

mgr inż. Tomasz Dyakowski
dr inż. Jerzy Stefański

Instytut Techniki Ciepłej
Politechniki Warszawskiej

METODA I STANOWISKO DO PUNKTOWEGO POMIARU ZMIENNEJ W CZASIE GRUBOŚCI FILMU CIECZY SPŁYWAJĄCEGO PO PŁASKIEJ PŁYCCIE

Praca przedstawia metodę, stanowisko i wyniki pomiaru grubości warstwy cieczy spływającej po pochylonej płycie pod wpływem siły grawitacji. Metoda pomiaru wykorzystuje zależność pomiędzy ilością światła absorbowanego przez warstwę cieczy, a jej grubością.

1. WSTĘP

Wiele procesów wymiany ciepła i masy przebiega pomiędzy gazem i spływającym filmem cieczy. Jak wykazują wyniki prac eksperymentalnych, występująca w takich procesach powierzchnia międzyfazowa ma charakter falowy o dość złożonej strukturze [1] [2] [3]. Falowanie powierzchni ma wpływ na przebieg takich procesów jak kondensacja czy absorpcja - ogólniej mówiąc procesów wymiany ciepła i masy przy powierzchni międzyfazowej [4]. Znajomość struktury powierzchni ma istotne znaczenie przy obliczaniu wielkości strumieni ciepła i masy wymienianych przez powierzchnię międzyfazową [4] [5].

W ZAPICIE ITC prowadzone są prace nad kondensacją na spływającym filmie cieczy. W związku z prowadzonym tematem podjęto

badania struktury powierzchni spływających skroplin. Przy wyborze techniki pomiaru grubości filmu cieczy kierowano się względami zastosowania jej do pomiaru dla cieczy dielektryków (ciecze organiczne). W wyniku ogólnego i literaturcowego rozeznania tematu rozwinęto metodę pomiaru grubości warstwy cieczy, przedstawioną w pracy [6]. Szczególnie rozwinęto w stosunku do pracy [6] technikę pomiaru i rejestracji sygnałów z fotopowielacza.

2. OPIS ZASADY I METODY POMIARU

W przedstawionej metodzie wykorzystuje się zależność pomiędzy ilością światła absorbowanego przez warstwę cieczy, a jej grubością. Zmiany grubości filmu cieczy w miejscu pomiaru powodują zmiany strumienia światła przechodzącego przez film cieczy. Znając zależność pomiędzy ilością światła absorbowanego przez ciecz, a jej grubością oraz dokonując ciągłego pomiaru strumienia światła przechodzącego przez film cieczy można wyznaczyć zmiany grubości filmu cieczy w miejscu pomiaru w funkcji czasu.

W przedstawionej metodzie pomiaru zogniskowana wiązka światła o stałym natężeniu pada prostopadle na przezroczystą płytę, po której spływa film cieczy. Światło przechodzi przez filmową warstwę cieczy, płytę i pada na fotopowielacz. Sygnał napięciowy z fotopowielacza jest rejestrowany i stanowi podstawę do wyznaczania grubości warstwy cieczy w funkcji czasu.

W niewielkich granicach zmian strumienia świetlnego napięcie na wyjściu z fotopowielacza w funkcji strumienia świetlnego zmienia się liniowo

$$U = k_1 I. \quad (1)$$

Zależność natężenia światła I od grubości warstwy cieczy opisuje prawo Lamberta

$$I = I_0 e^{-k_2 h}, \quad (2)$$

gdzie:

I_0 - jest natężeniem światła dla zerowej wartości grubości warstwy cieczy,

k_2 - jest stałą wyznaczoną dla zadanej koncentracji barwnika w cieczy.

Można wykazać, że

$$\frac{I}{I_0} = \frac{U}{U_0} = e^{-k_2 h}, \quad (3)$$

gdzie:

U_0 - napięcie na wyjściu z fotopowielacza dla zerowej wartości grubości cieczy.

Z przedstawionej zależności (3) wynika, że mierzona średnia wartość napięcia jest miarą średniej grubości warstwy cieczy, tzn.

$$U = U_0 e^{-k_2 h} \quad (4)$$

Zależność między przyrostem napięcia U , a przyrostem grubości warstwy cieczy Δh opisuje równanie

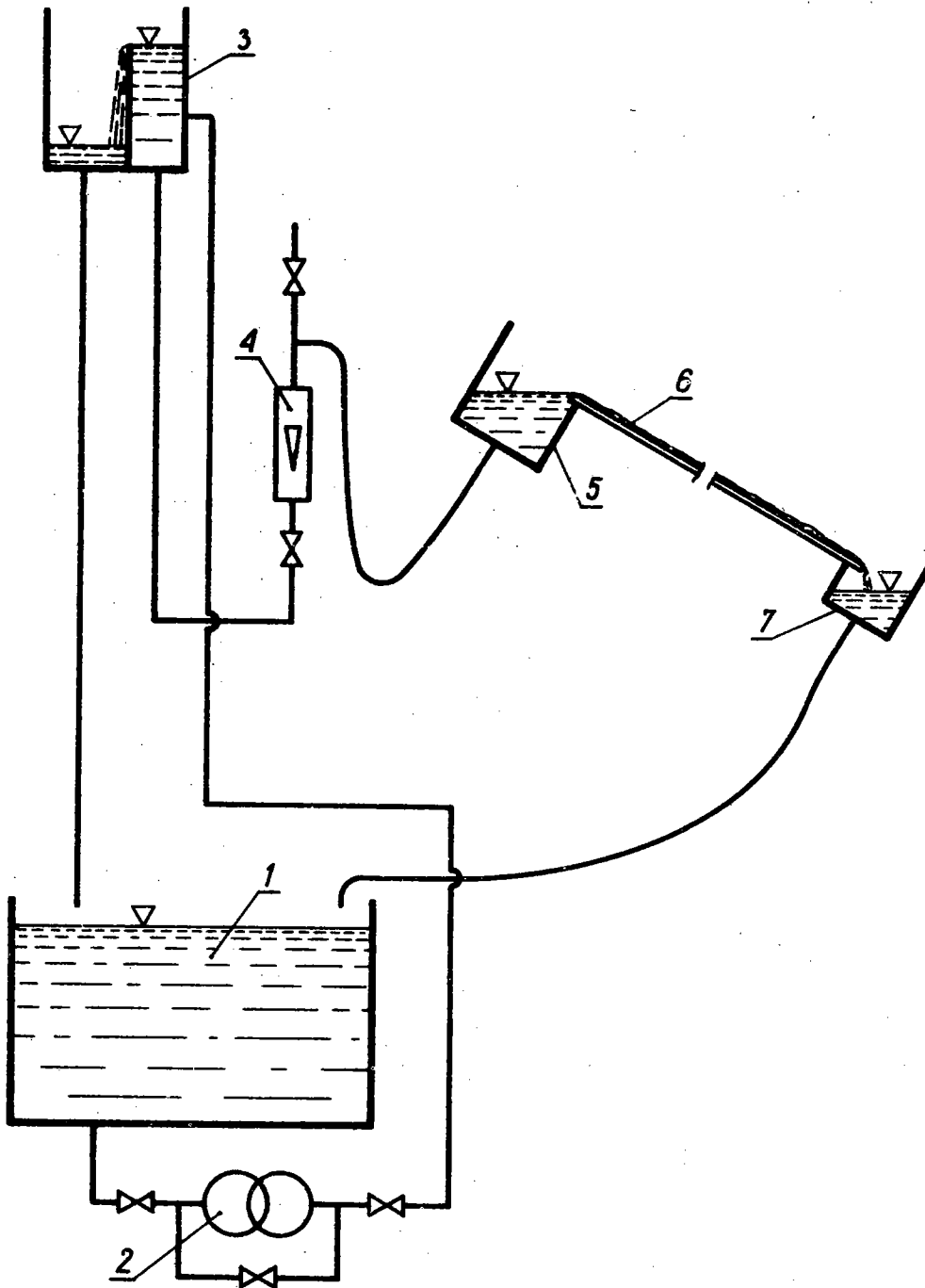
$$\Delta h = \frac{1}{k_2} \ln \frac{U + \Delta U}{U}. \quad (5)$$

Współczynnik k_2 wyznacza się z zależności (4) mierząc napięcie U przy znanej grubości warstwy cieczy i znanym napięciu U_0 .

3. OPIS STANOWISKA POMIAROWEGO

Zbudowano stanowisko pomiarowe, które umożliwia badanie spływającego filmu po płaskiej płycie o długości do 3000 mm i szerokości do 500 mm, przy kątach pochylenia płyty od 0° do 90° . Konstrukcja stanowiska zapewnia równomierność napływu cieczy na płytę, a możliwość regulacji położenia płyty zapewnia równomierność spływu w przekroju poprzecznym.

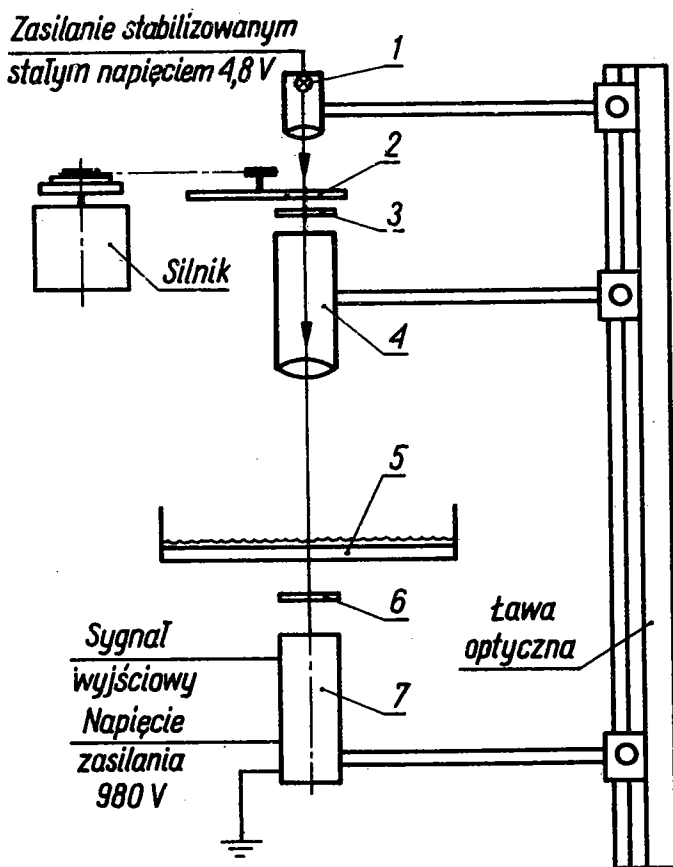
Schemat przepływu cieczy przedstawia rys.1. Ciecz ze zbiornika (1) podawana jest pompą (2) do zbiornika grawitacyjnego



Rys.1. Schemat przepływu cieczy

(3). Umieszczona w tym zbiorniku krawędź przelewowa zapewnia stałą wysokość napełnienia. Ze zbiornika (3) przez rotametr (4) ciecz wpływa do zbiornika (5). W zbiorniku (5) umieszczono przegrody z siatek metalowych aby wyeliminować zaburzenia prędkości przy napływie cieczy na krawędź płyty pomiarowej (6). Z płyty ciecz spływa do zbiornika (7) i jest zawracana do zbiornika (1).

Schemat układu optycznego do pomiaru zmiennej w czasie grubości warstwy filmu przedstawia rys.2. Układ ten zamontowa-

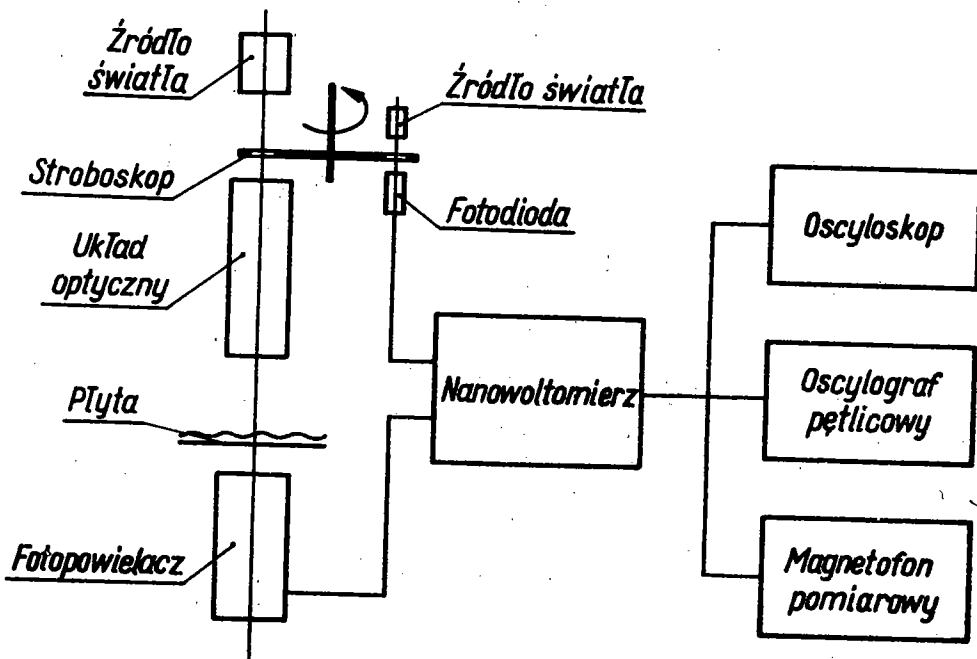


Rys.2. Schemat układu optycznego

no na ławie optycznej, która może być przesuwana względem płyty w kierunku wzdłużnym i poprzecznym. Wiązka światła wychodząc ze źródła (1) zostaje skupiona, przechodzi przez strobo-

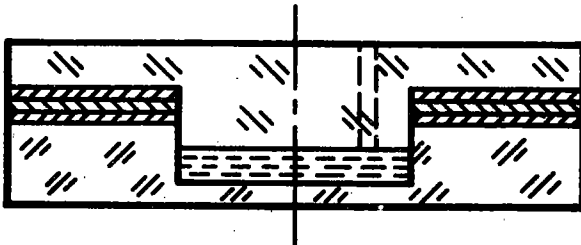
skop (2) i pada na monochromatyczny filtr światła (3). Światło z monochromatycznego filtru przechodzi przez układ optyczny (4) zakończony soczewką o ogniskowej 130 mm. Uzyskiwana za układem optycznym wiązka światła monochromatycznego w odległości kilkunastu mm od ogniska ma średnicę mniejszą niż 1 mm. W odległości 130 mm od układu optycznego (4) znajduje się płyta (5), po której spływa badany film cieczy. Pod płytą w odległości 20 mm umieszczono dyfuzor (6), zwiększający równomierność padania światła na powierzchnię umieszczonego 20 mm dalej fotopowielacza (7). Wiązkę światła przerywano stroboskopem (2) celem wyeliminowania przypadkowych sygnałów z innych źródeł światła, padających na powierzchnię fotopowielacza (7). Monochromatyczny filtr (3) stosuje się w celu zwiększenia absorpcji światła przez ciecz. Zastosowano monochromatyczny filtr przepuszczający światło o długości 5300 \AA , które jest intensywnie pochłaniane przez ciecz barwioną błękitem metylowym.

Schemat elektronicznego układu pomiaru i rejestracji sygnału przedstawia rys.3. Sygnał z fotopowielacza jest mierzony



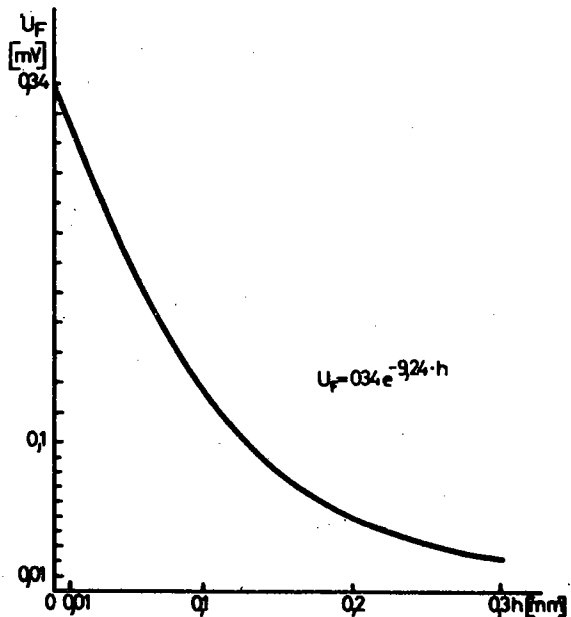
Rys.3. Schemat układu pomiarowego

nanowoltomierzem homodynamicznym produkcji UNIPAN, typ 232. Sygnał mierzony można zarejestrować na oscylografie pętlicowym lub rejestratorze magnetycznym. Podstawowym zespołem funkcjonalnym nanowoltomierza jest detektor fazoczuły i współpracujący z nim woltomierz napięcia stałego. Te dwa zespoły służą do wydzielenia z silnego tła szumów i zakłóceń pożądanego sygnału synchronicznego z sygnałem odniesienia. Sygnały o innych częstotliwościach niż sygnał odniesienia dają na wyjściu z detek-



Rys.4. Celka do cechowania układu pomiarowego

tora fazoczułego sygnały przemiennie-prądowe o częstotliwościach różnicowych, które są eliminowane za pomocą filtra dolnoprzepustowego o regulowanej częstotliwości granicznej. Filtr ten związany jest z woltomierzem prądu stałego. Sygnał odniesienia uzyskuje się z fotodiody wbudowanej w stroboskop mechaniczny. Częstotliwość sygnału odniesienia jest równa częstotliwości z jaką przerywa się wiązkę światła. Wartość średnia wzmacnionego napięcia jest mierzona wbudowanym w nanowoltomierz woltomierzem prądu stałego. Wbudowany również w na-



Rys.5. Przykładowa krzywa cechowania układu pomiarowego

nowoltomierz układ filtrów dolno- i górnoprzepustowych pozwala na analizę sygnałów w zadanym paśmie częstotliwości. Częstotliwość przerywania wiązki przez zastosowany stroboskop wynosi $500 \div 1500$ Hz. Częstotliwość ta jest znacznie większa od częstotliwości $1,5 \div 50$ Hz, która jest charakterystyczna dla fal powstających na powierzchni międzyfazowej. Przy pomiarze średniej wartości grubości warstwy filmu układ filtrów ustawiony jest na zakres $500 \div 1500$ Hz, przy stałej czasowej woltomierza, równej 10 s. Pozwala to na pomiar wartości średniej z zadowalającą dokładnością. Przy rejestracji wartości zmiennych sygnału układ filtrów ustawiony jest na zakresie badanej częstotliwości falowania powierzchni $1,5 \div 50$ Hz. Do wyznaczenia współczynnika k_2 (pomiar napięcia U przy znanej grubości warstwy cieczy i znanym napięciu U_0) używa się celki przedstawionej na rys.4. Wysokość warstwy cieczy w celce ustala się za pomocą podkładek o znanej grubości. Technika pomiaru wartości napięcia U jest taka sama jak w przypadku pomiaru napięcia dla określania średniej wartości grubości cieczy. Przykładową krzywą opisaną równaniem (4), otrzymaną w wyniku przeprowadzonych pomiarów przedstawia rys.5.

4. WYNIKI POMIARÓW TESTUJĄCYCH ZASTOSOWANĄ METODĘ POMIARU GRUBOŚCI FILMU CIECZY

Wyniki dotyczą spływu grawitacyjnego warstwy wody po płycie o szerokości 150 mm i długości 1200 mm. Kąt odchylenia kanału od poziomu wynosił 25° . Pomiaru przeprowadzono w zakresie liczby Reynolds'a $Re = (111 - 277)$.

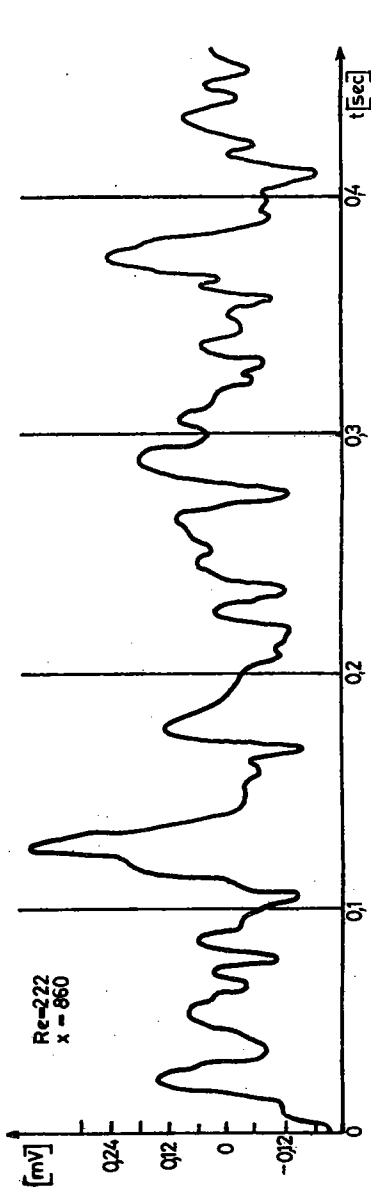
gdzie:

$$Re = \frac{Q}{b \nu},$$

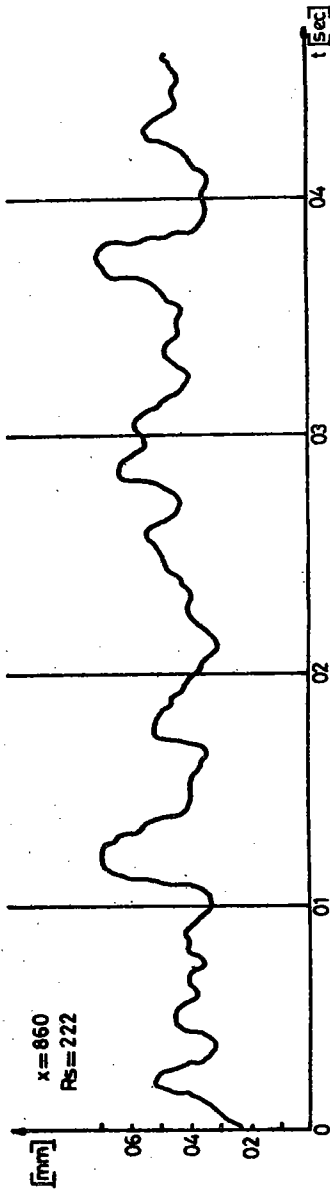
Q - objętościowe natężenie przepływu,

b - szerokość płyty,

ν - lepkość kinematyczna cieczy.



Rys.6. Przykładowy oscylogram sygnału napięciowego z fotopowielacza



Rys.7. Przykładowy wykres zmiany warstwy cieczy w funkcji czasu

Zaobserwowano trzy różne obszary powierzchni międzyfazowej:

- I - powierzchnia gładka,
- II - początek falowania (fale regularne),
- III - powierzchnia z falami przetaczającymi się.

W celu określenia narastania amplitudy fal w funkcji wymiaru wzdłużnego pomiary przeprowadzono w dwóch odległościach od krawędzi wlotowej: $x_1 = 260$ mm, $x_2 = 860$ mm. Rys.6 przedstawia przykładowe zapisy na taśmie rejestratora. Rys.7 przedstawia rzeczywistą zmianę grubości warstwy cieczy obliczoną według zależności (5).

W tabeli 1 porównano wyniki pomiaru średniej grubości warstwy filmu z wartościami średniej grubości warstwy filmu obliczonymi według zależności zawartej w pracy [7]

$$\bar{h}_0 = 0,8832 \left(\frac{3 \nu^2}{4g} \right)^{\frac{1}{3}} Re^{0,337},$$

Tabela 1

Re	\bar{h}_E	\bar{h}_0
111	0,31	0,40
222	0,49	0,51
277	0,53	0,58

\bar{h}_E - wielkość zmierzona,

\bar{h}_0 - wielkość obliczona.

Wyniki pomiarów grubości warstwy wody są zgodne z danymi literaturowymi. Zrealizowany układ pomiarowy umożliwia rejestrowanie zmian grubości warstwy wody już od ok. 0,002 mm.

BIBLIOGRAFIA

- [1] T e l l e s A.S., D u k l e r A.E.: Ind. Eng. Chem. Fundam., vol 9, N.3, 1970, str. 412÷421.
- [2] T h w a i t e s G.R., K u l o v N.N., N e d d e r m a n R.M.: Chemical Engineering Science, vol. 31, 1976, str. 481÷486.

- [3] M i y a M., W o o d m a n s e e D.E., H a n r a t t y T.: Chemical Engineering Science, vol 26, 1971, str. 1915÷1931.
- [4] T h e o f a n o u s T.G., H o u z e R.N., B r u m f i e l d I.K.: Int. J. Heat Mass Transfer, vol 19, 1975 str. 613÷624.
- [5] S i e m i e n o w a J.J., J a k u b i e n k o A.E.: Mech. zid. i gaza N 2, 1976 str. 67÷74.
- [6] L i l l e l e h t L.U., H a n r a t t y T.: J. Fluid Mechanics, vol 11, str. 65÷81, 1961
- [7] F u l f o r d G.D.: Advances in Chemical Engineering, Bd 5 London Academic Press, 1964.

УСТАНОВКА И МЕТОД ТОЧЕЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЗАВИСЯЩЕЙ ОТ ВРЕМЕНИ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ ЖИДКОСТИ, СТЕКАЮЩЕЙ ПО ПЛОСКОЙ НАКЛОННОЙ ПЛИТЕ

К р а т к о е с о д е р ж а н и е

В работе описывается установка и метод, а также приводятся результаты измерений толщины слоя жидкости, стекающей под действием силы тяжести по плоской наклонной плите. Метод измерения толщины слоя жидкости использует зависимость между количеством света, абсорбируемого слоем жидкости, и его толщиной.

THE METHOD AND THE STAND FOR POINT MEASUREMENT OF VARIABLE IN TIME THICKNESS OF THE LIQUID FILM DOWN-STREAMING ON THE PLANE PLATE

S u m m a r y

The paper presents the method, the stand and the results of measurements of the thickness of liquid film running down on inclined plate under the action of gravity. The method for measuring the thickness of the film makes use of the dependencies between the light absorbed by the liquid film and its thickness.