

HYDRODYNAMIKA I WYMIANA CIEPŁA W WARNIKACH  
CUKROWNICZYCH*W. T. Gariaża, J. G. Artiuchow, W. I. Pawełko, W. R. Kulinczenko*Kijowski Instytut Technologiczny Przemysłu Spożywczego  
Kijów, ZSRR

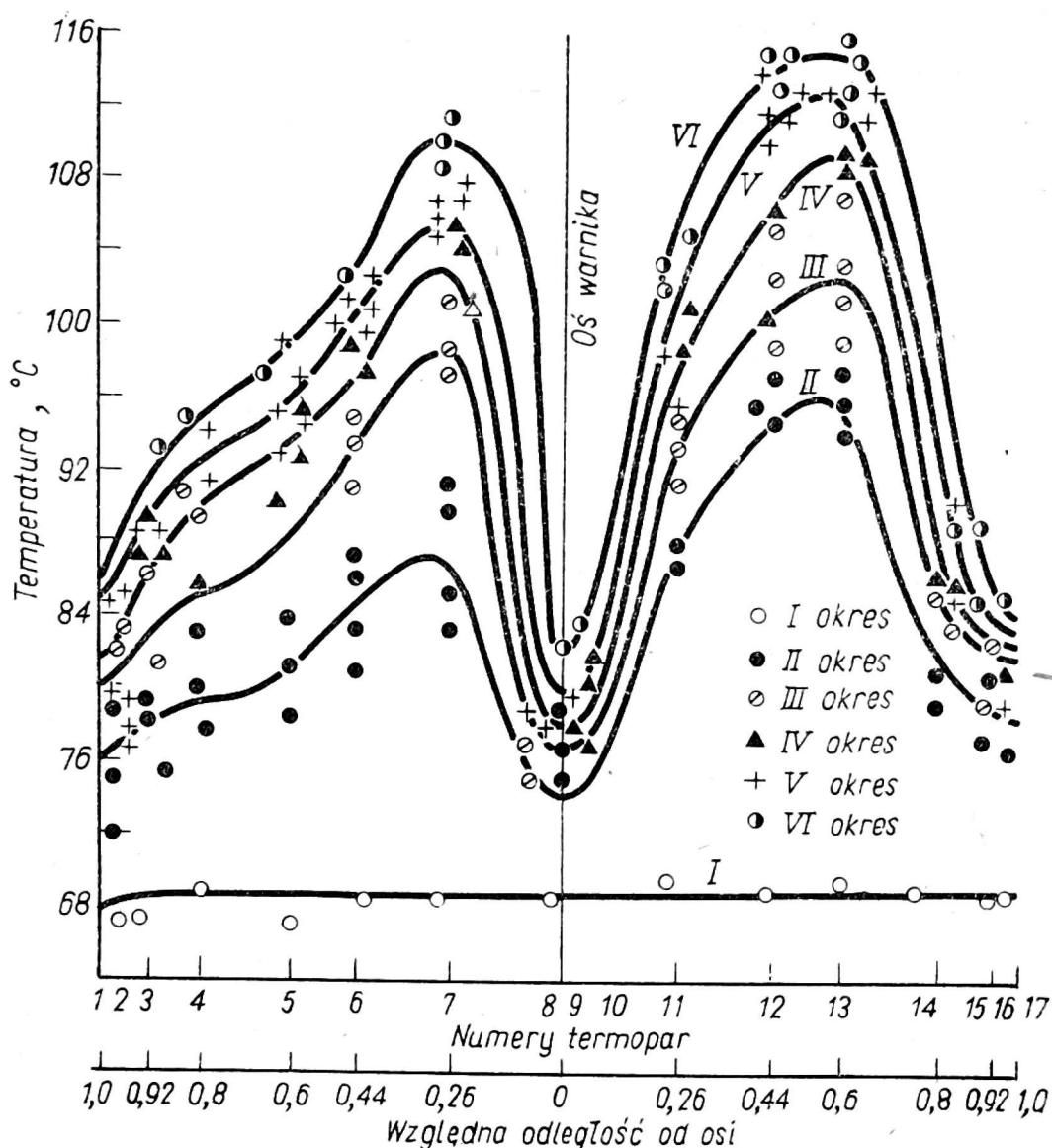
Gotowanie cukrzyc — ważny etap cyklu produkcyjnego we współczesnym cukrownictwie — przebiega okresowo [11]. Opracowanie metod i aparatury do ciągłego gotowania ma duże znaczenie dla optymalizacji i zintensyfikowania procesów technologicznych i cieplnych oraz dla rozwiązania zagadnień automatyzacji [5—7, 11].

Już od dawna wysiłki cukrowników wielu krajów świata są skierowane na wprowadzenie do produkcji warników działających w sposób ciągły. Prace badawcze z tego zakresu są prowadzone w Polsce, Czechosłowacji, Szwajcarii, Belgii, RFN, Anglii, Stanach Zjednoczonych, Japonii, Francji i innych krajach. Wiele z tych prac zostało doprowadzonych do etapu badań przemysłowych. W ZSRR uruchomiono dwa modele przemysłowe ciągłego warnika systemu WNIISP oraz pionowy warnik ciągły naszego Instytutu w Cukrowni Gniwań do gotowania cukrzycy II rzutu [5].

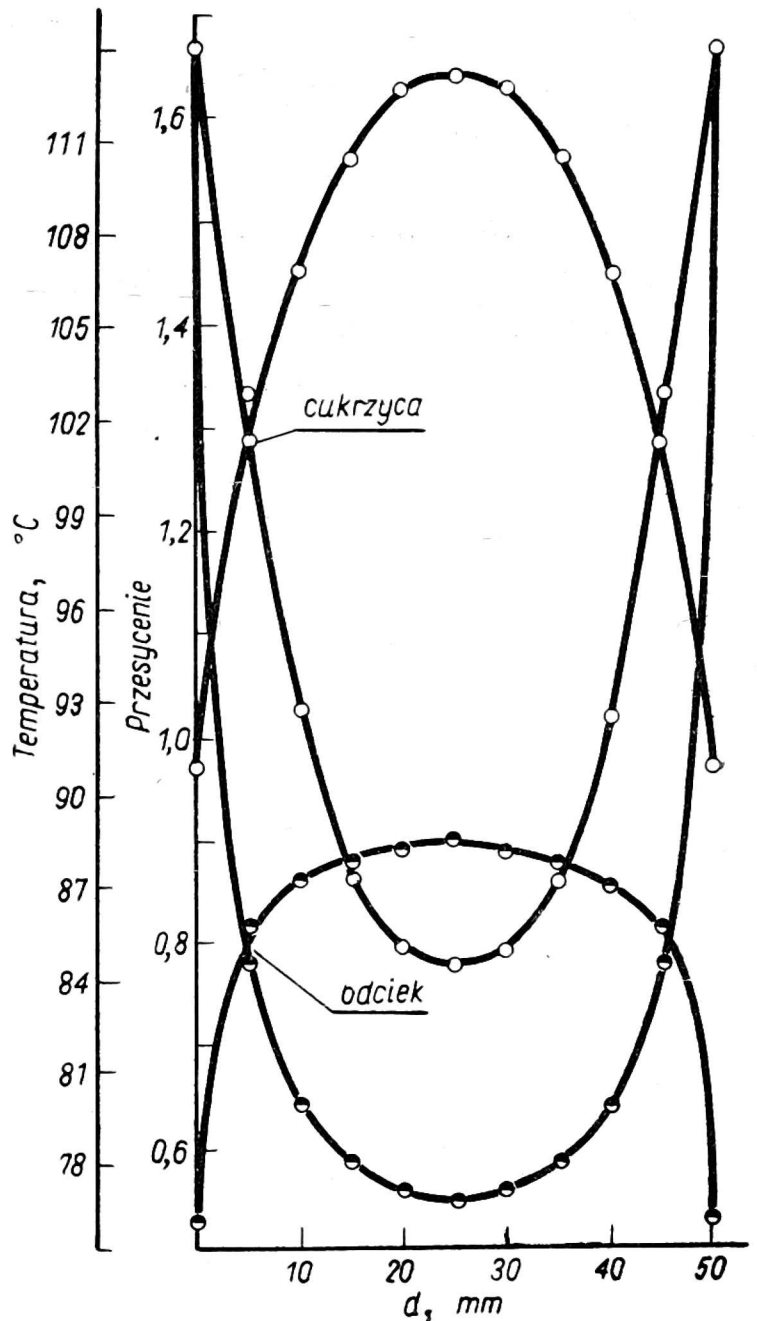
Jednakże obecnie trudno uznać za najlepszy którykolwiek z przedstawionych aparatów lub też wybrać metodę ciągłego gotowania cukrzycy najlepiej nadającą się do rozpowszechniania w przyszłości. Wynika to ze złożoności i niedostatecznego poznania procesów wymiany ciepła i masy procesów hydrodynamiki, przebiegających podczas gotowania cukrzycy, nieznaności metodyki i niektórych zależności ważnych dla wyliczeń cieplnych i hydrodynamicznych oraz ich związków z charakterystykami technologicznymi wymiany mas. Gotowanie cukrzycy stanowi złożony układ powiązanych procesów wymiany masy i ciepła oraz procesów hydrodynamicznych. Struktura strumienia mieszaniny pary i cukrzycy w rurach warnika wywiera wpływ na technologiczne i cieplne parametry krystalizującego roztworu, na układ temperatur, lepkości i przesycenia

roztworów w płaszczyźnie przekroju i wzdłuż wysokości aparatu. To zaś z kolei wywiera wpływ na wielkość i równomierność wzrostu kryształów, wyczerpanie roztworu międzykryształowego, straty cukru spowodowane jego rozkładem oraz wzrostem zabarwienia roztworu.

W procesie gotowania periodycznego następuje, jak wiadomo, stopniowy wzrost poziomu wrzącej cukrzycy w aparacie, narastanie stężenia suchej substancji, ilości i wielkości kryształów, stężenia niecukrów w roztworze międzykryształowym. To prowadzi do zwiększenia lepkości i różnic temperatur w warstwie przyściennej, osłabienia cyrkulacji i zmniejszenia intensywności wymiany ciepła. Jak wykazały doświadczenia [1, 11] podstawowy opór termiczny przy gotowaniu cukrzycy występuje w warstwie przyściennej (rys. 1), gdzie obserwuje się największą różnicę temperatur, dochodzącą do 40—60°C. Dlatego część cukrzycy, duża w przypadku produktów niskiej czystości (w związku ze wzrostem lepkości) znajduje się w stanie przegrzanym, co przy długim okresie gotowania,



Rys. 1. Układ temperatur cukrzycy w przekroju warknika  
 I — napełnianie, II — od 0 do 0,186, III — od 0,186 do 0,350, IV — od 0,350 do 0,609, V — od 0,609 do 0,86, VI — od 0,86 do 1,0  $\tau/\tau_c$



Rys. 2. Układ temperatur i przesyceń odcieku  $80^{\circ}\text{Bx}$  i cukrzyca  $93,2^{\circ}\text{Bx}$  w kanale pierścieniowym

a także przy ograniczonej cyrkulacji prowadzi do rozkładu sacharozy [7, 11].

Istnienie pola temperaturowego gotowanej masy warunkuje różnice przesyceń (rys. 2), co doprowadza do nierównomiernego wzrostu kryształów i tworzenia zlepeków kryształów.

Dla pomyślnego rozwiązania problemu ciągłego gotowania cukrzyca wszystkich rzutów cukrowniczych i rafinerskich niezbędne jest dogłębne opanowanie procesów gotowania i krystalizacji z uwzględnieniem najnowszych osiągnięć techniki pomiarowej i nowoczesnych fizycznych metod badań. Systematyczne badania całego kompleksowego problemu, związanego z ciągłym otrzymaniem cukrzyca są prowadzone w naszym Instytucie przez profesora W. D. Popowa i jego uczniów.

Przedstawiony materiał zawiera niektóre wyniki badań w zakresie hydrodynamiki i wymiany ciepła podczas ruchu i wrzenia cukrzyca

i mieszania cukrzycy z parą w pionowych rurach, a także wyniki badania mechanizmu i przebiegu procesu wrzenia cukrzycy w dużej objętości [2—4]. W tych doświadczeniach utrzymywano lub zmieniano następujące parametry niezależnie od siebie: zawartość suchej substancji w cukrzycy 58—92°Bx i wagowa zawartość kryształów  $Kr = 0—54\%$ , liniowy wymiar kryształów  $l_{Kr} = 0,5—5$  mm, szybkość ruchu cukrzycy  $W_o' = 0,01—3$  m/s i powietrza  $W_o'' = 0,35—53$  m/s, ciśnienie w stacji eksperymentalnej  $P = 6,06—99,5$  kN/m<sup>2</sup>, gęstość strumienia ciepła  $q = 2—100$  kW/m<sup>2</sup>.

Do opracowania metodyki hydrodynamicznych obliczeń warunków niezbędne są zależności z dziedziny reologii cukrzycy, oporów hydraulicznych w strumieniach cukrzycy, rzeczywistych prędkości faz w strumieniach gazów lub pary w mieszaninach z cukrzyką, oporów hydraulicznych w tych strumieniach.

Stosując zmierzone wielkości prędkości cukrzycy i spadku ciśnienia w stabilizowanym wycinku strumienia, obliczano maksymalne naprężenia i gradienty szybkości. Z nich sporządzano charakterystyki reologiczne. Mają one przebieg prostoliniowy i przechodzą przez początek układu. Tak więc różnice własności cukrzycy z  $Kr < 52\%$ , przy ruchu w pionowych rurach, oraz cieczy newtonowskich mieszczą się w granicach błędu doświadczenia. Do obliczania względnej lepkości cukrzycy otrzymano uogólnioną zależność

$$\frac{\eta_c}{\eta_o} = \frac{1}{1 - 2,45 C + 1,55 C^2} \quad (1)$$

gdzie:

- $\eta$  — współczynnik lepkości dynamicznej,
- $C$  — objętościowa zawartość kryształów.

Wzrost  $\eta_c$  w stosunku do  $\eta_o$  wyjaśniono obecnością i ruchem kryształów. Zastosowaliśmy metodykę Kurgajewa [9] do pionowych strumieni cukrzycy i otrzymaliśmy zależność

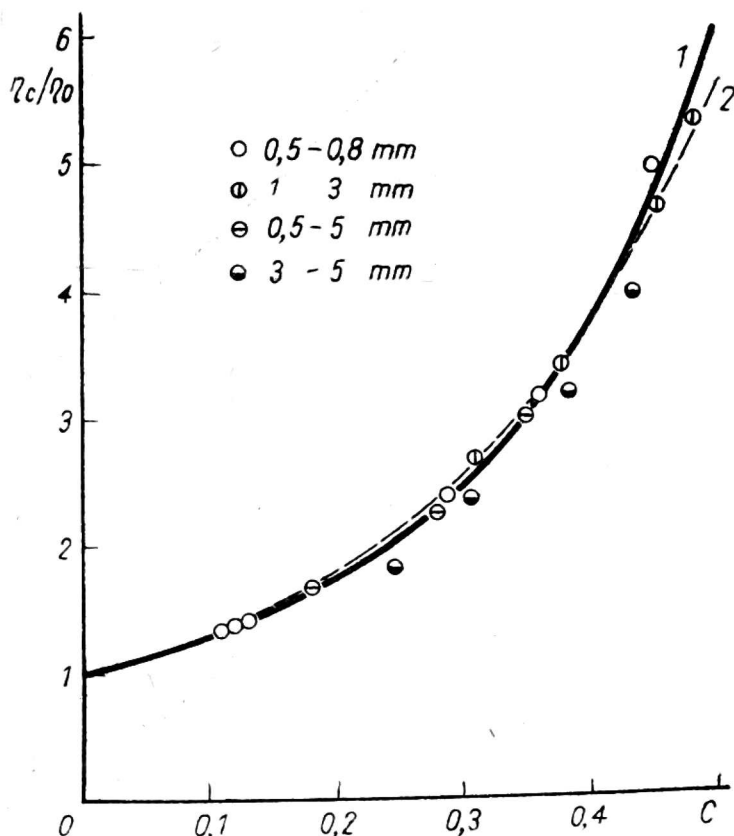
$$\frac{\eta_c}{\eta_o} = 1 + \frac{2C}{(1 - 0,85 C^{2/3})^2} \quad (2)$$

która jest zgodna z danymi doświadczalnymi (rys. 3).

Doświadczalne wartości spadku ciśnienia z powodu tarcia cukrzycy wzdłuż rury spełniają znane równanie Poiseuille'a

$$\lambda_{TP} = \frac{64}{Re} \quad (3)$$





Rys. 3. Zależność lepkości względnej cukrzycy ( $\eta_c/\eta_0$ ) od objętościowej zawartości kryształów ( $C$ )

Współczynniki miejscowych oporów na wlocie cukrzycy do rury i na wylocie z niej można ująć wyrażeniami (rys. 4).

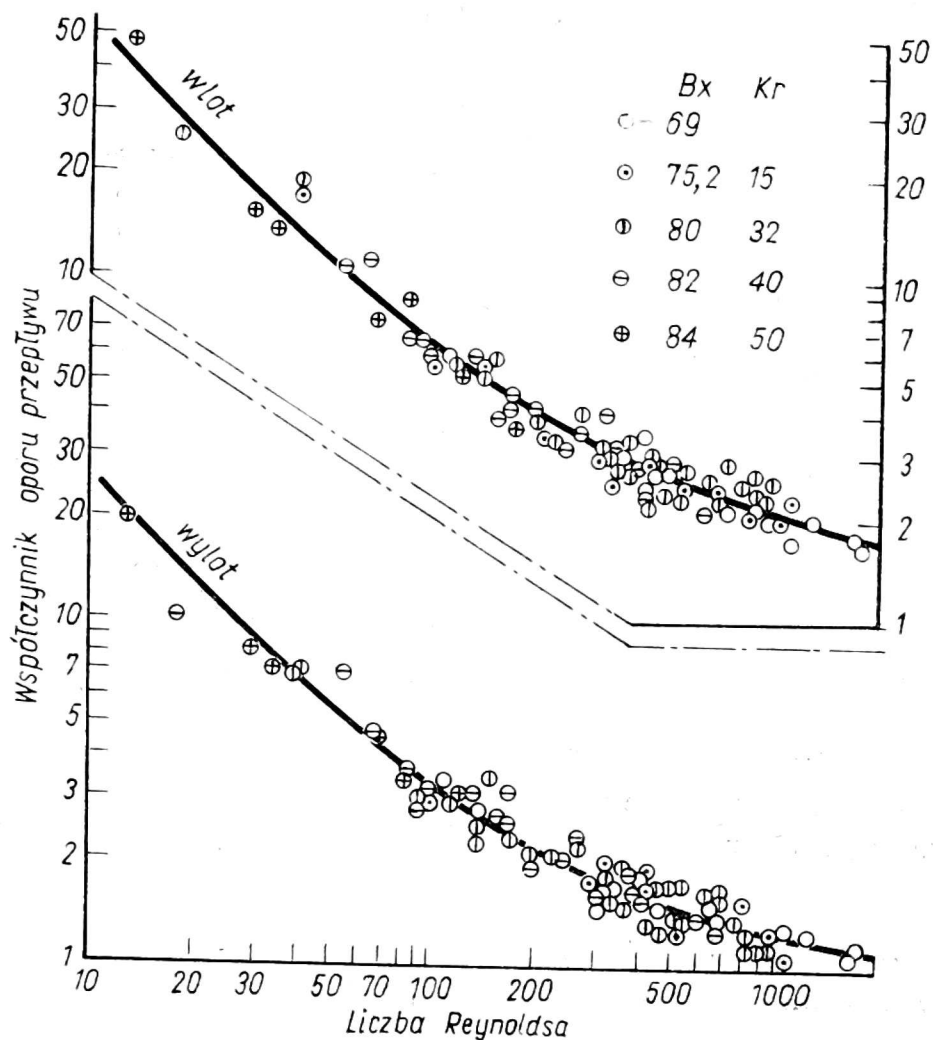
$$\zeta_{kl.} = \frac{500}{Re} + 1,6 \quad (4)$$

$$\zeta_{wyl.} = \frac{250}{Re} + 1,0 \quad (5)$$

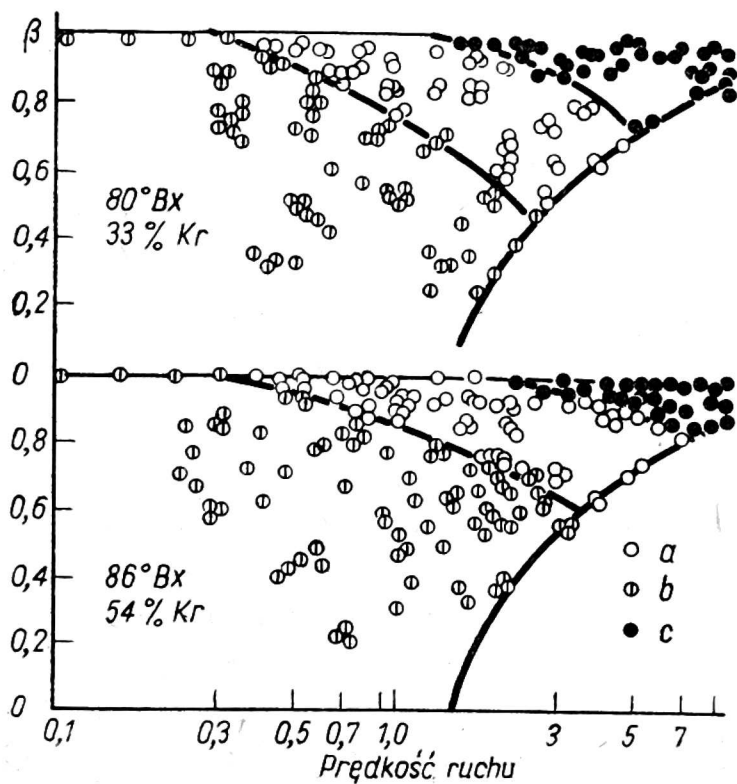
które są słuszne w badanym przez nas obszarze liczb Reynoldsa  $Re = 10-2000$ .

W obserwacjach wizualnych oraz przy użyciu techniki filmowej stwierdziliśmy występowanie różnych postaci przepływu mieszanin cukrzycy z powietrzem w pionowych rurach. Na podstawie danych doświadczalnych wyznaczono zakresy występowania różnych postaci przepływu zależnie od zawartości gazu i od szybkości przepływu mieszaniny  $W_M$  (rys. 5).

Charakterystyczne, że pęcherzykowa postać przepływu zanikała ze wzrostem stężenia cukrzycy przy  $Kr > 15\%$ . Serie doświadczeń poświęcono temu zagadnieniu. Powietrze przepuszczano przez nieruchomą warstwę cukrzycy w rurach o średnicy 4 cale. Przy najmniejszych prędkościach powietrza  $W_o'' = 0,05$  m/s w cukrzycach z  $Kr > 15\%$  przy sicie rozdzielczym tworzyły się powietrzne komory, które zajmowały cały



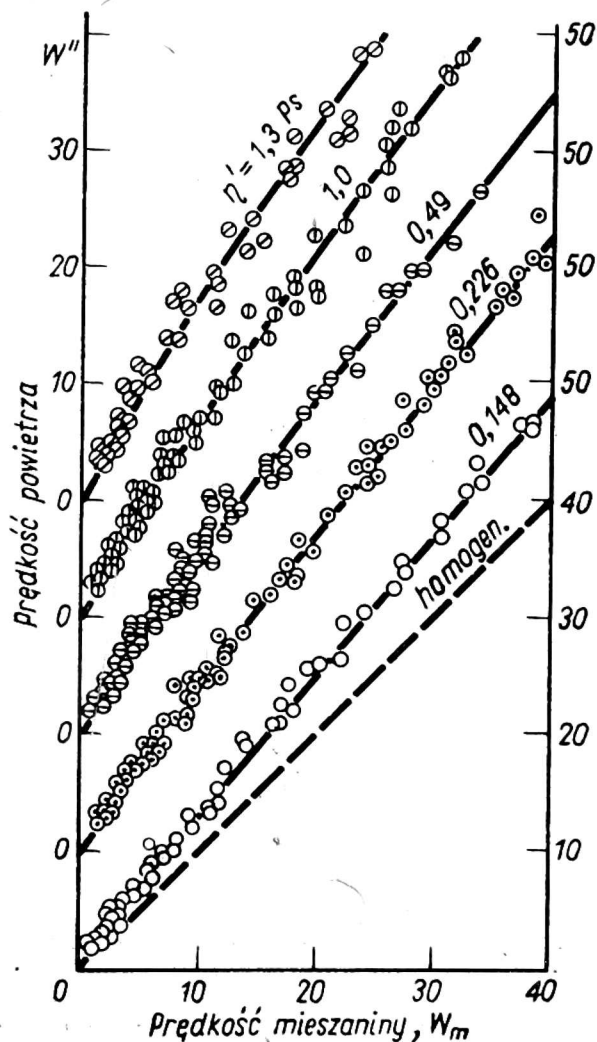
Rys. 4. Współczynniki oporu na wlocie cukrzycy do rury i na wylocie z rury w zależności od liczby Reynoldsa



Rys. 5. Zakresy występowania postaci przepływu mieszaniny cukrzycy z powietrzem  
 a — tłokowa, b — z okresowymi wyrzutami masy, c — pierścieniowa

przekrój rury. Ze wzrostem dopływu powietrza komory powietrzne rosną i z dużą szybkością wyrzucają porcje cukrzycy, których rozmiary niewiele się zmieniają. Przepływ nabiera charakteru tłokowego z ostrymi wahaniami ciśnienia i szybkości faz. Przepływy pierścieniowe występowały tylko przy dużych zawartościach fazy gazowej  $\beta > 0,9$ .

Dane doświadczalne dotyczące rzeczywistych szybkości i zawartości gazu w mieszaninach przedstawiono graficznie w układach współrzędnych:  $\varphi-\beta$ ,  $W_g-W_o$  i  $W''-W_m$  (rys. 6). Otrzymane zależności  $\varphi-\beta$  i  $W_g-W_o$  są zgodne z podobnymi charakterystykami otrzymanymi przez innych autorów [12, 13, 15]. Zależności  $W''$  od  $W_m$  mają przebieg w przybliżeniu prostoliniowy. Nie zależą od ciśnienia i szybkości fazy ciekłej. Ze wzrostem zagęszczenia cukrzycy i wzrostem lepkości wzrastało  $W''$  a wartości  $\varphi$  malały. Tłumaczy się to tym, że hamowanie ruchu cukrzycy na ściankach rury ze wzrostem  $\eta_c$  wzrastało szybciej niż hamowanie ruchu gazu na powierzchni międzyfazowej. Jednakże w barbotażowym systemie pracy przy małych dopływach gazu  $W'' < 0,4$  m/s obserwowano odwrotną zależność, to znaczy ze wzrostem  $\eta_c$  wartości  $\varphi$  rosły, a  $W''$  zmniejszały się. Doświadczalne dane nasze jak też i Tobilewicza, Sagania, Tkaczenki [12] ujęto w postać następujących równań



Rys. 6. Zależność rzeczywistej prędkości powietrza od prędkości mieszaniny powietrza z roztworem cukru i cukrzycą

$$\frac{W_{II}}{W_m} = \frac{\beta}{\varphi} = 1,12 \left[ \frac{Re_m}{We_m^2 Fr_m^2} \right]^{1/7} + \frac{3,24}{Re_m^{0,1}} \quad (6)$$

$$W_m = W_o^I + W_o^{II}, \quad Re_m = \frac{W_m \cdot D \cdot \rho_c}{\eta_c}$$

$$We_m = \frac{\sigma}{W_m^2 \rho D}, \quad Fr_m = \frac{W_m^e}{gD}$$

gdzie:

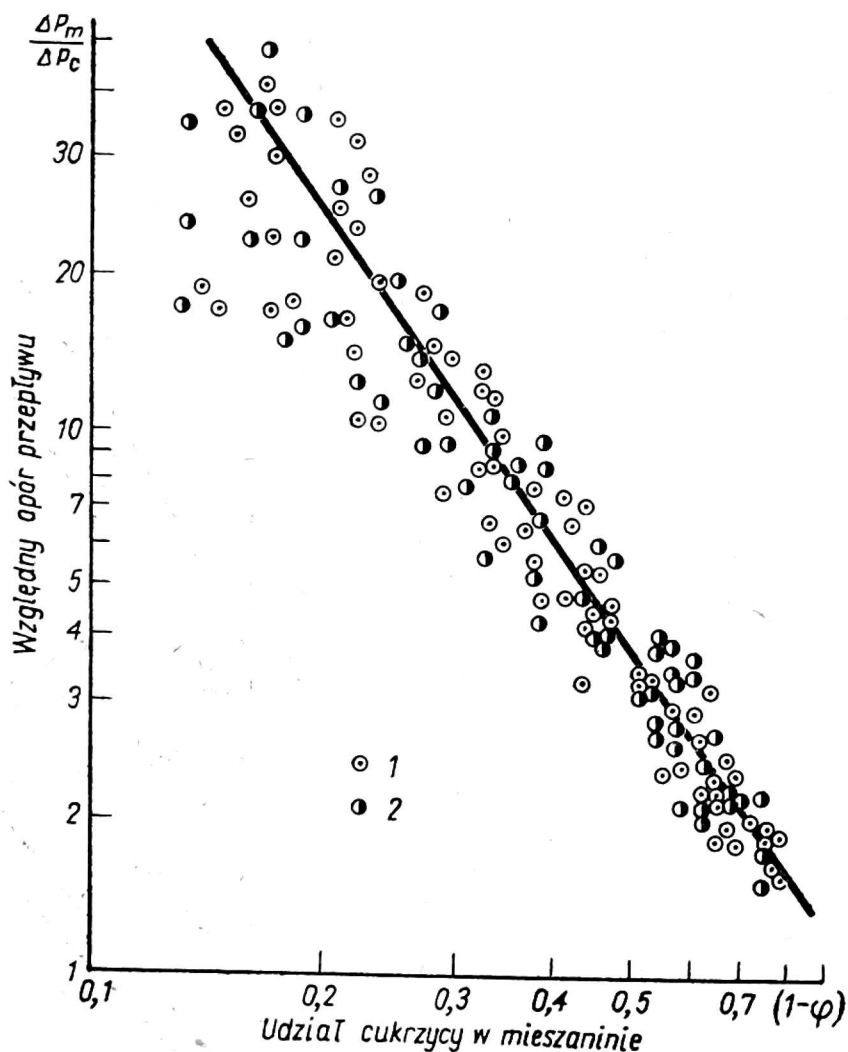
$D$  — średnica rury,

$\rho_c$  — gęstość cukrzycy,

$\sigma$  — napięcie powierzchniowe,

$g$  — przyspieszenie grawitacji.

Opory przepływu mieszaniny cukrzycy z powietrzem ujęliśmy następującą zależnością. Jest ona spełniona z dokładnością do  $\pm 30\%$  (rys. 7).



Rys. 7. Zależność oporów przepływu od zawartości cukrzycy w mieszaninie z powietrzem

1 — 82°Bx, 42% Kr, 2 — 86,1°Bx, 54% Kr

$$\frac{\Delta P_m}{\Delta P_c} = \frac{1}{(1 - \varphi)^2} \quad (7)$$

gdzie:

$\Delta P_m$  — spadek ciśnienia mieszaniny cukrzycy z powietrzem,  
 $\Delta P_c$  — spadek ciśnienia samej cukrzycy z tą samą szybkością.

Opory hydrauliczne przy wyjściu mieszaniny cukrzycy z powietrzem z rury ujęto zależnością z dokładnością do  $\pm 20\%$

$$\frac{\xi_{wyl.}}{\xi_{wyl.o}} = 1 + 0,53 \left( \frac{W_o^{II}}{W_o^I} \right)^{0,42} \quad (8)$$

gdzie:

$\xi_{wyl.}$ ,  $\xi_{wyl.o}$  — współczynniki oporów hydraulicznych przy wyjściu z rury mieszaniny cukrzycy z powietrzem i samej cukrzycy przy tych samych szybkościach przepływu.

Przepływ mieszanin cukrzycy z parą w rurach warnika różni się od adiabatycznych przepływów, dla których otrzymano te zależności następującymi cechami: obecnością odcinka podgrzewanego, szybkim narastaniem zawartości pary na odcinku wrzenia w związku z gwałtownym jej tworzeniem, samoodparowaniem cukrzycy i rozszerzaniem się pary, a także nieizotermicznym charakterem strumienia.

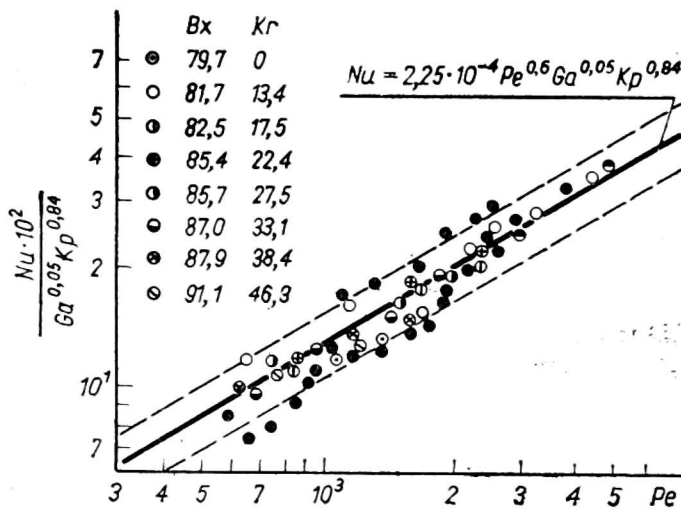
W celu sprawdzenia możliwości zastosowania otrzymanych wzorów wykonano doświadczenia z dziedziny wymiany ciepła i hydrodynamiki podczas wrzenia cukrzycy w wyparce jednorurowej z naturalną cyrkulacją. W doświadczeniach obejmujących wszystkie charakterystyki cieplne, mierzono także szybkości cyrkulacji, spadki ciśnienia w rurze podczas wrzenia i długości odcinków podgrzewania.

Analiza wyników doświadczeń wskazuje, że celowe jest oddzielne określenie wartości współczynników wnikania ciepła na odcinkach podgrzewania i odparowania w rurze, gdzie odbywa się wrzenie. Następnie wyznacza się średnią dynamiczną wartość współczynnika wnikania ciepła w drugiej kolejności.

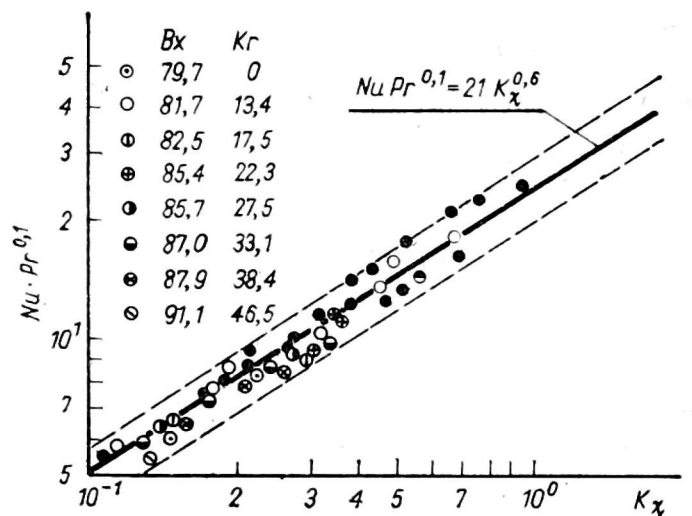
W celu otrzymania zależności do obliczeń średniego współczynnika wnikania ciepła opracowano dane eksperymentalne wnikania ciepła podczas wrzenia cukrzycy w rurach w postaci zależności kryterialnych (2,5). Otrzymano równania (rys. 8 i 9).

$$Nu = 2,25 \cdot 10^{-4} Pe^{0,6} Ga^{0,05} Kp^{0,84} \quad (9)$$





Rys. 8. Wnikanie ciepła do wrzącej cukrzycy, wykres do równania (9); punkty nie objaśnione dotyczą badań innych autorów na cukrzycy II i rafinerskich



Rys. 9. Wnikanie ciepła do wrzącej cukrzycy, wykres do równania (10)

$$Nu = 21 Pr^{-0.1} Kx^{0.6} \quad (10)$$

gdzie:

$$Nu = \frac{a_2 l}{\lambda}, \quad Ga = \frac{g l^3}{\nu^2}, \quad K_p = \frac{Pl}{\sigma}$$

$$Pe = \frac{gl}{r \rho'' a}, \quad Pr = \frac{\nu}{a}, \quad Kx = \frac{g}{r \rho'' D_o u}$$

$a_2$  — współczynnik wnikania ciepła,

$l = \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_c - \rho'')}}$  — charakterystyczny wymiar liniowy,

$\rho_c, \rho''$  — gęstość cukrzycy i pary,

$\nu$  — lepkość kinematyczna,

$r$  — ciepło parowania,

$a$  — współczynnik przewodzenia temperatury,

$D_o$  — średnica odrywającego się pęcherzyka,

$u$  — częstotliwość odrywania się pęcherzyków pary.

Przy wyprowadzaniu zależności (9, 10) proces oddawania ciepła od powierzchni grzejnej do cukrzycy traktowaliśmy jak proces przenoszenia ciepła od ścianki do środowiska dyspersyjnego z niektórymi uogólnionymi parametrami cieplnymi.

Wykonane badania wykazały, że przy wzroście zawartości kryształów spadek intensywności wnikania ciepła wynika ze znacznego zwiększenia lepkości. Obecność kryształów i ich ruch względem siebie prowadzi do zwiększenia lepkości krystalizującego roztworu. Poza tym ze wzrostem objętościowej zawartości kryształów następuje też zmiana parametrów cieplnych cukrzyca. Dlatego wpływ fazy stałej na wymianę ciepła ujmuje się za pomocą uogólniających parametrów cieplnych i lepkości efektywnej, które wchodzi w równania wymiany ciepła.

Lepkość efektywną wyliczano z równania (1), a pozostałe parametry cieplne z równań następujących

$$\lambda_c = \lambda_o \left( 1 + \frac{C}{\frac{1-C}{0,15} + \frac{\lambda_o}{\lambda_{kr} - \lambda_o}} \right) \quad (11)$$

$$a_c = a_o \left( 1 + \frac{C}{\frac{1-C}{0,15} + \frac{a_o}{a_{kr} - a_o}} \right) \quad (12)$$

$$C_c = \frac{Kr}{100} C_{kr} + \frac{100 - Kr}{100} C_o \quad (13)$$

$$\rho_c = \frac{Kr}{100} \rho_{kr} + \frac{100 - Kr}{100} \rho_o \quad (14)$$

gdzie:

$C$  — ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu,

$c$  — cukrzyca,

$o$  — roztwór międzykryształowy.

Dla technicznych obliczeń współczynników wnikania ciepła na odcinku nagrzewania i odparowania rur, w których odbywa się wrzenie, otrzymano równania

$$\frac{Nu}{Nu_k} = 7,1 \left( \frac{g_n}{r \rho^{II} W_o} Pr_c^{0,1} \right)^{0,5} \quad (15)$$

$$Nu = 3,08 \cdot 10^{-4} \cdot Pe^{0,6} \cdot Ga^{0,05} \cdot K^{0,84} \quad (16)$$

$$g_n = g \cdot W_o^{(0,5 - 0,005 CB_c)}$$

gdzie:

$n$  — dla odcinka ogrzewania,

$k, p$  — dla odcinka konwekcyjnej wymiany ciepła i dla odcinka odparowania.

W równaniu (15) średnią wielkość  $\alpha_2$  określano z uwzględnieniem wpływu szybkości cyrkulacji, strumienia cieplnego i cieplnych parametrów cukrzycy.

W celu określenia długości odcinka nagrzewania zastosowano zależność Fiedotkina [15], która daje wyniki zadawalająco zgodne z eksperymentalnymi danymi autorów. W obliczeniach oporów hydraulicznych przepływu w nieizotermicznych strumieniach cukrzycy stosowano korygujące zależności Pietuchowa i Krasnoszczekowa [10].

W poszukiwaniu nowych sposobów wyliczania powierzchni grzejnej warkownika wystąpiła konieczność głębszego zbadania mechanizmu przeniesienia ciepła i obliczenia współczynników wnikania ciepła podczas wrzenia cukrzycy w dużej objętości. W tym celu przeprowadzono badania w układzie termostatowym. Miejscem powstawania pary była pozioma rurka [10]. W doświadczeniach ujawniono dwie strefy wrzenia pęcherzykowego: wrzenia nierozwiniętego, gdy współczynnik wnikania ciepła w małym stopniu zależy od strumienia ciepła ( $\alpha_2 = q^{0,15}$ ) i rozwiniętego wrzenia pęcherzykowego, gdy  $\alpha_2 = q^{0,3}$  do  $q^{0,59}$ .

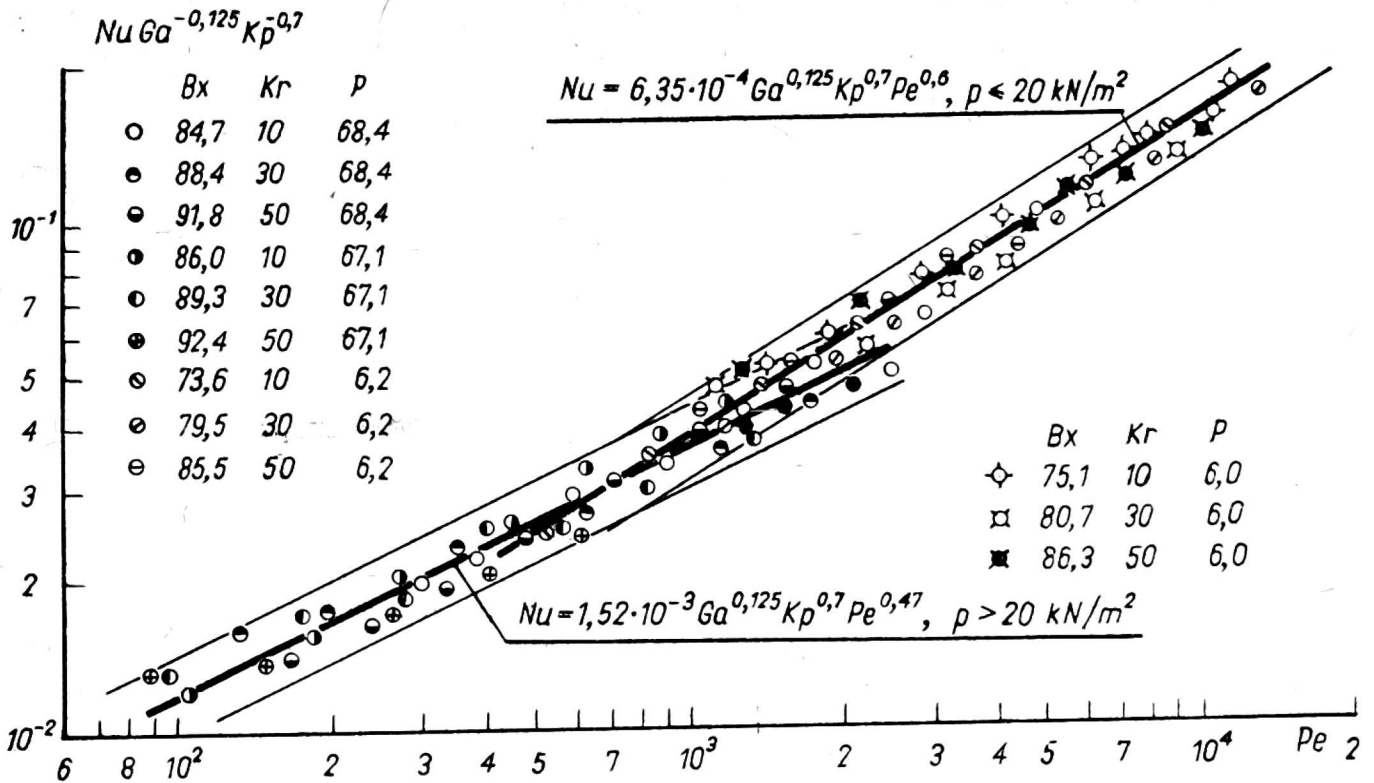
Pierwsza strefa charakteryzuje się dużym przegrzewaniem i pulsacyjnymi zmianami temperatury powierzchni oddającej ciepło co powoduje nierównomierny wzrost kryształów, tworzenie zlepków itp. Charakterystyczne, że w warunkach wrzenia cukrzycy w rurach odcinek nierozwiniętego wrzenia może osiągać znaczne rozmiary co wynika z warunków pracy aparatu. Podczas wrzenia cukrzycy na płaskiej powierzchni grzejnej z niewielką grubością warstwy cukrzycy można utrzymywać postać rozwiniętego wrzenia pęcherzykowego, charakteryzującą się intensywniejszą wymianą ciepła i równomiernym rozkładem temperatur w warstwie cukrzycy. Doświadczenia wykazały, że przy rozwiniętym wrzeniu pęcherzykowym w dużej objętości  $\alpha_2$  jest wyższe o 10 do 30% niż przy wrzeniu w rurach.

Wyniki naszych doświadczeń oraz dane przedstawione przez Popowa [11] zadowalająco spełniają bezwymiarowe wyrażenia (2) z błędem  $\pm 15\%$  (rys. 10) w równaniach

$$100 > P > 20 \quad Nu = 1,52 \cdot 10^{-3} \cdot Ga^{0,125} \cdot K^{0,7} \cdot Pe_p^{0,47} \quad (17)$$

$$P \leq 20 \quad Nu = 6,35 \cdot 10^{-4} \cdot Ga^{0,125} \cdot K^{0,7} \cdot Pe_p^{0,6} \quad (18)$$

Wyższą wartość  $\alpha_2$  podczas wrzenia w dużej objętości (równania 17 i 18) w porównaniu z wrzeniem w rurach (równanie 9) można wyjaśnić zmniejszeniem dyspersji hydrostatycznej, pewnym polepszeniem wydobywania się pary i prawdopodobnie zwiększeniem szybkości warstw pęcherzyków pary przy niewielkiej grubości warstwy cukrzycy.



Rys. 10. Wnikanie ciepła do cukrzycy wrzącej w swobodnej przestrzeni, wykres do równań (17) i (18)

● — dane Popowa, reszta punktów — dane autorów, P — ciśnienie w kN/m<sup>2</sup>

WNIOSKI

1. Otrzymane zależności (1—8) można zalecić do technicznych obliczeń zagadnień hydrodynamicznych w warnikach z pionowymi rurami.
2. W pracy przemysłowych warników najbardziej charakterystyczny jest przepływ tłokowy z okresowymi wyrzutami masy. Przyścienna warstwa cukrzycy odbywa ruch z dołu do góry przy naturalnym przepływie i ruch z góry ku dołowi przy wydobywaniu się pary w jej mieszaninie z cukrzycą. Dzięki temu cukrzyca może przez dłuższy czas znajdować się w obszarze wysokich temperatur.
3. Rzeczywista wartość gazu w strumieniu cukrzycy i pary w rurach warnika, a więc siła napędowa cyrkulacji zmniejsza się ze wzrostem stężenia cukrzycy, to jest jej lepkości.
4. Otrzymane równania (9, 10, 15, 16) wraz z wzorami (1, 11—14) można polecić dla technicznych obliczeń intensywności wnikania ciepła w warnikach z pionowymi rurami, o działaniu periodycznym i ciągłym.
5. Techniczne obliczenia intensywności wymiany ciepła przez cukrzycę wrzącą w dużej objętości można wykonać stosując równania (17, 18).
6. Otrzymane dane doświadczalne i zależności mogą być podstawą prac projektowo-konstrukcyjnych nad warnikami ciągłymi oraz metod intensyfikacji i optymalizacji procesów gotowania cukrzycy.

7. Celowe jest prowadzenie dalszych badań z zakresu wymiany ciepła i wymiany masy podczas wrzenia cukrzycy na nowych elementach powierzchni grzejnej (płaskich, pochyłych, spiralnych i innych).

#### LITERATURA

1. Гаряжа В. Г.: Труды КТИПП им. А. И. Микояна, вып. 15, 1955
2. Таряжа В. Т., Артюхов Ю. Г.: Химическое машиностроение, № 4, Изд. Техника, Киев, 1966
3. Гаряжа В. Т., Павелко В. И.: Зб. Жарчева промьшленность, № 12, Вид. Техника, Киев, 1971
4. Гаряжа В. Т., Кулинченко В. Р.: Сб. Теплофизика и теплотехника, № 24, Изд. Наукова думка, Киев, 1973
5. Гулый И. С., Бажан И. Г.: Вакуум-аппараты непрерывного действия для удваривания сахарных утфелей, ЦНИИТЗИПищепром, Москва, 1970
6. Знаменский Г. М.: Труды КТИПП, вып. II, Киев, 1951
7. Зуев М. Д.: Энциклопедия свеклосахарного производства, Изд. Сахаротреста, Киев, 1924
8. Кичигин М. А., Табилевич Н. Ю.: Гидродинамика и теплообмен при кипении в котлах высокого давления, Изд. АН СССР, Москва, 1955
9. Кургаев Е. Ф.: Доклады АН СССР, т. 132, № 2, 1960
10. Петухов Б. С., Краснощекоев Э. А.: Журнал технической физики, т. 28, вып. 6, 1958
11. Попов В. Д.: Тепловый розрахунок утфельных вакуум-аппаратов, Держтехвидав, УРСР, Киев, 1958
12. Тоболевич Н. Ю., Саган Н. И., Ткаченко С. И.: Известия ВУЗов СССР, Пищевая технология, № 6, 1965
13. Толубинский В. И.: Юбилейный сб. трудов КПИ, Киев, 1948
14. Толубинский В. И.: Известия ВУЗов СССР, Энергетика, № 1, 1959
15. Федоткин И. М., Фириск В. Р.: Интенсификация теплообмена в теплообменных аппаратах химических производств, Изд. Техника, Киев, 1971

*В. Т. Гаряжа, Ю. Г. Артюхов, В. И. Павелко, В. Р. Кулинченко*

#### ГИДРОДИНАМИКА И ТЕПЛООБМЕН В ВАКУУМ-АППАРАТАХ САХАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

##### Резюме

Эффективность работы вакуум-аппаратов сахарной промышленности зависит от интенсивности теплообмена и циркуляции утфеля. Многообразие существующих и разработка новых конструкций этих аппаратов требуют универсального метода технологического, теплового и гидродинамического расчетов. Для этой цели исследованы закономерности гидродинамики и теплообмена при течении в вертикальных трубах утфеля и газоутфельной смеси, а также при кипении утфеля в трубах и большом объеме. Опыты проведены в широком



диапазоне изменения режимных параметров и теплофизических свойств утфеля. Полученные зависимости позволяют анализировать работу действующих и проектировать оптимальные конструктивные элементы новых вакуум-аппаратов, а также разрабатывать методы оптимизации и интенсификации процессов уваривания утфелей.

*V. T. Gariatsha, U. G. Artiukhov, V. I. Pavelko, V. R. Kulinchenko*

## HYDRODYNAMICS AND HEAT EXCHANGE IN THE VACUUM PANS IN SUGAR INDUSTRY

### Summary

The efficiency of vacuum pans in the sugar industry depends on the intensity of heat exchange and on sugar massecuite circulation.

The variety of the existing models and the development of new designs of these apparatus require an universal method for technological, thermal and hydrodynamical calculations. For this purpose some hydrodynamical and thermal regularities in the flow of massecuite and gas massecuite mixture in vertical pipes and during massecuite boiling in great amounts were investigated. The experiments were performed in a vast range of variations of working conditions and massecuite thermophysical characteristics.

The relationships obtained permit to analyze the operation of the existing models and to design optimal construction elements for new vacuum pans; moreover, they enabled to develop the optimization methods and intensification processes for massecuite boiling.