ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1968
Seria: INŻYNIERIA SANITARNA z. 12 Nr kol. 212

STANISŁAW MIERZWIŃSKI, JANUSZ PIOTROWSKI
ANDRZEJ PUSZER
Katedra Ogrzewnictwa i Wentylacji

WŁASNOŚCI REGULACYJNE INSTALACJI OGRZEWCZYCH DLA BUDYNKÓW LEKKIEJ KONSTRUKCJI

Wprowadzenie

Charakterystycznym przykładem budynku o lekkiej konstrukcji przegród jest szklarnia. Posiada ona przegrody nie tylko bardzo lekkie, ale i przeźroczyste dla promieniowania słonecznego. Dlatego wśród budynków tego rodzaju stanowi ona przypadek skrajny pod względem podatności wnętrza na wpływ zewnętrznych czynników klimatycznych. Rozważenie zatem przypadku szklarni pozwala na szczegółowe wniknięcie w problematykę procesu ogrzewania lekkich budynków.

Przegrody szklarni ochraniają wprawdzie cieplnie jej wnętrze umożliwiając utrzymanie w zimie odpowiednio wysokiej temperatury, ale dla zmian warunków atmosferycznych stanowią zupełnie znikomą przeszkodę i przekazują ciepło niemal bezinercyjnie. Stąd każdą zmianę zewnętrznej temperatury, nasłonecznienia, prędkości wiatru czy zachmurzenia wnętrze szklarni odczuwa prawie natychmiast.

Utrzymanie wewnątrz szklarni dogodnych warunków cieplnych i ekonomiczne prowadzenie procesu ogrzewania uzależnione jest zatem nie tylko od tego, czy instalacja ogrzewcza posiada odpowiednią nominalną wydajność, ale także od tego czy jest ona w stanie odpowiednio szybko przeciwdziałać i dostosowywać swoją wydajność cieplną do zmieniającego się zapotrzebowania ciepła czyli czy posiada odpowiednie własności dynamiczne.

Z powyższego wynika ścisła współzależność własności dynamicznych elementów układu regulacji temperatury, a to: budynku szklarni, jej instalacji ogrzewczej i regulatora. Własności te łącznie składają się na przebieg regulacji procesu ogrzewania

przy występowaniu zakłóceń od zewnętrznych czynników klimatycznych.

Spośród wymienionych elementów układu regulacji temperatury tylko konstrukcja i własności cieplne budynku są jednoznacznie określone. Natomiast przy tej samej nominalnej statycznej wydajności cieplnej instalacji ogrzewczej można zapewnić jej różne i to w dość szerokich granicach, własności dynamiczne. Ale tylko pewne zakresy tych własności, w powiązaniu z pewnymi typami i nastawami regulatora, potrafią zapewnić wymaganą jakość regulacji.

Zachodzi zatem potrzeba określenia, na jakie dynamiczne parametry instalacji należy zwrócić uwagę przy jej konstruowaniu i jaki jest wymagany zakres tych parametrów dla danego obiektu, aby właściwa regulacja ogrzewania była w ogóle możliwa.

Zadanie to zostało zbadane i wyjaśnione w pracy [1] oraz w dalszych badaniach dla szklarni wolnostojącej o szerokości 9 m przy ogrzewaniu rurowym, rurowo-powietrznym i powietrznym.

Analiza dynamicznych własności instalacji ogrzewczych szklarni

Z punktu widzenia regulacji interesują nas te konstrukcyjne i ruchowe parametry instalacji ogrzewczej, które wpływają na prędkość zmiany jej wydajności cieplnej.

Do takich dynamicznych parametrów należą:

a) czas opóźnienia transportowego dostawy ciepła do obiektu,
b) spadek temperatury czynnika grzejnego w obrębie szklarni,
c) stosunek powierzchni ogrzewalnej rur grzejnych do ich pojemności wodnej,
d) pojemność cieplna instalacji.

Poniżej analizuje się te parametry dla wymienionych trzech systemów ogrzewania szklarni.

W systemach ogrzewań wodnych r u r o w y c h, z regulacją jakościową, krąży stała ilość wody grzejnej, a wydajność cieplna instalacji zależy od średniej temperatury tej wody. Osiągalna prędkość zmian wydajności instalacji zależy zatem

bezpośrednio od czasu, jaki zużywa ta woda na przepłynięcie poprzez rury grzejne i wywołanie nowego poziomu temperatury.

Czas przepływu wody przez instalację stanowi opóźnienie transportowe dostawy ciepła. Związany on jest z przepływem czynnika grzejnego rurami od miejsca nastawiania temperatury przez długość szklarni tam i z powrotem. Wartość tego opóźnienia w ogrzewaniach rurowych nie może być swobodnie przyjmowana, zależy ona bowiem od prędkości przepływu wody w rurach grzejnych. Prędkość ta zaś związana jest z innymi parametrami dynamicznymi instalacji, a to z przyjętym spadkiem temperatury wody grzejnej oraz ze stosunkiem powierzchni ogrzewalnej do pojemności rur grzejnych F/V, który decyduje o spadku temperatury wody na 1 m długości rur.

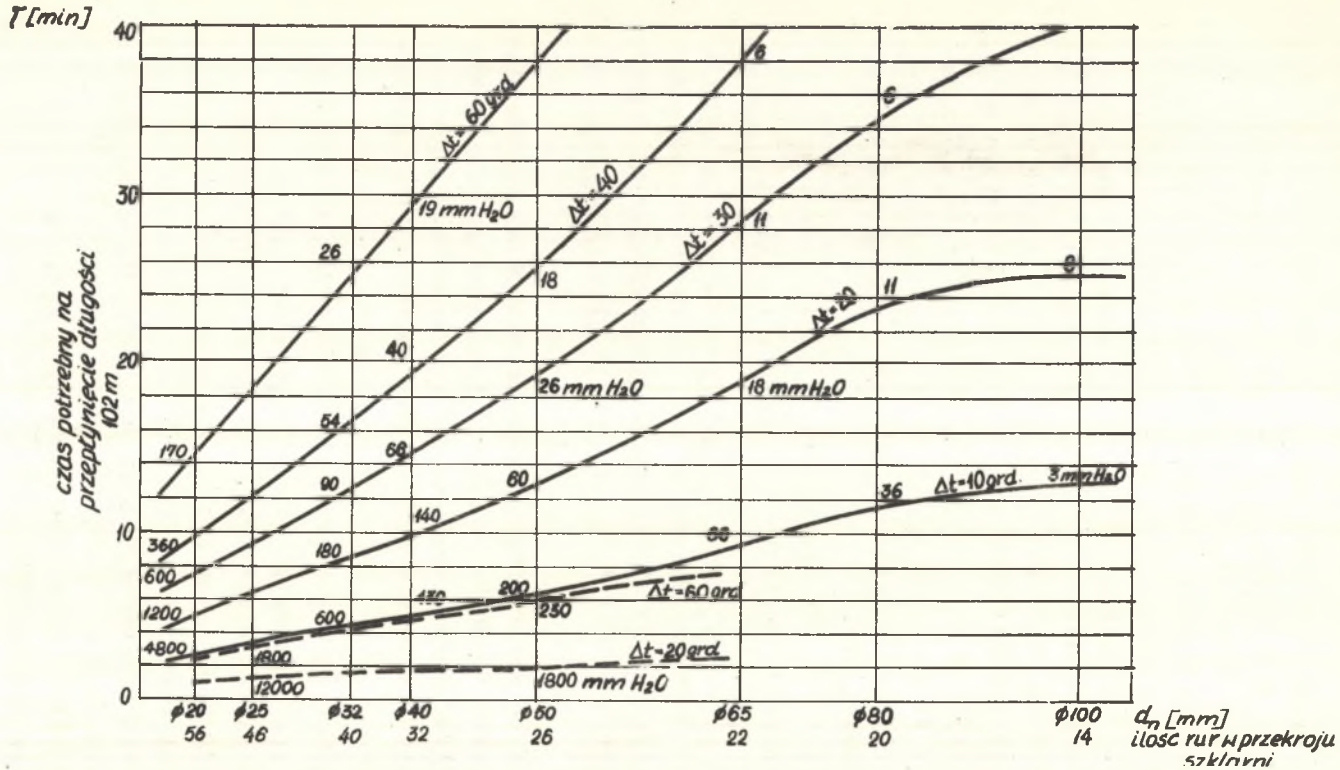
Zależności te ilustruje dla badanej typowej szklarni rys. 1, na którym podano również straty ciśnienia w instalacji. Wynika z niego, że:

- ze wzrostem średnicy rur grzejnych szybko maleje stosunek F/V, co przemawia za stosowaniem jak najmniejszych średnic rur gładkich oraz wykazuje zalety stosowania rur żebrowych,
- konieczność utrzymania opóźnień transportowych w określonych granicach ogranicza możliwości stosowania w ogrzewaniach rurowych dużych spadków temperatur wody, jakie byłyby korzystne ze względu na koszty inwestycyjne i ruchowe.

W ogrzewaniach p o w i e t r z n y c h szklarni za pomocą indywidualnych aparatów ogrzewczych (taki system ogrzewania można uważać za najodpowiedniejszy dla szklarni [2]) mamy do czynienia z dwoma czynnikami grzejnymi, a to:

- z powietrzem samej szklarni,
- z gorącą wodą dostarczającą ciepło od źródła do nagrzewnic w aparatach.

Regulacja dostawy ciepła loco szklarnia odbywa się dzięki temu dwustopniowo następująco:



Rys. 1. Opóźnienie transportowe przy przepływie wody o średniej temperaturze 100°C przez rury ogrzewcze szklarni 9x51 m (Q = 260 000 kcal/h) przy różnych spadkach temperatury tej wody. Liczby na krzywych podają spadek ciśnienia związany z przepływem wody przez rury o danej średnicy i o długości 102 m

——— dla rur gładkich
- - - - - dla rur żebrowych

- regulacja temperatury nawiewanego powietrza przez centralną regulację temperatury wody grzejnej (regulacja jakościowa), jako 1 stopień,
- regulacja dostawy ciepła do szklarni przez sporadyczne wyłączanie silników w aparatach ogrzewczych (regulacja ilościowa), jako 2 stopień.

Własności dynamiczne dostawy ciepła przez aparaty ogrzewcze reprezentują parametry wymienione poprzednio w punktach a, b i d. Opóźnienie transportowe (punkt a) należy rozumieć jako czas wymieszania się powietrza w zasięgu działania każdego aparatu po uruchomieniu jego wentylatora. Czas ten jest zależny od prędkości wypływu powietrza i wydajności wentylatora. Może on być zupełnie mały, praktycznie 1-2 minuty.

Spadek temperatury powietrza w szklarni (punkt b) związany jest z wydatkiem wentylatora. Stąd temperaturę nawiewu ogranicza od góry niezbędna minimalna wielokrotność mieszania powietrza w szklarni, a także odporność roślin na temperaturę powietrza.

Pojemność cieplna instalacji (punkt d) odpowiada pojemności cieplnej powietrza znajdującego się w szklarni. Pojemność ta jest bardzo mała.

Dostawa ciepła przez aparaty ogrzewcze odznacza się zatem bardzo dużą elastycznością, dzięki czemu wymagania co do własności dynamicznych wodnej części instalacji ogrzewania powietrznego (dostawa ciepła do aparatów) stają się znacznie łagodniejsze, aniżeli ma to miejsce przy ogrzewaniu rurowym. Podobne złagodzenie wymagań dotyczy również rurowej części instalacji w ogrzewaniu rurowo-powietrznym.

Z powyższych rozważań wynika, że opóźnienie transportowe dostawy ciepła przy jakościowej regulacji jest parametrem syntetycznie reprezentującym własności dynamiczne instalacji ogrzewczej w szklarni. W ogrzewaniach powietrznych opóźnienie to można utrzymać w niewielkich wartościach i dlatego nie odczuwa się tam trudności regulacyjnych. Natomiast w ogrzewaniach rurowych wartość opóźnienia wyraźnie wpływa na rozwiązania instalacji i zachodzi potrzeba wyznaczenia dopuszczalnego zakresu takich opóźnień z uwagi na regulacyjność układu.

Współpraca instalacji ogrzewczej z regulatorem

Wpływ opóźnienia transportowego w instalacji ogrzewczej na jakość regulacji oraz przebiegi regulacji w podanych trzech systemach ogrzewania szklarni badano w zamkniętym układzie regulacji temperatury uwzględniając dynamiczne charakterystyki obiektu. Badania takie można przeprowadzać tylko w powiązaniu z określonym typem i nastawą regulatora. Licząc się z koniecznością stosowania w instalacjach ogrzewczych możliwie tanich regulatorów w pierwszej fazie prac ograniczono się do regulatorów 2-położeniowych i proporcjonalnych. Obserwacje dla regulatora 2-położeniowego przeprowadzono za pomocą hydraulicznego modelu analogowego. Zachowanie się układu z regulatorem proporcjonalnym i proporcjonalnym z przystawką dla kompensacji głównego zakłócenia badano przy użyciu elektronowych maszyn analogowych AM-2 i ZA-02. Schemat blokowy badanego układu podaje rys. 2.

Podane wyżej typy regulatorów charakteryzują się następującymi własnościami regulacyjnymi:

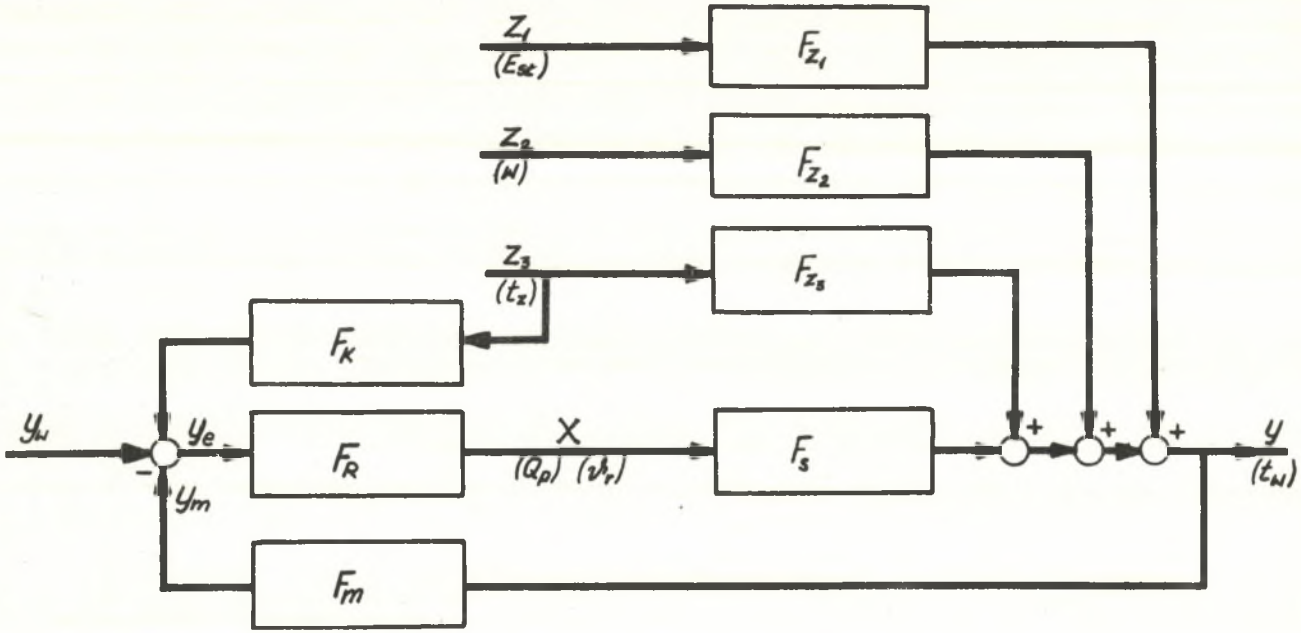
Regulator dwupołożeniowy wywołuje stałe oscylacje temperatury wnętrza wokół jej wartości zadanej. Oscylacje te zależne są od:

- całkowitych opóźnień w układzie regulacji,
- strefy nieczułości regulatora,
- gwałtowności i częstotliwości występujących zakłóceń.

Regulator proporcjonalny wywołuje trwałe uchyby statystyczne temperatury wewnętrznej, które zależą od:

- nastawionego wzmocnienia regulatora K_p,
- bezwzględnych zmian wartości zakłóceń, przy czym ich częstotliwość jest obojętna.

Kompensacja zakłóceń przy regulacji proporcjonalnej pozwala na przyspieszenie reakcji regulatora i zlikwidowanie uchybu statystycznego spowodowanego głównym zakłóceniem. Kompensacja zakłóceń (element F_k rys. 2) może być statyczna, przekazująca regulatorowi sygnał proporcjonalny do wartości zakłócenia lub dynamiczna, jeżeli przekazywać będzie sygnał uwzględniający transmitancję zakłóceniową obiektu. W stosunku do działania



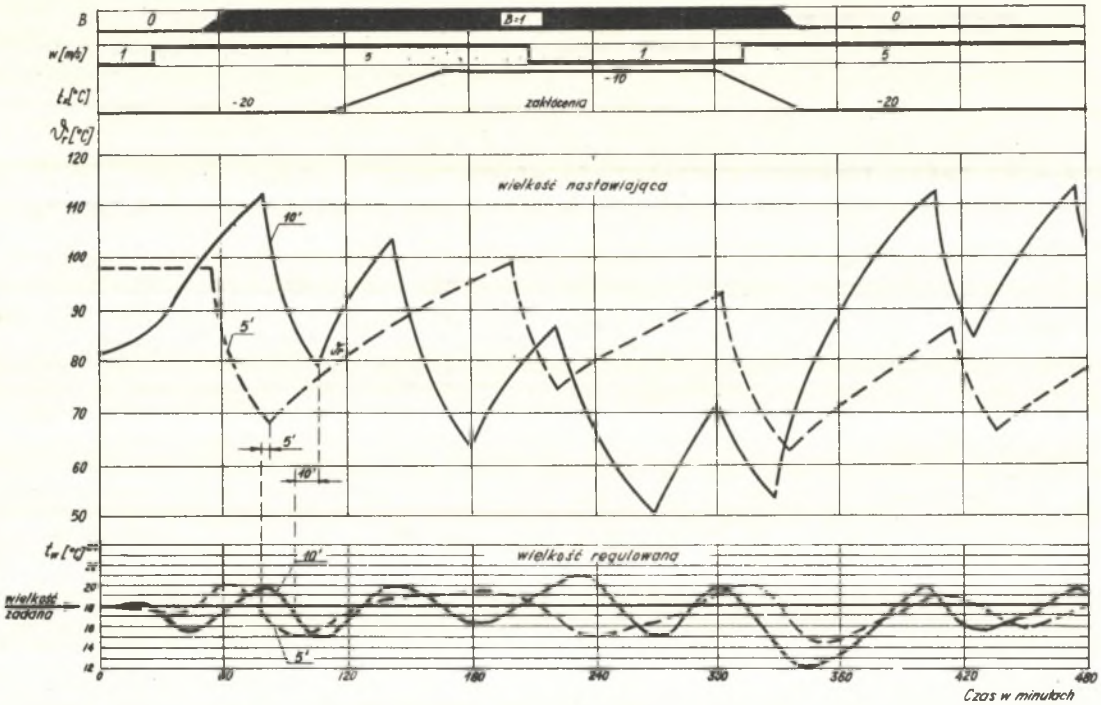
Rys. 2. Schemat blokowy zamkniętego układu regulacji temperatury ogrzewanej szklarni
Oznaczenia: x - wielkość regulowana (t_w) y - wielkość nastawiająca (ϑ_r względnie Q_p) z_i - zakłócenia (E_s - promieniowanie słoneczne, w - prędkość wiatru, t_z - temperatura zewnętrzna), F_s - transmitancja nastawcza obiektu, F_{zi} - transmitancja poszczególnych zakłóceń, F_R - transmitancja regulatora, F_m - transmitancja członu pomiarowego, F_k - transmitancja przystawki kompensującej

samego regulatora proporcjonalnego, układ z kompensacją statyczną likwiduje uchyb trwały od zakłócenia kompensowanego po krótkotrwałych oscylacjach, natomiast kompensacja dynamiczna pozwala na niezmienne utrzymanie temperatury na zadanej wartości. Warunkiem skutecznego działania kompensacji statycznej jest ograniczenie opóźnień transportowych w obiekcie. Natomiast w obiektach z opóźnieniem transportowym stosowanie kompensacji dynamicznej jest trudne do realizacji, gdyż w tym wypadku przystawka kompensująca musiałaby zawierać element wyprzedzający w czasie.

Efekt współpracy obiektu z regulatorem 2-położeniowym dla wymienionych systemów ogrzewania był badany na modelu analogowym. Wyniki przedstawiono przykładowo na rysunkach 3, 4 i 5. Na rysunkach tych przedstawiono przebiegi trzech grup parametrów:

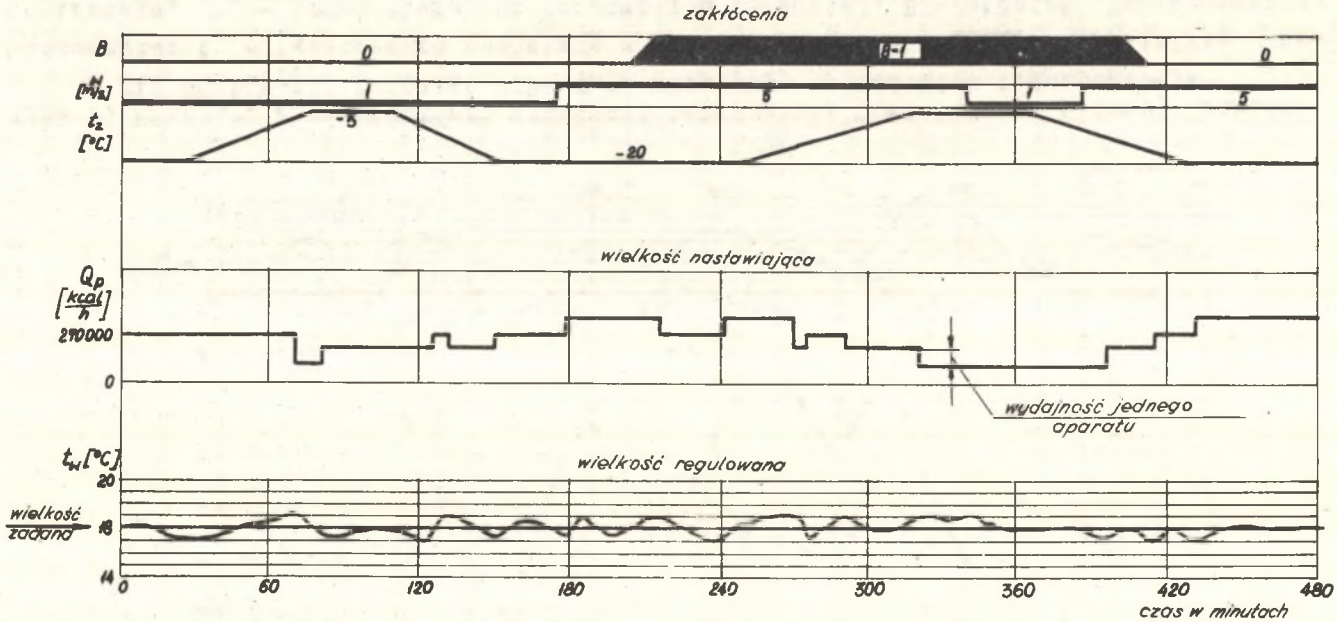
- Zewnętrznych czynników klimatycznych jako zakłóceń, które wprowadzono do układu wg programu odpowiadającego maksymalnym rzeczywistym warunkom w przyrodzie, a mianowicie skoki temperatury zewnętrznej 6-12 grd/h, prędkości wiatru: od 1-5 m/s, zachmurzenia: od 0-1.
- Temperatury t_w powietrza wewnątrz szklarni jako wielkości regulowanej; każdorazowo w chwili przekraczania wartości zadanej o więcej niż strefa nieczułości regulatora ($\pm$ 0,5 do 1,0 grd) następowało jego zadziałanie, które wpływało na zmianę wielkości nastawczej (ϑ_r lub Q_p) po okresie opóźnienia transportowego zmienianego w odpowiednich granicach (ilustracja: rys. 3).
- Wielkości nastawiającej, tj. temperatury ϑ_r rur ogrzewczych dla ogrzewania rurowego (rys. 3) i części rurowej ogrzewania rurowo-powietrznego (rys. 5) oraz ilości ciepła Q_p dla ogrzewania powietrznego (rys. 4).

Przy ogrzewaniu rurowym wahania regulowanej temperatury zależą wyraźnie od przyjętego opóźnienia w układzie regulacji (rys. 3). Na opóźnienie to składa się przede wszystkim opóźnienie transportowe czynnika grzejnego. Przy opóźnieniu 10 minut występowały oscylacje temperatury z amplitudą do 10 grd.

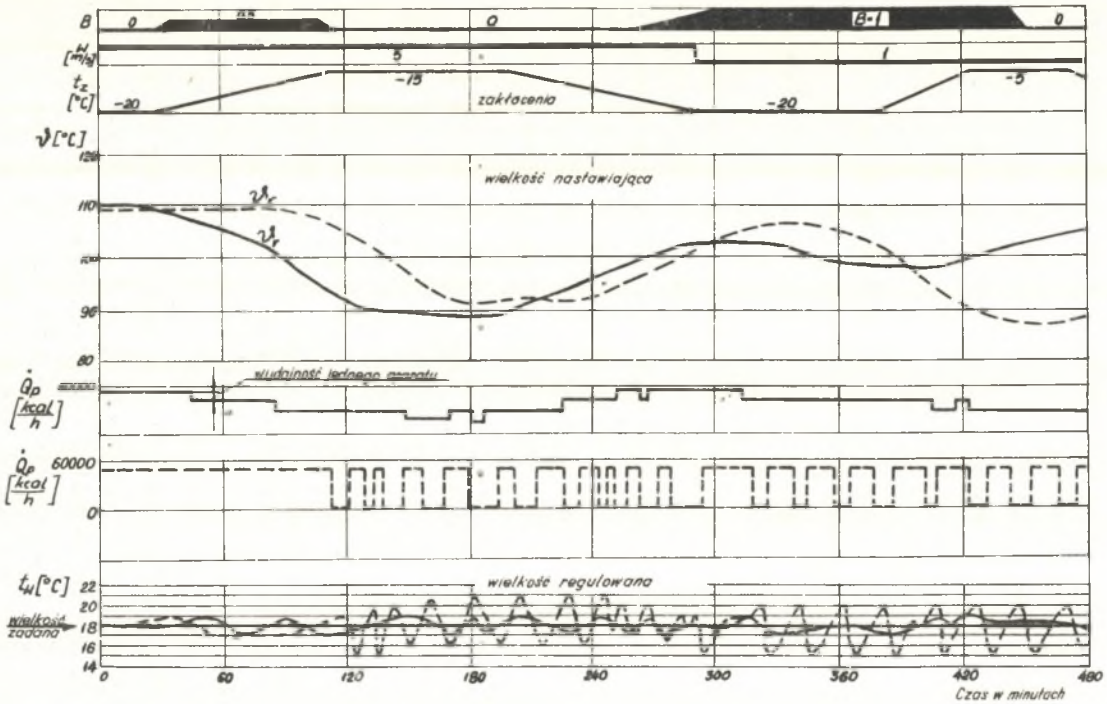


Rys. 3. Przebieg 2-położeniowej regulacji temperatury powietrza w badanej szklarni dla ogrzewania rurowego z 5- i 10-minutowym opóźnieniem transportowym

Oznaczenia: t_w - temperatura powietrza w szklarni, t_z - temperatura powietrza zewnętrznego, ϑ_r - temperatura rur ogrzewczych (średnia), B - stopień zachmurzenia, w - prędkość wiatru



Rys. 4. Przebieg 2-położeniowej regulacji temperatury powietrza w badanej szklarni dla ogrzewania powietrznego z 2-minutowym opóźnieniem transportowym. Q_p - wydajność ogrzewania powietrznego, pozostałe oznaczenia jak dla rys. 3



Rys. 5. Przebieg 2-położeniowej regulacji temperatury powietrza w badanej szklarni dla ogrzewania rurowo-powietrznego z 2-minutowym opóźnieniem transportowym. Strefa nieczułości regulatora ± 0,5 grd. Linią pełną podano przebiegi parametrów przy sukcesywnym uruchomianiu po jednym z 4 aparatów ogrzewczych; linią przerywaną - przebiegi przy grupowym włączaniu i wyłączaniu aparatów

Q_p - wydajność ogrzewania powietrznego, pozostałe oznaczenia jak dla rys. 3

Tak duże odchyłki temperatury są niedopuszczalne w normalnej eksploatacji.

Warto zwrócić uwagę, że opóźnienia rzędu 10 minut zbliżone są do zastępczej stałej czasowej obiektu, co wyjaśnia trudności przeprowadzenia właściwej regulacji.

Wykres przebiegu temperatury dla ogrzewania tradycyjnego z rurami Ø 90 mm (rys. 6) wykazuje, że z tych samych powodów w obiekcie z instalacją tradycyjną regulator nie jest w stanie utrzymać zadanej temperatury wnętrza.

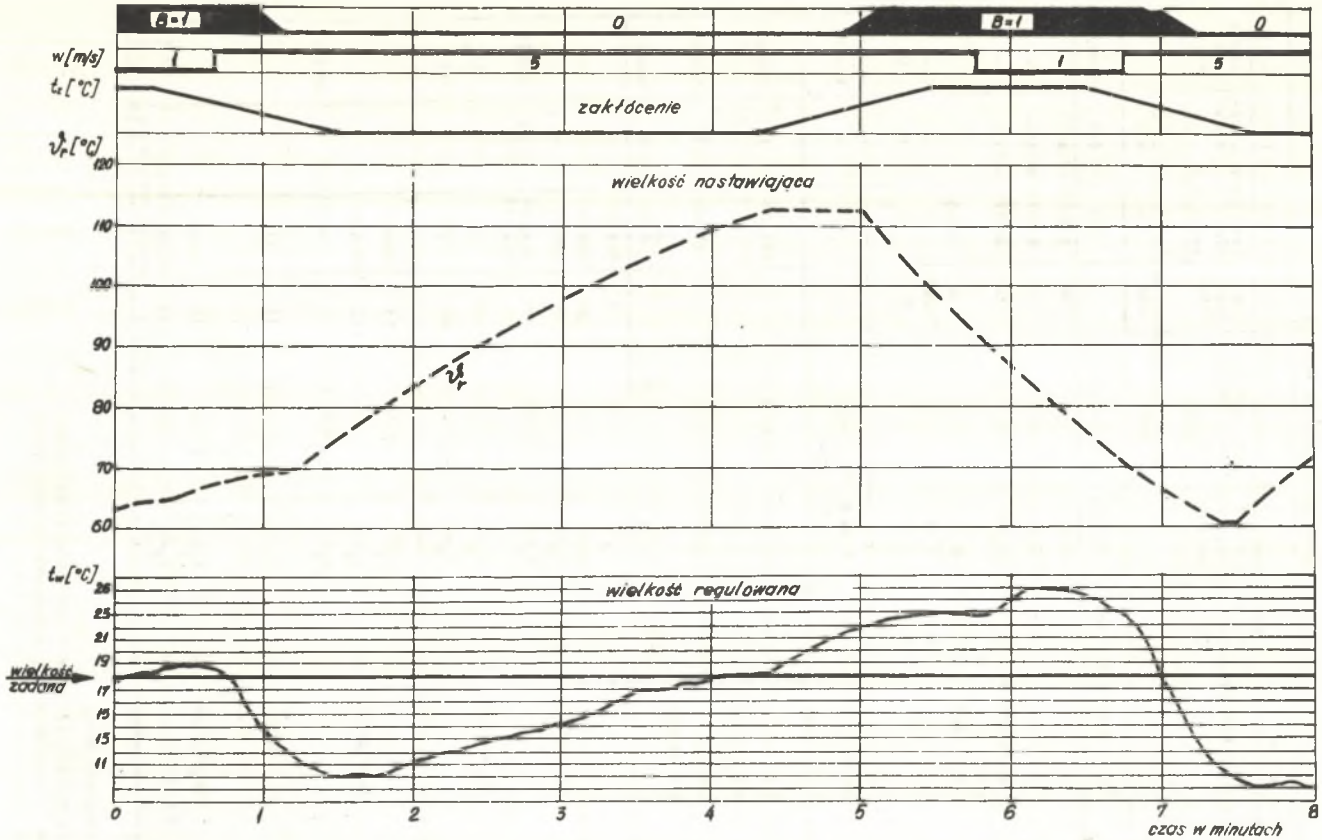
Przy ogrzewaniu powietrznym przyjęto opóźnienia wysokości 2 minut co odpowiada warunkom transportu i mieszania się powietrza w rzeczywistym obiekcie. Przy tym systemie ogrzewania wyraźnie zaznacza się zależność jakości regulacji od ilości ciepła dodawanego względnie ujmowanego przez regulator dwupołożeniowy. Na rys. 5 widać, że przy równoczesnym włączaniu lub wyłączaniu wszystkich aparatów ogrzewczych wahania temperatury wynosiły aż ± 3 grd przy ciągłych oscylacjach. Natomiast przy sukcesywnym uruchamianiu poszczególnych aparatów wahania te zamykają się w granicach ± 0,8 grd przy strefie nieczułości regulatora ± 0,5 grd.

Ogrzewanie rurowo-powietrzne pod względem podatności na regulację zachowuje się tak jak ogrzewanie powietrzne, dzięki temu, że część powietrzna przejmuje chwilowe wahania obciążenia cieplnego. Natomiast część rurowa nie bierze bezpośrednio udziału w tej "szybkiej" regulacji, gdyż jej zadaniem jest przejmowanie sezonowych dużych, ale powoli zmieniających się obciążeń cieplnych. W związku z tym może ona być regulowana centralnie dla całego kombinatu w źródle ciepła.

Przebieg regulacji 2-położeniowej wyraźnie zależy od strefy nieczułości regulatora i opóźnień układu (tab. 1).

Im mniejsza strefa nieczułości, tym mniejsze i krótsze przeregulowanie, ale równocześnie tym droższy regulator. Można przyjąć że strefa nieczułości nie powinna przekraczać ± 0,5 grd.

Regulator taki nadaje się dla ogrzewań powietrznych, a zwłaszcza rurowo-powietrznych. W instalacjach rurowych wywo-



Rys. 6. Przebieg 2-położeniowej regulacji temperatury powietrza w szklarni z tradycyjną instalacją rurową (rury Ø 90 mm) z 25-minutowym opóźnieniem transportowym. Oznaczenia jak na rys. 3

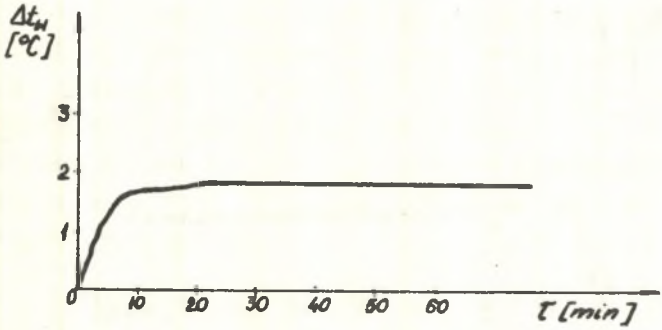
Tablica 1

Przebieg regulacji ogrzewania szklarni

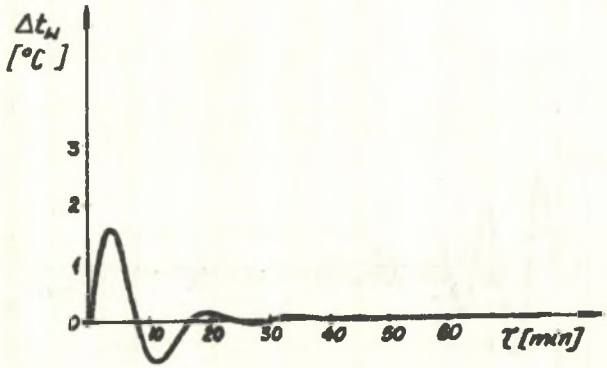
Program					Jakość regulacji				
System ogrzew.	Opóźnienie układu regul.	Zakłócenie	Regulator		Maks. odchyl. wielk. regul. Δt_{max}	Czas regulacji	Czas występ. odchyl. Δt_w większego niż		Liczba oscylacji
			typ	nastawa			1 grd	2 grd	
	min				grd	min	min	min	
Ogrzewanie powietrzne	2	Δt_z=12grd/h	2-położ.	± 0,5grd	±1,2/-2,0	-	5/5	0/2	trwałe
	2	Δt_z=12grd/h ΔB= 1 Δw= 4m/s	p	K_p=1	7,2	130	trwałe odchyl.		-
			p	K_p=4	3,6	60	trwałe odchyl.		-
			p	K_p=10	1,7	30	trwałe dochyl.		-
			p.k.s.	K_p=1	2,7	60	11,5	5	-
			p.k.s.	K_p=4	1,7	30	5	0	-
			p.k.d.	K_p=1	0	0	0	0	0
O.rur. pow.	2	Δt_z=12grd/h	2-położ.	± 0,5grd	±0,8/-0,8	-	-	-	trwałe
Ogrzewanie rurowe	5	Δt_z=12grd/h ΔB = 1 Δw =4 m/s	2-położ.	± 0,5grd	+1,4/-2,4	-	11/27	0/12,5	trwałe
	5		2-położ.	± 1,0grd	±2,8/-3,8	-	25/40	15/25	trwałe
	10		2-położ.	± 1,0grd	+3,8/-6,0	-	30/65	22/55	trwałe
	5,5	Δt_z=6grd/h	p	K_p=1	1,8	9	trwałe	-	-
			p	K_p=2	1,4	50	trwałe	-	2
			p	K_p=3	1,2	80	trwałe	-	6
			p	K_p=4	+1,7/+0,8	∞	oscylacje wokół Δt_w=+1,1 grd		trwałe
	5,5	Δt_z=6grd/h	p.k.s.	K_p=1	+1,5/-0,7	25	4/0	0/0	1
			p.k.s.	K_p=3	+1,7/-1,7	120	5/5	0/0	8
	9,0	Δt_z=6grd/h	p	K_p=1	1,8	14	trwałe	-	-
			p	K_p=3	1,3	130	trwałe	-	6
			p	K_p=4	+2,0/+0,5	∞	oscylacje		trwałe
	9,0	Δt_z=6grd/h	p.k.s.	K_p=1	+1,9/-0,8	50	6/0	-	2
	15,0	Δt_z=6grd/h	p	K_p=3	1,9	90	trwałe	-	1
			p	K_p=1	+2,4/+0,7	220	trwałe odchyl. zanik. oscylacje		6

Oznaczenia: p - proporcjonalny
p.k.s. - proporcjonalny z kompensacją statyczną
p.k.d. - proporcjonalny z kompensacją dynamiczną

łuje on zbyt długie okresy znaczniejszych przeregulowań temperatury. Zmniejszenie tam opóźnień poniżej 5 minut odbiłoby się korzystnie na jakości regulacji, ale warunek ten jest trudny do spełnienia w rzeczywistym obiekcie ze względu na jego rozległość i niemożność stosowania bardzo cienkich rur.

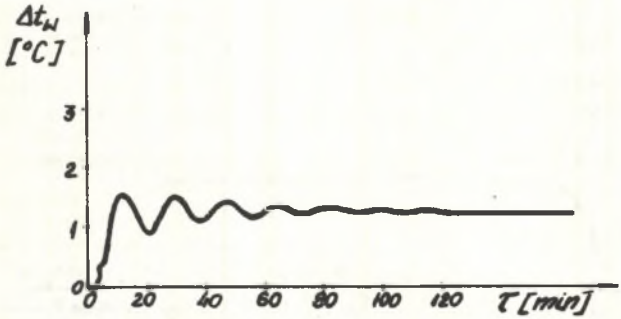


Rys. 7. Przebieg proporcjonalnej regulacji temperatury dla ogrzewania rurowego szklarni przy opóźnieniu transportowym T_{u1} = 5,5 min. i wzmocnieniu regulatora K_p = 1

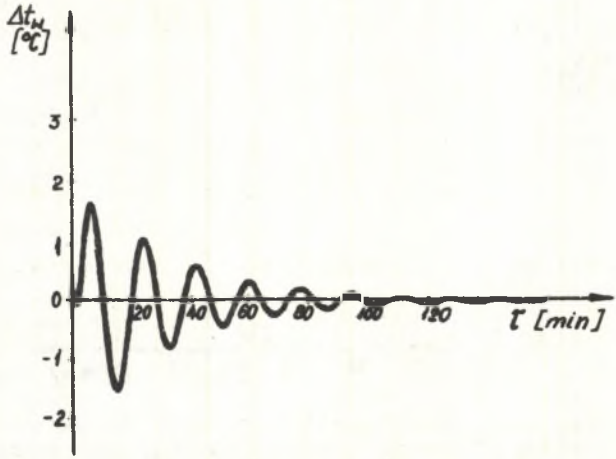


Rys. 8. Przebieg proporcjonalnej regulacji temperatury z kompensacją statyczną głównego zakłócenia (t_z) dla ogrzewania rurowego szklarni przy T_{u1} = 5,5 min. K_p = 1

W przypadku regulacji proporcjonalnej, oprócz obserwacji jej przebiegu w zakresie omówionym powyżej dla regulacji 2-położeniowej, badano również stabilność układu przy różnych wzmocnieniach regulatora i różnych wartościach opóźnienia transportowego w obiekcie.



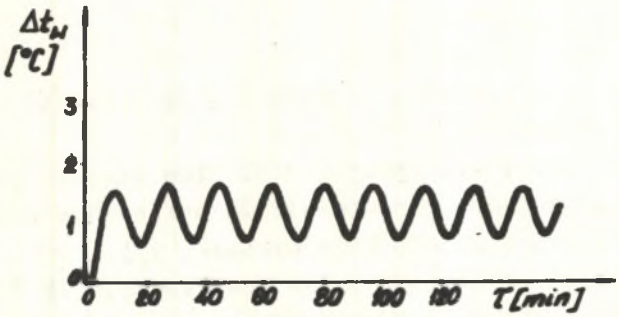
Rys. 9. Przebieg proporcjonalnej regulacji temperatury dla ogrzewania rurowego szklarni
T_{u1} = 5,5 min. K_p = 3
Pojawiają się oscylacje



Rys. 10. Przebieg proporcjonalnej regulacji temperatury z kompensacją głównego zakłócenia (t_z) dla ogrzewania rurowego szklarni przy T_{u1} = 5,5 min. K_p = 3

Uzyskane wyniki podano w tabeli 1 oraz przykładowe przebiegi regulacji na rys. 7 do 11. Jak wynika z tabeli 1, im większe wzmocnienie K_p regulatora, tym mniejsze odchylenie trwałe wielkości regulowanej t_w. W instalacjach inercyjnych towarzyszy temu jednak wydłużanie się czasu regulacji i wzrost liczby oscylacji.

Dla przyjętych parametrów dynamicznych obiektu [1] granica stabilności układu przy ogrzewaniu rurowym występowała przy wzmocnieniu regulatora K_p = ok. 4 (rys. 11), przy czym dla dłuższych opóźnień transportowych układ osiągał ją już przy mniejszych wartościach K_p. Przy ogrzewaniu powietrznym K_p można zwiększać w szerokich granicach (od 1 do 10) nie naruszając stabilności regulacji.



Rys. 11. Przebieg proporcjonalnej regulacji temperatury dla ogrzewania rurowego szklarni przy T_{u1} = 5,5 min. K_p = 4. Granica stabilności

Zastosowanie statycznej kompensacji zmian temperatury zewnętrznej jako głównego zakłócenia usuwało trwałe uchyby temperatury wewnętrznej (rys. 7 i 8, 9 i 10), jednak przy równoczesnym wydłużeniu czasu regulacji i wzrastaniu amplitudy przeregulowań.

W układach ogrzewania rurowego z opóźnieniami ponad 10 minut, przy wszystkich branych pod uwagę wzmocnieniach K_p regulatora dla współpracy z przystawką, czas stabilizacji wydłużał się nadmiernie przy bardzo wolno zanikającej dużej amplitudzie wielkości regulowanej.

W układach ogrzewań powietrznych występują z zasady małe opóźnienia i przebieg regulacji był znacznie korzystniejszy. Można tam było nawet zastosować kompensację dynamiczną głównego zakłócenia (Δt_z), przy której przeregulowanie zostało zupełnie wyeliminowane (tab. 1).

Regulator proporcjonalny, a zwłaszcza z przystawką dla kompensacji głównego zakłócenia, pozwala zatem na uzyskanie odpowiedniego przebiegu regulacji rurowej instalacji ogrzewczej szklarni, jeżeli całkowite opóźnienia w układzie nie przekroczą 7-10 minut. Wzmocnienie regulatora przy zachowaniu pewnego zapasu stabilności układu, powinno być $K_p < 2$.

Regulatory proporcjonalne ze statyczną, a zwłaszcza dynamiczną kompensacją zakłóceń są korzystne dla ogrzewań powietrznych w obiektach o dużych wymaganiach pod względem jakości regulacji (obiekty doświadczalne).

Wnioski

Podane poniżej dane liczbowe odnoszą się do szklarni wolnostojącej o szerokości nawy 6 do 10 m.

1. Nominalna statyczna wydajność cieplna instalacji ogrzewczej powinna odpowiadać stratom ciepła obliczonym dla najniekorzystniejszych warunków klimatycznych [3].

2. Punktem wyjścia dla przyjęcia konstrukcyjnych i ruchowych parametrów instalacji jest opóźnienie transportowe czynnika grzejnego, przypadające na samą szklarnię. Całkowite opóźnienia układu regulacji dla zespołu szklarni nie powinny przekraczać 7-10 minut. Na opóźnienia te składają się także opóźnienia poza samą szklarnią. W ogrzewaniach powietrznych z indywidualnymi aparatami ogrzewczymi opóźnienie to jest zawsze mniejsze od podanych powyżej.

3. Ograniczenie opóźnień transportowych narzuca konieczność stosowania małych spadków temperatury wody grzejnej (maksymalnie 20-30 grd) i małych średnic rur grzejnych, względnie rur żebrowych.

4. Dla zespołu szklarni potrzebna jest przy każdym systemie ogrzewania dwustopniowa regulacja wydajności instalacji.

Dla ogrzewań rurowych będzie to jakościowa dwustopniowa regulacja temperatury wody grzejnej. Stopień pierwszy powinien objąć regulację temperatury wody w źródle ciepła dla całego zespołu szklarni według temperatury zewnętrznej, drugi stopień - regulację temperatury w poszczególnych nawach. Dla ogrzewań powietrznych i rurowo-powietrznych pierwszym stopniem jest regulacja temperatury wody grzejnej w źródle jak dla ogrzewań rurowych, drugim stopniem jest regulacja wydajności powietrznej części ogrzewania w samej szklarni (regulacja ilościowa).

5. Biorąc pod uwagę tańsze typy regulatorów, dla indywidualnej jakościowej regulacji ogrzewania w poszczególnych nawach przy ogrzewaniu rurowym można stosować regulator proporcjonalny ze wzmocnieniem $K_p \leqslant 2$ lub regulator proporcjonalny z kompensacją statyczną głównego zakłócenia. Regulator ten powinien zmieniać temperaturę wody grzejnej przy stałym natężeniu przepływu. Regulator 2-położeniowy dla tego systemu ogrzewania jest mało przydatny.

Dla indywidualnej regulacji ogrzewania powietrznego oraz części powietrznej ogrzewania rurowo-powietrznego może być stosowany regulator dwupołożeniowy ze strefą nieczułości $\pm$ 0,5 grd. Regulator ten ma za zadanie uruchamiać silniki aparatów ogrzewczych. Dla obiektów o dużych wymaganiach pod względem stabilności regulacji (obiekty doświadczalne) wskazane jest zastosować regulator proporcjonalny ze statyczną, a nawet dynamiczną kompensacją zakłóceń.

6. Sieć cieplna zespołu szklarni wprowadza określone opóźnienia transportowe w dostawie czynnika grzejnego. Zatem z uwagi na regulację istotne znaczenie posiada prędkość płynącej w niej wody.

Opóźnienia w sieci rzędu 2-3 min., jakie wystąpią w kombinatach 1-2 hektarowych, mogą być jeszcze do przyjęcia. Natomiast w kombinatach wielohektarowych wskazane jest przeniesienie pierwszego stopnia regulacji do podstacji cieplnych zasilających jedno lub dwu hektarowe oddziały kombinatu.

Artykuł wpłynął do Redakcji 27.V.1967.

Streszczenie

Przy projektowaniu ogrzewania dla budynków o lekkiej konstrukcji przegród zachodzi potrzeba przyjęcia wartości dynamicznych parametrów instalacji odpowiednio do wymaganej regulacyjności. Przyjmując szklarnię jako obiekt charakterystyczny dla rozważań, przeprowadzono analizę dynamicznych własności jej instalacji typu rurowego, powietrznego i rurowo-powietrznego oraz wyznaczono potrzebny zakres wartości tych własności i nastaw regulatora. Podano wskazówki dla doboru konstrukcyjnych i ruchowych parametrów instalacji. Badania przeprowadzono za pomocą maszyn analogowych w oparciu o uprzednio wyznaczony bilans cieplny i dynamiczne charakterystyki obiektu.

LITERATURA

[1] MIERZWIŃSKI S., PIOTROWSKI J.: Dynamiczne własności szklarni jako obiektu regulacji temperatury. Zesz. Nauk. Politechniki Śląskiej Inż. San. Nr 10.

[2] MIERZWIŃSKI S.: Ogrzewanie powietrzne szklarni. Biuletyn PAN Nr 58 s. 156, W-wa 1962.

[3] MIERZWIŃSKI S., JEDYNAK M., TURKIEWICZ K.: Badania cieplne w szklarni z doświadczalną instalacją ogrzewczą. Zesz. Nauk. Politech. Śląskiej Inż. San. Nr 10.

РЕГУЛЯЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ОТОПИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЗДАНИЙ ЛЁГКОЙ КОНСТРУКЦИИ

Р е з ю м е

При проектировании отопления для зданий лёгкой конструкции возникает необходимость принятия величин динамических параметров отопительного оборудования соответственно с требуемой его регулеруемостью.

Принимая теплицу как объект характерный для рассуждений, провели анализ требуемых в таком объекте динамических свойств оборудования типов трубчатого, воздушного и трубчато-воздушного, а также свойств регулятора. Подали указания для подбора конструкционных и эксплоатационных параметров оборудования.

Исследования провели при помощи аналоговых машин на основании раньше определённого теплового баланса и динамической характеристики объекта.

REGULATION PROPERTIES OF HEATING INSTALLATION FOR LIGHT BUILDINGS

S u m m a r y

When designing heating installation for light construction buildings it is necessary to assume the dynamic characteristics of this installation, coresponding with its control specific requirements. Such analisis has been elaborated for a glasshouse, chosen as research object with three different heating systems: tube elements, warm air system and combined, then needed dynamic properties evaluated. Indications have been given allowing proper choice of constructive and functional parameters of heating arrangements.

For research purposes an analogue computer has been made based on previously evaluated calorie and dynamic properties of the chosen object.