

Władysław MRÓZ
Witold NIEMIEC

Instytut Inżynierii Chemicznej
i Budowy Aparatury

BADANIE WPŁYWU OBCIĄŻENIA CIEPLNEGO NA WARTOŚĆ MINIMALNĄ
JEDNOSTKOWEGO NATĘŻENIA ZRASZANIA Γ_{\min}

Streszczenie. Na podstawie 350 punktów pomiarowych minimalnego jednostkowego natężenia zraszania Γ_{\min_1} występującego przy zwiększaniu zraszania i 350 punktów pomiarowych Γ_{\min_2} występującego przy zmniejszaniu natężenia zraszania opracowano bezwymiarową funkcję potęgową ujmującą wpływ obciążenia cieplnego powierzchni na Γ_{\min_1} i Γ_{\min_2} .

Literatura [1-4], dotycząca badań wartości minimalnego jednostkowego natężenia zraszania, podaje wpływ różnych parametrów fizycznych jak i geometrycznych na wielkość dwóch skrajnych wartości Γ_{\min} , a mianowicie na Γ_{\min_1} występujące przy zwiększaniu natężenia zraszania oraz Γ_{\min_2} występujące przy zmniejszaniu natężenia zraszania.

Cytowana literatura bada zagadnienie ze względu na hydraulikę. Wyjątkiem jest praca [5], która stanowi pewną próbę teoretycznego wyjaśnienia wpływu obciążenia cieplnego na proces zraszania powierzchni płaskiej.

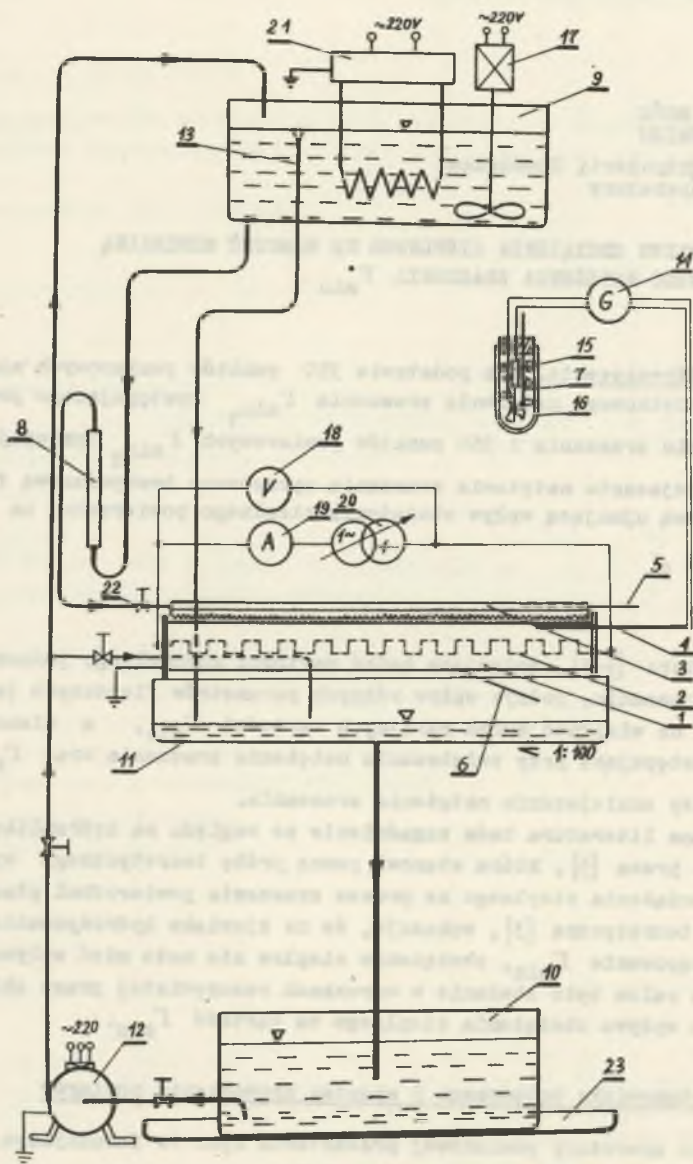
Praca teoretyczna [3], wskazuje, że na zjawisko hydrodynamiczne jakim jest występowanie Γ_{\min} , obciążenie cieplne nie może mieć wpływu.

Naszym celem było zbadanie w warunkach rzeczywistej pracy chłodnic o-ciekowych wpływu obciążenia cieplnego na wartość Γ_{\min} .

1. Opis stanowiska badawczego i sposobu prowadzenia pomiarów

Schemat aparatury pomiarowej przedstawia rys. 1. Zasadniczym elementem instalacji była pozioma rura pomiarowa 1.

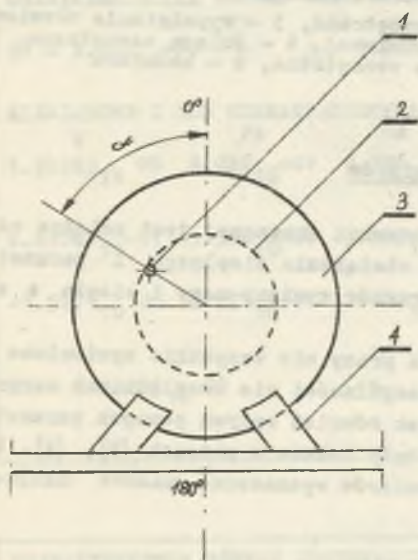
Woda zraszająca, po podgrzaniu w zbiorniku naporowym 9, spływała poprzez rotametr 8 i zawór regulacyjny 22 do zraszacza 3. Z rury zraszanej woda spływała do zbiornika przejściowego 11 i dalej do zbiornika dolnego 10, z którego pompa 12 podawała wodę do zbiornika naporowego. Natężenie przepływu wody tłoczony przez pompę do zbiornika naporowego regulowano obejściem do zbiornika przejściowego.



Rys. 1. Schemat aparatury pomiarowej

1 - rura zraszana, 2 - grzejnik, 3 - zraszacz, 4 - termopara, 5,6,7 - termometry, 8 - rotametr, 9 - zbiornik naporowy, 10 - zbiornik dolny, 11 - zbiornik przejściowy, 12 - pompa, 13 - przelew, 14 - galvanometr, 15 - opór w. równawczy, 16 - termos, 17 - mieszadko, 18 - woltomierz, 19 - amperomierz, 20 - autotransformator, 21 - grzejnik wody, 22 - zawór regulacyjny, 23 - rynnna ochronna

Stosowano drugi sposób zraszania wodą, bezpośrednio z sieci wodociągowej poprzez rotametr do zraszacza z pominięciem zbiornika naporowego, w celu utrzymania jak najniższej temperatury wody zraszającej. Po ustaleniu się warunków termicznych zmniejszono za pomocą zaworu natężenie zraszania rury aż do momentu powstawania suchych plam. Temperaturę powierzchni ścianki rury zraszanej (zawierającej grzejnik elektryczny) mierzono przesuwając termoparą 4, a temperaturę wody zraszającej za pomocą termometru 5. Dokonane następnie odczyty, napięcia i natężenia prądu, w celu obliczenia mocy oddawanej przez powierzchnię rury, temperatur oraz wskazania rotametry dotyczyły w tym wypadku wartości I_{min_2} .



Rys. 2. Schemat obrotu rury dla pomiaru I_{min} na różnych powierzchniach

1 - termopara, 2 - rura zraszana,
3 - kołnierz, 4 - przewodnica

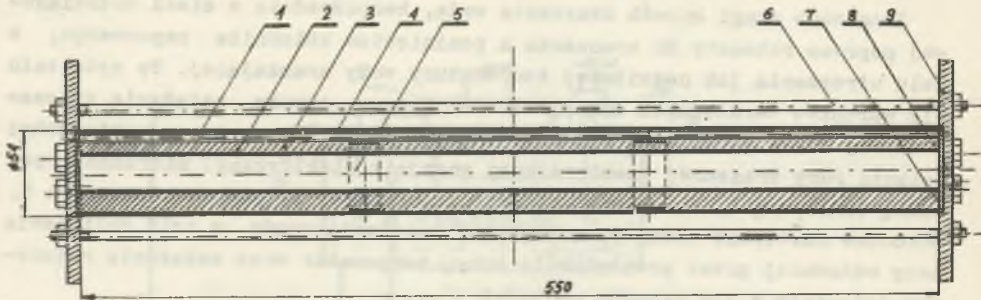
Po zakończeniu wymienionych odczytów zwiększano strumień zraszający aż do całkowitego zalaenia suchych plam, co było równoznaczne z osiągnięciem jednostkowego natężenia zraszania I_{min_1} , która to wartość była ustalona w celu znalezienia histerezy rozkładu I_{min} . Po ustaleniu się warunków termicznych dokonywano powtórnie odczytu mierzonych parametrów. Czynności powtarzano za każdym obrotem rury zraszanej wokół osi podłużnej o kąt 30° (rysunek 2).

Ten sposób prowadzenia pomiarów pozwalał zmierzyć wartość I_{min} na różnych powierzchniach tej samej rury zraszanej i równocześnie wyznaczyć rozkłady temperatury ścianki rury w zależności od badanych parametrów [6]. Moc oddawaną przez powierzchnię rury regulowano za pomocą auto-

transformatora 20, mierząc każdorazowo natężenie i napięcie prądu na grzejniku wewnątrz rury amperomierzem 19 i woltomierzem 18.

Szczegóły konstrukcyjne pomiarowej rury zraszanej przedstawiono na rysunku 3.

Rura wewnętrzna 2 zawierała grzejnik elektryczny składający się z czterech oporników spiralnych każdy o mocy 1 kW. Połączona centrycznie za pomocą wypoźnienia ołowianego 3 z rurą zewnętrzną 1 stanowiła wraz z dodatkowymi uzupełnieniami konstrukcyjnymi podanymi na rys. 3 rurę zraszającą. Badania obejmowały również inny wariant wykonania rury pomiarowej, tutaj bliżej nie omawiany.



Rys. 3. Pomiarowa rura zraszana

1 - rura zraszana, 2 - rura stalowa wewnętrzna, 3 - wypełnienie ołowiowe, 4 - kapilara, 5 - pierścień z blachy stalowej, 6 - ściąg zewnętrzna, 7 - podkładka azbestowa, 8 - śruba wewnętrzna, 9 - kołnierz

2. Opracowanie i omówienie wyników pomiarów

Tworzenie się suchych plam na powierzchni zraszanej jest zależne od wymiarów geometrycznych rury zraszanej, obciążenia cieplnego i parametrów fizycznych cieczy zraszającej oraz warunków wymiany masy i ciepła z otoczeniem.

Na omawianym tutaj etapie wykonania pracy nie wszystkie wymienione parametry były przedmiotem badań. W szczególności nie uwzględniono warunków wymiany masy i ciepła z otoczeniem, jak również wpływu pewnych parametrów geometrycznych rury zraszanej, które były badane w pracach [2], [4]. W oparciu o analizę wstępnych wyników pomiarów wyznaczono masowe natężenie zraszania \dot{G} jako funkcję

$$\dot{G} = f(\dot{Q}, \eta, \sigma, l, t_r, t_w)$$

Po przekształceniach wynikających z zasad analizy wymiarowej otrzymano funkcję bezwymiarową:

$$\left(\frac{\dot{G}}{l \cdot \eta}\right) = c \left(\frac{l \cdot \eta \cdot \dot{Q}}{\sigma^2}\right)^\alpha \cdot \left(\frac{t_r}{t_w}\right)^\beta \quad (1)$$

Oznaczając $\frac{\dot{G}}{l} = \Gamma_{\min}$ można napisać

$$\left(\frac{\Gamma_{\min}}{\eta}\right) = c \left(\frac{l \cdot \eta \cdot \dot{Q}}{\sigma^2}\right)^\alpha \cdot \left(\frac{t_r}{t_w}\right)^\beta \quad (2)$$

Simpleks temperatur został do funkcji (1), (2) wprowadzony dodatkowo. Jego związek z pozostałymi modułami będzie widoczny w dalszym etapie pracy, po uwzględnieniu wymiany masy i ciepła z otoczeniem.

Opracowując wyniki pomiarów metodą najmniejszych kwadratów w ujęciu krakowianowym z optymalną permutacją wprowadzenia danych 350 punktów dla Γ_{\min_1} oraz 350 punktów dla Γ_{\min_2} otrzymano następujące wartości stałych i wykładników podane odpowiednio w tablicach 1 i 2.

Tablica 1

CHARAKTERYSTYKA RÓWNAŃ OBSERWACYJNYCH:					
$S_0 = 2.812_{10}^{-01}$		$\Delta = 5.511_{10}^{-01}$		$\epsilon = 7.351_{10}^{-01} \text{ o/o}$	
NIEWIADOME I ICH CHARAKTERYSTYKA					
x	F_x	S_x	Δx	ϵx	
1.98963_{10}^{-00}	8.026_{10}^{-01}	2.256_{10}^{-01}	4.423_{10}^{-01}	5.562_{10}^{-01}	o/o stała
2.83065_{10}^{-01}	1.384_{10}^{-01}	3.890_{10}^{-02}	7.625_{10}^{-02}	2.694_{10}^{-01}	o/o $\frac{1 \cdot \nu \cdot \dot{Q}}{\sigma^2}$
-1.2271_{10}^{-00}	5.771_{10}^{-01}	1.623_{10}^{-01}	3.180_{10}^{-01}	2.592_{10}^{-01}	o/o $\frac{t_x}{t_w}$
$X_1 = 7.31285_{10}^{-00}$					

Tablica 2

CHARAKTERYSTYKA RÓWNAŃ OBSERWACYJNYCH:					
$S_0 = 2.928_{10}^{-01}$		$\Delta = 5.740_{10}^{-01}$		$\epsilon = 7.753_{10}^{-01} \text{ o/o}$	
NIEWIADOME I ICH CHARAKTERYSTYKA					
x	F_x	S_x	Δx	ϵx	
-3.81106_{10}^{-00}	5.707_{10}^{-01}	1.671_{10}^{-01}	3.276_{10}^{-01}	3.876_{10}^{-01}	o/o stała
-1.00165_{10}^{-00}	8.656_{10}^{-02}	2.535_{10}^{-02}	4.968_{10}^{-02}	4.960_{10}^{-00}	o/o $\frac{1 \cdot \nu \cdot \dot{Q}}{\sigma^2}$
-1.00815_{10}^{-00}	2.048_{10}^{-01}	5.998_{10}^{-02}	1.176_{10}^{-01}	1.166_{10}^{-01}	o/o $\frac{t_x}{t_w}$
$X_1 = 2.21246_{10}^{-02}$					

Znaczenie oznaczeń w tablicach jest następujące:

S_0 - błąd średni pojedynczego równania,

Δ - pas rozrzutu,

- x - niewiadome,
 F_x - błąd poszczególnych niewiadomych,
 \bar{S}_x - błędy średnie niewiadomych,
 Δx - błędy bezwzględne niewiadomych,
 $\dot{C}x$ - błędy niewiadomych w procentach,
 X_1 - stała równania.

Po wstawieniu stałych i wykładników do (2) otrzymano:

$$\left(\frac{\Gamma_{\min 1}}{\nu}\right) = 7,313 \cdot \left(\frac{1 \cdot \dot{Q} \cdot \nu}{\sigma^2}\right)^{0,283} \cdot \left(\frac{t_r}{t_w}\right)^{-1,227} \quad (3)$$

$$\left(\frac{\Gamma_{\min 2}}{\nu}\right) = 0,0221 \cdot \left(\frac{1 \cdot \dot{Q} \cdot \nu}{\sigma^2}\right)^{1,002} \cdot \left(\frac{t_r}{t_w}\right)^{-1,008} \quad (4)$$

obowiązujące dla przebadanego zakresu zmian poszczególnych parametrów:

$$2000 \leq \dot{Q} \leq 24000 \left[\frac{W}{m^2}\right]$$

$$24 \leq \Gamma_{\min} \leq 300 \left[\frac{kg}{m \cdot h}\right]$$

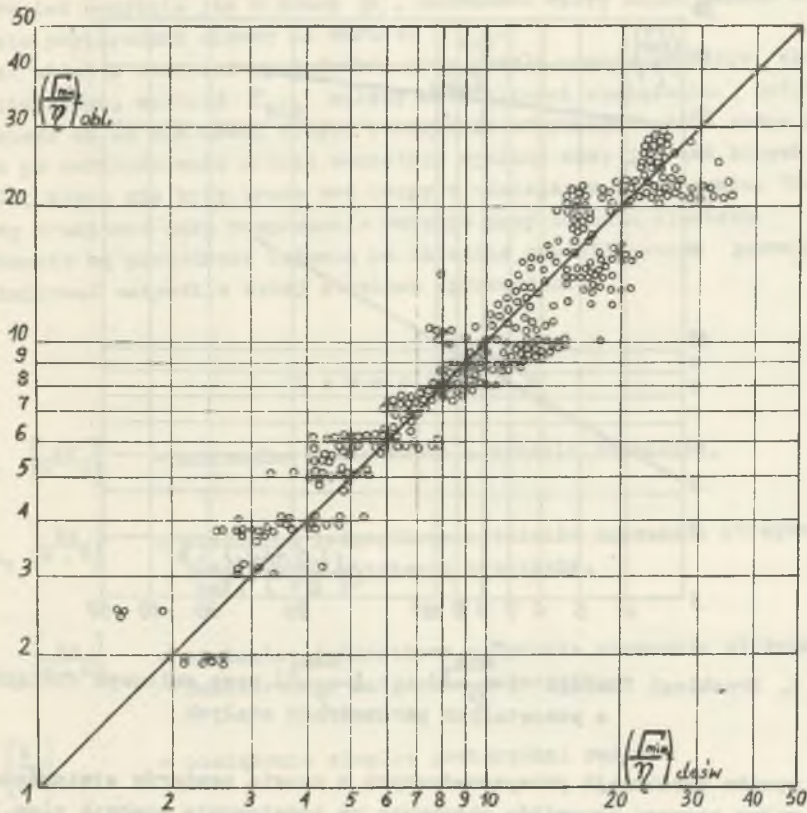
$$1,40 \leq \nu \leq 4,30 \left[\frac{kg}{m \cdot h}\right]$$

$$65,00 \cdot 10^{-3} \leq \sigma \leq 75,00 \cdot 10^{-3} \left[\frac{N}{m}\right]$$

$$24,4 \leq t_r \leq 72 \left[^\circ C\right]$$

$$13,8 \leq t_w \leq 60 \left[^\circ C\right]$$

Obliczenia prowadzono na maszynie cyfrowej "Odra 1204". Na rys.4 przykładowo podano zależność $\left(\frac{\Gamma_{\min 2}}{\nu}\right)$ obliczoną za pomocą otrzymanej korelacji (4) z wartością $\left(\frac{\Gamma_{\min 2}}{\nu}\right)$ dośw. otrzymaną w trakcie pomiarów.



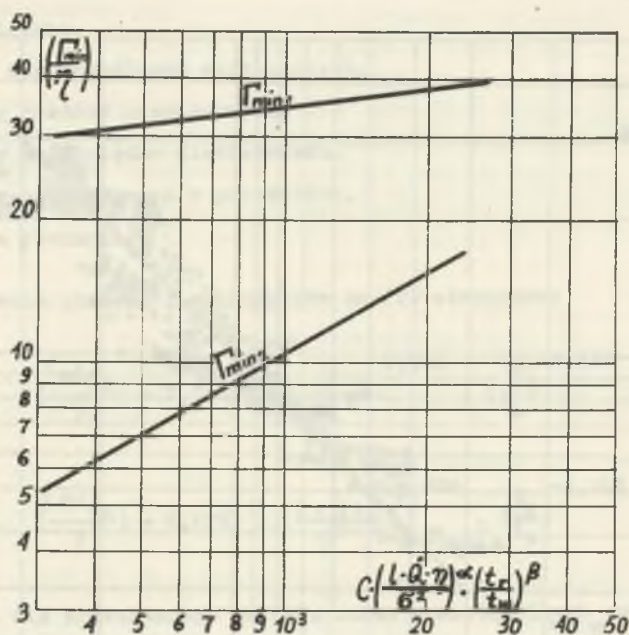
Rys. 4. Rozkład punktów doświadczalnych

$$\left(\frac{\Gamma_{\min 2}}{\gamma}\right)_{\text{obl.}} = f\left(\frac{\Gamma_{\min 2}}{\gamma}\right)_{\text{dosw.}}$$

Układ punktów wskazuje, że przyjęta funkcja dobrze oddaje charakter zjawiska w badanym zakresie.

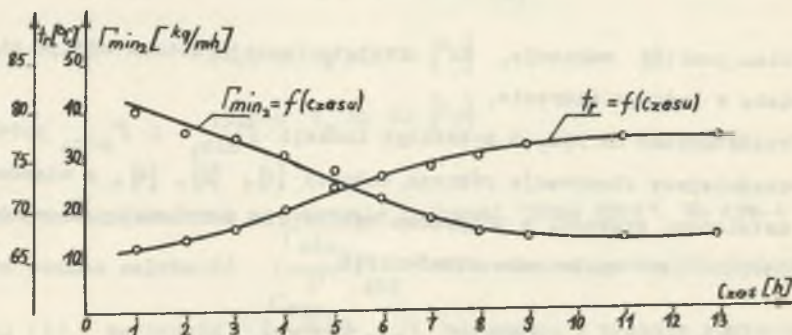
Przedstawione na rys. 5 przebiegi funkcji $\Gamma_{\min 1}$ i $\Gamma_{\min 2}$ potwierdzają wcześniejsze obserwacje różnych badaczy [1], [2], [4], a mianowicie, że dla ustalonego procesu, w przypadku całkowicie zwilżonej powierzchni wystarczające jest spełnienie nierówności

$$\Gamma_{\min 2} < \Gamma_{\min} < \Gamma_{\min 1}$$



Rys. 5. Przebiegi funkcji $\left(\frac{\Gamma_{\min_1}}{\rho}\right)$ i $\left(\frac{\Gamma_{\min_2}}{\rho}\right)$ przy zmiennym obciążeniu \dot{Q} a pozostałych parametrach stałych

W wyniku obserwacji przeprowadzonych w czasie pomiarów stwierdzono również wpływ szeregu czynników ubocznych na powstawanie suchych plam. Do najważniejszych z nich należy zaliczyć powstawanie kamienia kotłowego na powierzchni zraszanej rury. Wykres na rys. 6 obrazuje wpływ tworzącego się kamienia z wody wodociągowej na wartość Γ_{\min_2} i temperaturę ścianki rury, w zależności od czasu pracy.



Rys. 6. Wpływ tworzenia się kamienia kotłowego na wartość Γ_{\min_2} i temperaturę ścianki rury t_r w zależności od czasu

Również podobnie jak w pracy [4], zauważono wpływ drgań układu oraz falowania powierzchni cieczy na wartość Γ_{\min} .

Jak widać z wartości wykładników przy module ujmującym wpływ obciążenia cieplnego, wartość Γ_{\min} zależy od wielkości obciążenia. Ostateczną odpowiedź co do wielkości wpływu obciążenia cieplnego będzie można dać dopiero po uwzględnieniu przede wszystkim wymiany masy jak też innych parametrów, które nie były brane pod uwagę w niniejszym opracowaniu. Pracę tę należy traktować jako rozpoznanie wstępne przy badaniu zjawiska.

Obecnie są prowadzone badania na układzie zmodyfikowanym pozwalającym wyeliminować wszystkie wyżej stawiane uproszczenia.

O z n a c z e n i a

Γ_{\min} $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}} \right]$ - minimalne jednostkowe natężenie zraszania,

Γ_{\min_1} $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}} \right]$ - minimalne jednostkowe natężenie zraszania otrzymane przy zwiększaniu natężenia zraszania,

Γ_{\min_2} $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}} \right]$ - minimalne jednostkowe natężenie zraszania otrzymane przy zmniejszaniu natężenia zraszania,

\dot{Q} $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$ - obciążenie cieplne powierzchni rury,

\dot{G} $\left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$ - masowe natężenie przepływu,

η $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{h}} \right]$ - lepkość dynamiczna,

σ $\left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$ - napięcie powierzchniowe,

l $[\text{m}]$ - długość rury,

t_r, t_w $[^{\circ}\text{C}]$ - temperatury: ścianki rury i wody zraszającej.

Uwaga: W spisie oznaczeń nie ujęto oznaczeń stosowanych w statystyce opracowanej funkcji, podaje je opis w tekście.

LITERATURA

- [1] Hobler T.: Ruch ciepła i wymienniki. WNT, W-wa 1968.
- [2] Hobler T., Synowiec J.: Badanie urządzeń zraszających rury poziome. Chemia Stosowana 2, 123, (1957).
- [3] Hobler T.: Minimum zraszania powierzchni, Chemia Stosowana 5 (2B), 145, (1964).
- [4] Hobler T., Czajka J.: Minimum zraszania powierzchni płaskiej, Chemia Stosowana 5 (2B), 169, (1968).
- [5] Zuber N., Staub F.: Stability of dry patches forming in liquid following over heated surfaces. Int. J. Heat and Mass Transfer, 9, 897, (1966).
- [6] Mróz Wł., Bryczkowski A., Niemiec W.: Rozkład temperatury na ścianie poziomej rury zraszonej, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej Chemia z. 61, 3, (1973).

ИСПЫТАНИЕ ВЛИЯНИИ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА ВЕЛИЧИНУ НАИМЕНЬШЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ОРОШЕНИЯ НА ЕДИНИЦУ ДЛИНЫ ТРУБЫ Γ_{\min}

Р е з ю м е

Исследовано опытным путем влияние тепловой нагрузки горизонтальной орошаемой трубы на величину наименьшей интенсивности орошения на единицу длины трубы Γ_{\min_1} , появляющейся при увеличении интенсивности орошения, как и Γ_{\min_2} , появляющейся при уменьшении интенсивности орошения.

INVESTIGATION EFFECT OF HEAT LOAD ON THE MINIMUM SPECIFIC WETTING RATE Γ_{\min}

S u m m a r y

There has been determined experimentally the effect of heat load of a wetted horizontal tube on the minimum specific wetting rate Γ_{\min_1} , occurring at the increase of the wetting rate as well as on Γ_{\min_2} , occurring at the decrease of the wetting rate.