ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLASKIEJ

Seria: INŻYNIERIA SANITARNA z. 12

Nr kol. 212

CZESŁAW GRACZYK, ANDRZEJ GDULA Katedra Mierniotwa i Automatyki Urządzeń Energetycznych

STATYCZNE I DYNAMICZNE CHARAKTERYSTYKI INDYWIDUALNEGO KLIMATYZATORA (JAKO ELEMENTU UKŁADU REGULACJI TEMPERATURY)

Klimatyzator indywidualny przeznaczony jest do utrzymywania żądanych parametrów powietrza: temperatury, wilgotności i czystości w niedużych pomieszczeniach użytkowych obiektów, nieposiadających centralnego systemu klimatyzacyjnego [1]. Ciągłe zmiany klimatu na zewnątrz oraz ciepło i wilgoć wydzielające się wewnątrz pomieszczenia są przyczyną stałych zakłóceń procesu klimatyzacji, a utrzymanie żądanych parametrów komfortu wymaga automatycznej regulacji. Prawidłowy wybór układu automatycznej regulacji, dobór typu i określenie optymalnych nastaw regulatora wymaga pełnej znajomości statycznych i dynamicznych właściwości regulowanego obiektu. W procesie klimatyzacji obiekt regulacji złożony jest z klimatyzatora oraz klimatyzowanego pomieszczenia. Celem przeprowadzonych badań jest wyznaczenie statycznych i dynamicznych właściwości samego klimatyzatora.

1. Opis badanego klimatyzatora

Badane urządzenie typu Klimat, produkcji Zakładów Urządzeń Klimatyzacyjnych w Świebodzicach, przeznaczone jest do klimatyzacji częściowej, tj. utrzymywania stałej temperatury latem i zimą oraz donmowadzania pożądanej ilości świeżego powietrza do klimatyzowanego pomieszczenia. W skład urządzenia wchodzą trzy zasadnicze podzespoły:

-wentylator z parą sprzężonych przeciwsobnych żaluzji do nastawiania stopnia recyrkulacji,

<u>19</u>68

 jednorzędowa wodna nagrzewnica powietrza o wymiarach
 400x300x30 mm złożona z 6 sekcji rurek d_z = 10,2 lamelowanych w odstępie 2 mm żebrami 50x30x0,2 (rys. 1)



Rys. 1. Schemat konstrukcyjny nagrzewnicy powietrza

- agregat ziębniczy Sabroe Aarkus Danmark typu HW 75 z czynnikiem ziębniczym F-12, dwurzędowym parownikiem (chłodnicą powietrza) o wymiarach 300x400x60 z rur d_z = 10,2 lamelowanych żebrami jak przy nagrzewnicy, zaworem redukcyjnym, skraplaczem schładzanym wodą o temperaturze 10 do 15°C (rys. 2).

Klimatyzator pracuje przy stałym natężeniu przepływu nawiewanego powietrza.



Rys. 2. Schemat agregatu ziębniozego



Rys. 3. Schemat stanowiska pomiarowego

1 - korpus klimatyzatora, 2 - agregat ziębniczy, 3 - wentylator, 4 - nagrzewnica, 5 - chlodnica, 6 - rejestrator temperatury, 7 - manometr do pomiaru ps, 8 - manometr do pomiaru olsnienia w skraplaczu, 9 - rurociąg wody gorącej, 10 - termometr t_{dp} , 11 - termometr t_{dp} , 12 - rurociąg do pomiaru G_r, 13 - mikromanometr. 14 - termometr oporowy. 15 - termometr mokry 16 kryza pomiarowa, 17 - termometr tww, 18 - rotametr do pomiaru

ų,

2. Opis stanowiska pomiarowego

Rysunek 3 przedstawia schemat stanowiska pomiarowego do badań indywidualnego klimatyzatora. Stanowisko zostało wybudowane w Katedrze Miernictwa i Automatyki Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej. Przy zdejmowaniu charakterystyk dynamicznych temperaturę powietrza na wylocie z klimatyzatora mierzono platynowym czujnikiem oporowym bez osłony. Z uwagi na bardzo małą bezwładność cieplną (stała czasowa czujnika ok. 0,1 sec) czujnik potraktowano jako element bezinercyjny. Rurociąg do pomiaru natężenia przepływu i temperatury nawiewanego powietrza oraz rurociągi wody gorącej pokryto warstwą izolacji cieplnej.

3. <u>Statyczne i dynamiczne charakterystyki nagrzewnicy powie-</u> trza

W okresie zimowym temperatura powietrza na wylocie z klimatyzatora sterowana jest natężeniem przepływu G_w wody gorącej (rys. 4). Ze wzrostem otwarcia zaworu R zwiększa się przepływ wody gorącej i wzrasta temperatura powietiza wylotowego z klimatyzatora. Statyczną charakterystykę nagrzewnicy przedstawia zależność

$$t_{WD} = f(\dot{G}_W)$$

dla t_{dw}, t_{dp} i G_p = const. Rysunek 5 przedstawia doświadczalnie wyznaczoną statyczną charakterystykę nagrzewnicy powie-



trza przy stałych wartościach G_p = 123 kg/h, t_{pd} = 21⁰C w zakresie t_{dw} 60-90⁰C. Z przedstawionego wykresu można zauważyć, że obiekt posiada nieliniową charakterystykę statyczną.



Dla dowolnego punktu pracy w zakresie małych przyrostów współczynnik wzmocnienia można wyznaczyć rozwijając funkcje w szereg Taylora 1 ograniczając się do pierwszych dwóch wyrazów. Tak na przykład dla średnich wartości G_ = 100 kg/h t aw = 64°C wsp61oraz czynnik wzmocnienia Κ $K_{n} = 1,2$ zakresie przeprowadzonych pomiarów współczynnik wzmoc-G. kg/n] nienia wykazuje wahania w granicach od 2.0 do 0.7 Ch kg

Charakterystykę dynamiczną nagrzewnicy powietrza wyznaczono w odpowiedzi na skokową zmianę natężenia przepływu wody gorącej. Wprowadzone wymuszenie nie przekraczało 5-15% zakresu pełnego otwarcia zaworu sterującego. Czas zmiany otwarcia był krótki (ok. 0,1 sec) i można przyjąć, że wymuszenie było skokowe. Celem zebrania pełnych informacji o właściwych dynamicznych badanej nagrzewnicy pomiary przeprowadzono przy wymuszeniach w obu kierunkach. Rysunek 6 przedstawia przebieg wyznaczonych charakterystyk dynamicznych. Dla innych obciążeń występują większe rozbieżności w stosunku do przedstawionych krzywych. Przebiegi zmian temperatur w obu kierunkach również nie wykazywały specjalnych różnic i nagrzewnicę można uważać za obiekt symetrycznie liniowy. Średnia wartość zastępczej stałej czasowej wynosi T_z = 222 sec, średni zastępczy czas



Rys. 6. Przebiegi charakterystyk dynamicznych nagrzewnicy powietrza

martwy T_L = 49,6 sec. W oparciu o otrzymane dane zastępcza transmitancja obiektu przedstawia się wzorem:

$$\mathbf{x}(\mathbf{s}) = \frac{\mathbf{t}_{wp(\mathbf{s})}}{\mathbf{G}_{w(\mathbf{s})}} = \frac{\mathbf{K}_{\mathbf{n}}}{\mathbf{T}_{\mathbf{z}} \mathbf{s}+1} \mathbf{e}^{-\mathbf{T}_{\mathbf{L}} \mathbf{s}}.$$
 (1)

4. <u>Statyczne i dynamiczne charakterystyki urządzenia ziębni-</u> ozego

W okresie letnim temperaturę powietrza na wylocie z klimatyzatora sterowana jest zmianą stopnia otwarcia iglicowego zaworu dławiącego. Ze wzrostem otwarcia zaworu następuje wzrost masowego przepływu freonu, ciśnienia w parowniku i wydatku ziębniczego urządzenia oraz spadek temperatury schładzanego powietrza. Po przekroczeniu ciśnienia 1,20 atn w parowniku następuje przejście urządzenia do pracy w obiegu mokrym. Urządzenie staje się nieprzydatne do szybkiej regulacji ze względu na znaczne (ok. 30 min) wydłużenie się przebiegów przejściowych i nieciągłość charakterystyki statycznej na granicy obiegów. Z tych względów badania charakterystyki przeprowadzono jedynie dla obiegu suchego.

Charakterystyka statyczna urządzenia przedstawia zależność temperatury wylotowej powietrza od ciśnienia par freonu w parowniku dla t_{dp} i Ġ_p = const

$$t_{wp} = f(p_r)$$
.

Rysunek 7 przedstawia doświadczalnie wyznaczoną charakterystykę statyczną przy stałych wartościach $G_p = 123$ kg/h i t_{dp} = 25° C. Charakterystykę dynamiczną urządzenia ziębniczego wyznaczono podobnie jak dla nagrzewnicy w odpowiedzi na skokowe otwarcie iglicowego zaworu dławiącego, przy wymuszeniach zmian wydatku ziębniczego w obu kierunkach. Wprowadzone wymuszenia nie przekraczały 5-15% pełnego zakresu pracy urządzenia.

Rysunek 8 przedstawia przebiegi doświadczalnie zdjętych charakterystyk dynamicznych urządzenia ziębniczego. Dla innych



118



obciążeń i zakresów pomiarowych przebiegi charakterystyk nie wykazały większych rozbieżności. Jak widać z rys. 8 obieg wykazuje wyraźną niesymetryczną liniowość przebiegów dynamicznych.

Przy skokowym przymknięciu zaworu dławiącego w kierunku zmniejszenia wydatku ziębniczego średnia zastępcza stała czasowa wynosi T_z = 129 sek, a średni zastępczy czas



Rys. 8. Przebiegi charakterystyk dynamicznych urządzenia ziębniczego

martwy T_L = 21,7 sek i transmitancję obiektu można wyrazić wzorem

$$F(s) = \frac{t_{wp}(s)}{x(s)} = \frac{K_c}{T_z s + 1} e^{-T_L s}$$
(2)

Przy skokowym otwarciu zaworu redukcyjnego w kieruwku wzrostu wydatku ziębniczego przebieg przejściowy wykazuje dużą odmienność. Zjawisko to spowodowane jest oddziaływaniem bocznikowym pojemności cieplnej głowicy i cylindra kompresora na zmienność w czasie stopnia dostarczania λ .

W stanach ustalonych wydajność ziębnicza urządzenia jest wprost proporcjonalna do stopnia dostarczania λ i gęstości q^n par czynnika zasysanego z parownika do kompresora.

$$\hat{Q} = 60 \cdot n \cdot V_g \cdot \lambda \cdot q^{"} \cdot r .$$
 (3)

Przy powolnym otwarciu zaworu dławiącego od stanu ustalonego I do stanu ustalonego II wzrasta dopływ masowy freonu do parownika, zwiększa się wydajność ziębnicza urządzenia, a równocześnie wzrasta gęstość par freonu zasysanych przez sprężarkę. Wzrost gęstości czynnika ziębniczego zasysanego przez sprężarkę powoduje wzrost średniej temperatury ścianek cylindra, zwiększenie cieplnego oddziaływania ścianek i zmniejszenie wartości stopnia dostarczania sprężarki:

$$\gamma^{II} < \gamma^{I}$$

co powoduje częściowe obniżenie wydatku ziębniczego urządzenia. Przy skokowym otwarciu zaworu dławiącego od stanu ustalonego I do II średnia temperatura ścianek cylindra dopiero po pewnym czasie osiągnie wartość odpowiadającą nowemu stanowi ustalonemu II. W pierwszym momencie temperatura ścianek cylindra i stopień dostarczania będą odpowiadać wartościom dla stanu ustalonego I. W związku z tym przejściowo nastąpi wzrost wydatku ziębniczego ponad wartość odpowiadającą stanowi ustalonemu II. W miarę nagrzewania się głowicy cylindra i wzrostu średniej temperatury ścianek następuje spadek wartości i wydajności ziębniczej urządzenia do wartości odpowiadającej stanowi ustalonemu II.

Przejściowa akumulacja wydatku ziębniczego w ściankach i żebrach chłodnicy wpływa ostatecznie na końcowy przebieg zmiany temperatury schładzanego powietrza.

W oparciu o przeprowadzone rozważania należy przypuścić, że odpowiedź czasowa urządzenia w kierunku wzrostu wydatku ziębniozego jest w porównaniu z odpowiedzią w kierunku zmniejszenia wydatku ziębniczego powiększona o dodatkowe działanie różniczkujące, spowodowane oddziaływaniem cieplnym ścianek cylindra. Zastępczą transmitancję obiektu można wówczas przedstawić wzorem:

$$F(s) = \frac{t_{wp}(s)}{x(s)} = K_{c} \left(\frac{1}{T_{1} s+1} + \frac{K_{R} (T_{2} - T_{3})s}{(T_{2} s+1)(T_{3} s+1)} \right) \cdot e^{-T_{L} s}$$
(4)

a odpowiedź czasowa na wymuszenie skokowe równaniem:

$$t_{wp}(\tau) = K_{c}(1 - e \frac{-\tau + T_{L}}{T_{1}} + K_{R}e \frac{-\tau + T_{L}}{T_{3}} - K_{R}e \frac{-\tau + T_{L}}{T_{2}}), \quad (5)$$

gdzie: $T_{T_1} = 21,9$ sek $T_1 = 129$ sek.



Rys. 9. Przebieg odpowiedzi różniczkującej

Porównując otrzymanę doświadczalnie odpowiedzi skokowe obiektu w obu kierunkach zmian otrzymuje się wypadkowy przebieg czasowy (rys. 9) odpowiedzi różniczkującej t_o(T)

$$t_{\rm R}(T) = K_{\rm R}(e^{\frac{-T+T_{\rm L}}{T_{\rm 3}}} - e^{\frac{-T+T_{\rm L}}{T_{\rm 2}}})$$
(6)

Z otrzymanego przebiegu czasowego metodą Kondratiewa można wyz-naczyć wartości stałych czasowych T_2 i T_3 .

$$\operatorname{lnt}_{R} = \operatorname{lnK}_{R} + \operatorname{ln}(e^{\frac{-T+T_{L}}{T_{3}}} - e^{\frac{-T+T_{L}}{T_{2}}})$$
(7)

dla
$$\tau \gg \tau_2$$
, e $\tau_2 \ll 1$

1

-T-+-TL

$$\operatorname{lnt}_{R} = \operatorname{lnK}_{R} - \operatorname{ln} e^{\frac{-\tau + T_{L}}{T_{2}}} = \operatorname{lnK}_{R} - \frac{-\tau + T_{L}}{T_{2}}$$
(8)

Z wykresu (rys. 10) $K_{R} = 126$, $T_{3} = 50$ sek.





Po wstawieniu wartości K_{R} i T_{3} do równania (6) otrzymuje się

$$K_{\rm R} = \frac{-\tau + T_{\rm L}}{T_2} = -t_{\rm R}(\tau) + e^{\frac{-\tau + T_{\rm L}}{T_3}} \cdot K_{\rm R}$$
(9)

Z wykresu (rys. 11) $T_2 = 37,5$ sek.



Rys. 11. Wykres do wyznaczania wartości stałej czasowej T₂

5. Elektroniczny model obiegu ziębniczego

Ze względu na niesymetryczną liniowość pełny model obiektu złożony jest z dwu odrębnych modeli dla przebiegów jednokierunkowych, kierunkowego przerzutnika sygnału wejściowego i układu do wzajmnego nastawiania (w torach jednokierunkowych) wartości początkowych.

Czasy martwe T_L obu przebiegów są jednakowe. Przekształcone w formę dogodną do zamodelowania transmiancje urządzenia przedstawiają się dla przebiegu w kierunku zmniejszenia wydatku ziębniczego równaniem:

$$t_{wp} = \frac{K}{T_1} \frac{x}{s} e^{-T_L s} - \frac{1}{T_1} \frac{t_{wp}}{s}$$
(10)

. Dla przebiegu w kierunku wzrostu wydatku ziębniczego

$$s t_{wp} = A x + B \frac{x}{s} + C \frac{x}{s^2} - (D t_{wp} - E \frac{t_{wp}}{s} + F \frac{t_{wp}}{s^2}) e^{-T_L s}$$
 (11)

gdzie:

$$A = \frac{T_2 T_3 + K_R T_1 T_3 - T_1 T_2 K_R}{T_1 T_2 T_3} K_C$$

$$B = \frac{K_C T_3 (K_R + 1) + K_C T_2 (1 - K_R)}{T_1 T_2 T_3}$$

$$C = \frac{K_C}{T_1 T_2 T_3}$$

$$D = \frac{T_1 T_2 + T_2 T_3}{T_1 T_2 T_3}$$

$$E = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{T_1 T_2 T_3}$$

$$F = \frac{1}{T_1 T_2 T_3}$$

Rysunek 12 przedstawia schemat analogowy modelu. Przy wzroście wielkości wejściowej x przerzutnik kierunkowy przełącza styki 1 i 2 w położenie B. W trakcie pracy na obwodzie I następuje jednoczesne nastawianie wartości początkowych w obwodzie II przez ładowanie kondensatorów w integratorach obwodu II do wartości napięć wyjściowych odpowiednich integratorów w obwodzie I. Przy zmniejszaniu się wartości wielkości wejściowej x przebieg działania modelu jest odwrotny.

Na schemacie analogowym zaznaczono liniami przerywnymi sprzężenia międzyobwodowe do nastawiania wartości początkowych.

Stosowane oznaczenia

n		-	liczba	obrotów	sprężai	:ki 1/ min	
r		-	ciepło	parowant	ia f - 12	kcal/kg	
9	-dt	~	operator różniczkowy				





twp	- temperatura powietrza wylotowego z klimatyzatora ^o C
t _{dp}	- temperatura powietrza dolotowego ^o C
taw	- temperatura dolotowa wody grzejnej ^O C
p _r	- ciśnienie f-12 w parowniku
x	- stopień otwarcia zaworu redukcyjnego %
Ġp	- natężenie przepływu nawiewanego powietrza kg/h
Ġw	- natężenie przepływu wody grzejnej kg/h
K	- współczynnik wzmocnienia nagrzewnicy ^O C h/kg
Kc	– współczynnik wzmocnienia chłodnicy ^O C/atn
Q	– wydajność urządzenia ziębniczego kcal/h
т	- stała czasowa sek
T ₁	- czas martwy sek
V _s	– objętość skokowa sprężarki m ³
q "	- gęstość par nasyconych f-12 zasysanych przez kompre-
	sor kg/m ³
x	- stopień dostarozania sprężarki
τ	- ozas sek.

LITERATURA

[1]	FERENCOWICZ J.: Wentylacja i Klimatyzacja, Arkady, 1964.
[2]	KOPIEŁOWICZ A.: Dobór regulatorów automatycznych, NT, 1964.
[3]	OCHEDUSZKO St.: Teoria Maszyn Cieplnych, cz. II., PWT, 1961.
[4]	SOWIŃSKI A.: Elektron iczne Maszyny Liczące. WKŁ, 1965.
[5]	STOCKER W.: Refigeration and Air Conditioning.

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań indywidualnego klimatyzatora jako elementu układu regulacji temperatury. W szczególności podano statyczne i dynamiczne charakterystyki nagrzewnicy i ziębiarki i wyznaczono zastępcze transmitanoje. W urządzeniu ziębniczym wykryto istnienie znacznej niesymetrycznej liniowości. W zakończeniu zaproponowano elektronowy model ziębiarki, który może byó wykorzystany przy badaniach układu regulacji na maszynie analogowej.

СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА. ИНДИВИДУАЛЬНОГО КОНДИЦИОНЕРА

Резрме

В научной работе представлены результаты исследования индивидуального кондиционера как части регулируемого объекта.

Даные статические и динамические свойства и передаточные функции в практической форме. В охлаждающем устройстве обнаружено существование несиметрической нелинейности.

В окончании предлагается электроническую модель охлаждающего устройства, которая может быть использована для исследования процесса регулировки температуры при помощи аналоговой вычислительной машины. STATICAL AND DYNAMICAL PROPERTIES OF THE INDIVIDUAL CLIMATYSER

Summary

In the paper the results of the investigation of the individual olimatyser as a part of temperature process control have been discussed.

The statical and dynamical characteristics and the transfer function in the practical form have been given. In the cooling device the nonsymetrical nonlinearitics were discovered. The electronic model of the cooling device has been proposed which might be useful in analysing the problems of control by means of an analog computor.