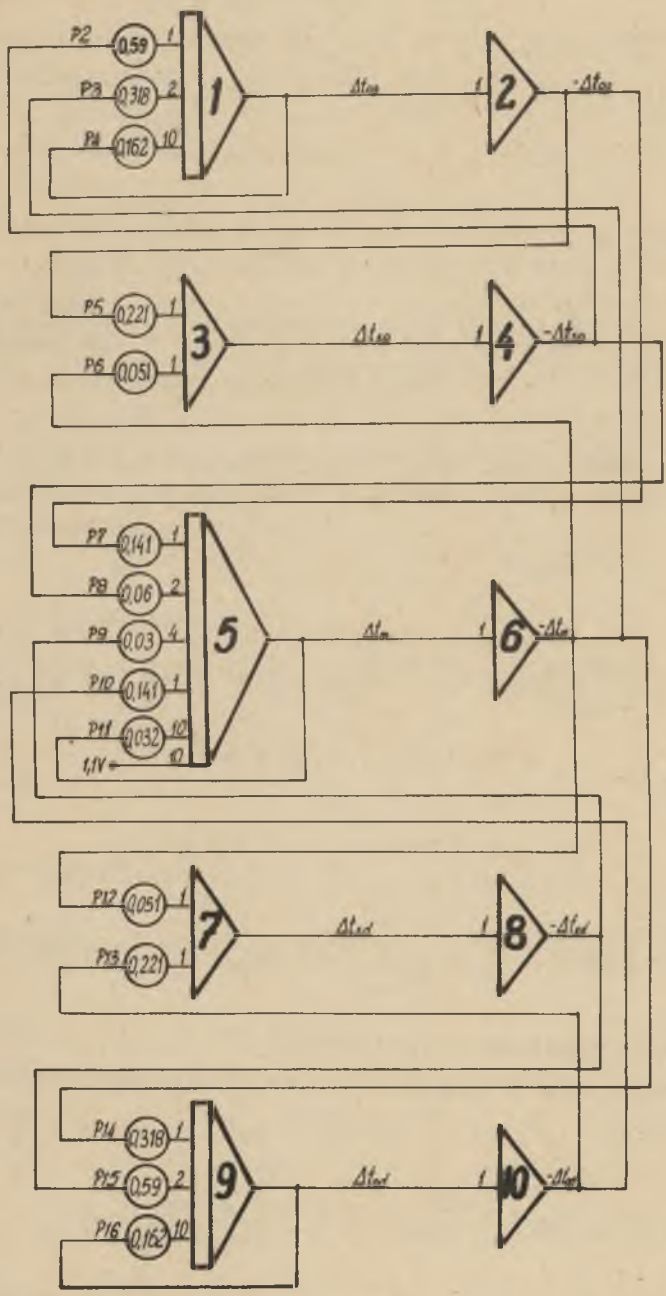
$$\Delta t_{sd} = 0{,}142\ \Delta t_m + 0{,}387\ \Delta t_{od}$$

$$\frac{d(\Delta t_{od})}{d\tau} = 12\ \Delta t_{sd} + 8{,}12\ \Delta t_m - 20{,}1\ \Delta t_{od} \qquad (25)$$

Czas (τ) jest wyrażony w godzinach.
Po wprowadzeniu współczynników skalowych dla temperatury i czasu:

$$k_t = 1\ \frac{V}{^oC} \qquad k\tau = \frac{\tau_m}{\tau} = \frac{1}{720}$$

otrzymuje się układ równań "maszynowy", który zamodelowano na elektronicznej maszynie analogowej ELWAT-1.



Rys. 6. Schemat maszynowy zamodelowanego układu równań

Schemat maszynowy zamodelowanego układu równań przedstawia rys 6. Przebiegi czasowe Δt_{sg}, Δt_m, Δt_{sd} dla skokowej zmiany $\Delta w = 1{,}75$ m/h przedstawiono na rys. 7. Otrzymane przebiegi aproksymowano odpowiedziami na wymuszenie skokowe elementu inercyjnego II rzędu.

Otrzymane w ten sposób transitancje wynoszą:

$$\frac{\Delta t_m}{\Delta w} = \frac{\Delta 24}{27s + 1} \quad \frac{^oC}{m/h}$$

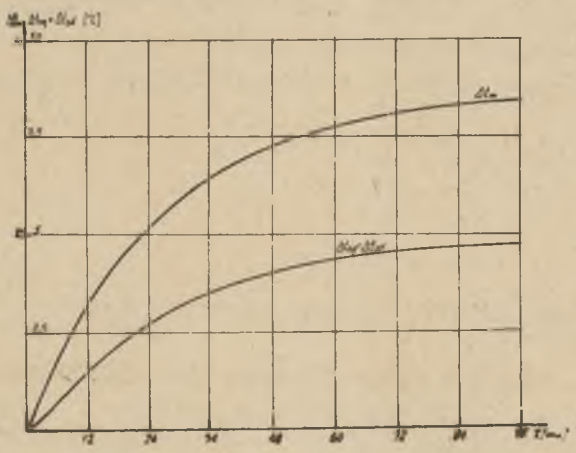
$$\frac{\Delta t_{sg}}{\Delta w} = \frac{\Delta t_{sd}}{\Delta w} = \frac{5{,}7}{(27s+1)(2s+1)} \quad \frac{^oC}{m/h}$$

Wartości stałych czasowych podano w minutach.

Przyrosty średnich wartości temperatur są określone wzorami:

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_{mk} + \Delta t_{mp}}{2} \tag{26}$$

$$\Delta t_{sg} = \frac{\Delta t_{sgp} + \Delta t_{sgk}}{2} \tag{27}$$



Rys. 7. Przebiegi czasowe przyrostów temperatur metalu i spalin w strefie grzewczej

Ponieważ przyrosty $\Delta t_{mp} = 0$ i $\Delta t_{sgp} = 0$ transmitancje schematu blokowego wynoszą:

$$\frac{\Delta t_m}{\Delta w} = F_{10g} = \frac{48}{27s + 1} \quad \frac{^oC}{m/h}$$

$$\frac{\Delta t_{sg}}{\Delta w} = F_{11g} = \frac{\Delta t_{sd}}{\Delta w} = F_{12g} = \frac{11,4}{(27s+1)(2s+1)} \quad \frac{^oC}{m/h}$$

5. Wnioski

Otrzymany schemat blokowy wykorzystano dla porównani dwóch różnych koncepcji regulacji temperatury pieca. Po zamodelowaniu schematu blokowego pieca na maszynach analogowych ELWAT-1 i ZA-02 zbudowano układ regulacji zawierający regulator PI, który w zależności od zmian temperatury metalu w strefie grzewczej zmieniał ilość gazu do wszystkich baterii palników.

Układ ten porównano z koncepcją dwóch niezależnych układów regulacji temperatury w strefie wyrównawczej i w strefie grzewczej.

Każdy z tych regulatorów zmieniał ilość doprowadzonego gazu do palników danej strefy w zależności od temperatury metalu w strefie. Uzyskane przebiegi czasowe temperatur wykazały zdecydowaną wyższość drugiej koncepcji układu regulacji temperatury

LITERATURA

[1] TAJC, ROZENGART - Metodiczieskie pieczi. Mietałłurgizdat 1956 r.

[2] TAJC - Tiechnołogia nagriewu stali. Mietałłurgizdat 1950 r

[3] NIEWSKIJ - Tiepłoobmien izłuczeniem w mietałurgiczeskich pieczach i topkach kotłow. Mietałłurgizdat 1958 r.

[4] KOGAN - Elektroniczne maszyny analogowe. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.

МЕТОДИЧЕСКАЯ ПЕЧЬ ОБЪЕКТОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

С о д е р ж а н и е

В работе дана модель динамических свойств методической печи. Передаточные функции, блок-схемы вычислено на основе дифференциальных уравнений теплообмена в рабочих пространствах печи.

Полученную блок-схему использовано для сравнения разных методов регулирования температуры печи.

PUSHER FURNACE AS AN OBJECT OF TEMPERATURE AUTOMATIC CONTROL

S u m m a r y

In this work there has been presented model of dynamic properties for teree-zone pusher furnace.

Transfer functions in the block diagram were derived from the set of differential equations describing heat exchange in the space of the furnace.

On base of the block diagram there have been compared various kinds of temperature automatic control.