

12/342

Kozyrev, A.A., Danilova, G.N., Djundin, V.A.,  
Borisanskaja A.V.:

Experimentelle Untersuchung der Wärmeübertragung beim Sieden  
von R22 in mehrreihigen Rohrbündeln

Deutsche Vollübersetzung aus:

Teploobmen v énergooborudovanii AES. Sbornik naučnych trudov.  
Leningrad: Nauka, 1986, S. 165 - 172.

Russ.: **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА  
ПРИ КИПЕНИИ R 22 В МНОГОРЯДНЫХ ПУЧКАХ ТРУБ**

Éksperimental'noe issledovanie teploobmena pri kipenii  
R 22 v mnogorjadnych pučkach trub /russ./

Beschrieben werden die Ergebnisse experimentieller Untersuchungen beim Sieden von R22 mehrreihigen berippten Rohrbündeln mit poröser Metalloberfläche. Hierbei wird der Einfluß der Betriebsdaten, der Geometrie des Rohrbündels und der Zustand der Heizfläche auf die Stärke der Wärmeabgabe von R22 Rohrbündeln festgehalten. Empfehlungen werden gegeben für errechnete Abhängigkeiten bei der Berechnung der Wärmeabgabe von Rohrbündeln.

Übersetzungstelle  
der Universitätsbibliothek Stuttgart

Verdampfer im Rohrgehäuse mit einer Leistung von mehr als 500 kW, die zur Hauptausrüstung von großen Kühlmaschinen gehören, bestehen aus mehrreihigen Rohrbündeln.

Um eine Berechnungsmethode zu entwickeln und die Möglichkeiten und Bedingungen zur Steigerung der Wärmeübertragung in diesen Vorrichtungen abzuklären, wurde im Leningrader Technologie-Institut der Kälte-Industrie der Siedevorgang von R22 in Rohrbündeln mit poröser metallischer Beschichtung und im Bündel mit berippten Rohren untersucht.

Die Experimente mit Rohrbündeln und der Beschichtung

Nr.1: ( $N_p = 16$ ,  $s/d = 1.1$ ) und Nr.2 ( $N_p = 12$ ,  $s/d = 1.2$ ) wurden im Parameterbereich

$$q = 1-12 \text{ kW/m}^2, t_0 = -27 \text{ bis } + 20^\circ \text{ C}$$

durchgeführt. Die Untersuchung der Funktionsfähigkeit der porösen Beschichtung im Parameterbereich

$$q = 12-50.5 \text{ kW/m}^2 \text{ und } t_0 = -20 \text{ bis } + 20^\circ \text{ C}$$

wurde an einem 4-reihigen Rohrbündel, das die obere Gruppe der Erwärmung der Rohrbündel 1 und 2 bildet, durchgeführt. Technische Kenndaten der Rohre:

Material - Kupfer, Beschichtung - Kupfer,  $d = 20 \times 2 \text{ mm}$ ,

$\delta$  Schicht = 0,15 mm,  $e = 35-40\%$ .

Die Bedingungen zur Durchführung von Versuchen mit Bündeln berippter Rohre Nr. 3:

$$(N_p = 16, s/d = 1.2) : q = 1-12 \text{ kW/m}^2, t_0 = -15 \text{ bis } +10^\circ \text{ C.}$$

Technische Daten der berippten Rohre:

$$d = 16,5 \text{ mm}, s_p = 1,26 \text{ mm}, h_p = 0,55 \text{ mm}, \beta = 2,85.$$

Der Versuchsstand, der einen geschlossenen Kreislauf bildet, wurde nach dem Schema eines Thermosiphons ausgeführt (Abb. 1). Er bestand aus einem Experimental- und Hilfskreislauf. Die wichtigsten Elemente des Experimentalkreislaufs: der Verdampfer (Ис1)  $V_{si}$  mit einem Versuchsrohrbündel im Innenraum, schlangenförmiger Tauchkondensator Typ  $K_{q1}$ , Thermostat (Ил1)  $P_1$ , Dampferzeuger

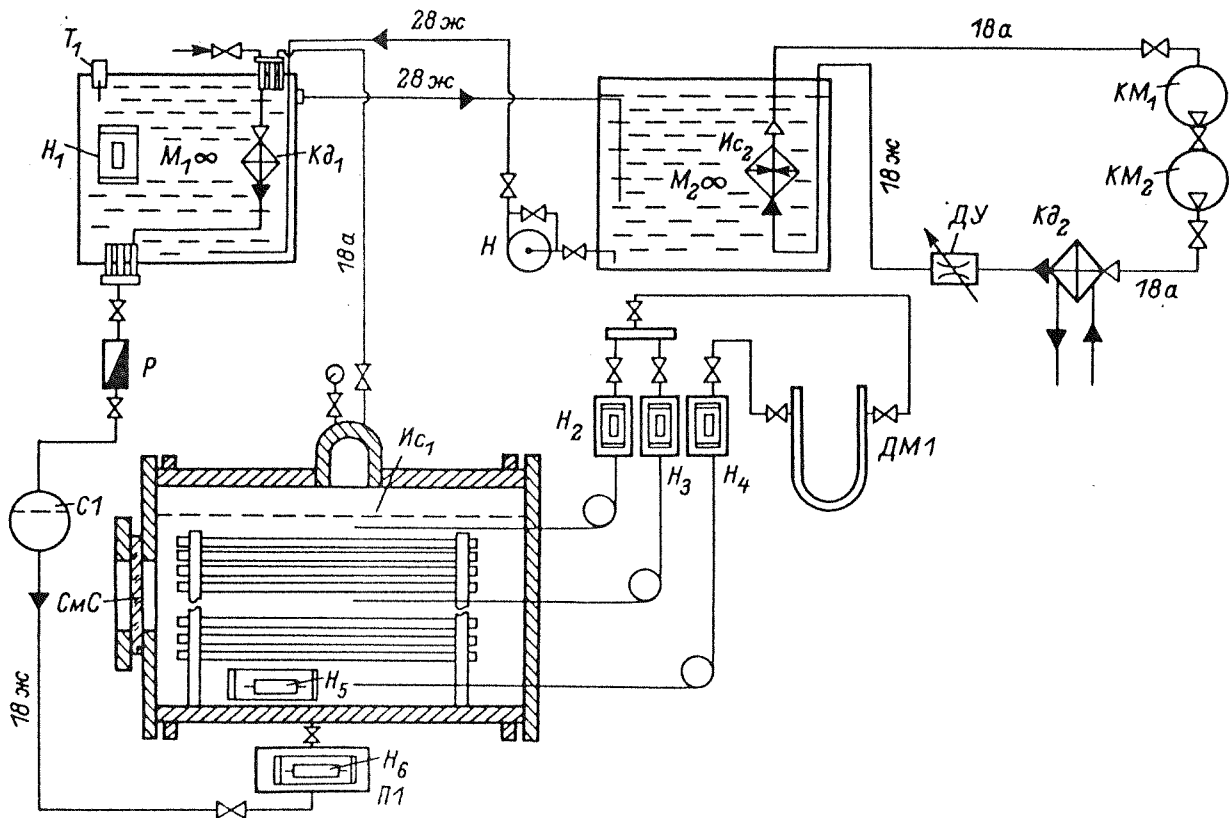


Abb. 1 Schematische Darstellung der Versuchsanlage

$H_{c1}$  Versuchsverdampfer,  $C_{mC}$  Schauglas,  $KM_1$  Kompressor (Niederdruckverdichter),  $KM_2$  Kompressor (Hochdruckverdichter),  $H_{c2}$  schlangenförmiger Verdampfer,  $K\partial_1$  und  $K\partial_2$  Kondensatoren,  $M_1$  und  $M_2$  Mischer,  $H$  Zentrifugalpumpe,  $H_1 - H_6$  Erwärmer,  $\Pi 1$  Thermostat,  $T$  Thermometer,  $\Delta Y$  Drossel,  $\Delta M 1$  Differenzdruckmesser,  $R$  Durchflußmeßgerät.

$H_6$ , Flüssigkeitsstahlbehälter  $C1$ , Volumendurchflußmesser  $P$ . Das Aufstellen des Dampferzeugers  $H_5$  und des Dampfverteilerblechs im Bereich der Zufuhr des flüssigen Kühlmittels zur unteren Rohrreihe ermöglicht am Eingang des Verdampfers eine entsprechende thermische hydrodynamische Umgebung, die den realen Bedingungen nahe kommt. Im Dampftrockner des Verdampfers wurde ein

Mustermanometer M0-160 (Klasse 0,4) zur Kontrolle des Sättigungsdrucks  $p_{\text{H}}$  aufgestellt. Der von dem System der Temperaturkonstanthaltung vorgegebene Sollwert  $t^0$  wurde mit einer Genauigkeit -von + 0,1 °C aufrechterhalten.

Die Experimente wurden unter den Bedingungen einer vollständigen Wärmesimulation durchgeführt, wobei die Wärme durch elektrische Beheizung erzeugt wurde. Zur Bestimmung der Temperatur  $t_{\text{st}}$  wurde die Temperatur an drei Punkten der Außenfläche des Rohres jeder Horizontalreihe gemessen. Während des Versuchs wurden Temperaturmessungen des flüssigen Kältemittels am Eingang und Ausgang des Thermostats, am Eingang des Bündels (unmittelbar an der unteren Rohrreihe) und in drei Zonen in Höhe des Rohrbündels vorgenommen. Temperaturmessungen des Dampfes im Dampfraum erfolgten an 55 Punkten mit Chromel-Kopel-Thermoelementen, die sich über dem Bündel befanden. Diese wurden mit einem Digitalmeßgerät "FSOK" festgehalten.

Nach Durchlaufen der Experimente mit den Bündeln 1-3 wurde eine stufenweise Simulation des Wärmeübergangs in mehrreihigen Rohrbündeln  $N_p = 36$  und  $N_p = 48$  durchgeführt. Als Ausgangsbasis dienten die Bündel Nr. 2 und Nr. 3. Ihre Auswahl wurde damit begründet, daß das Teilungsverhältnis  $s/d = 1.2$  den realen Möglichkeiten großer industrieller Kontrolluntersuchungen entspricht. Die Bündel wurden zu 4 Gruppen in der vertikalen der heizbaren Rohre mit getrennter Stromzufuhr und Messung der Hauptparameter zusammengefaßt. Die untere Rohrgruppe diente als Dampferzeuger, mit dessen Hilfe der erforderliche Dampfgehalt in die Rohrgruppen vorgegeben wurde. So wurden ein Apparat mit 13-24, 25-36 und 36-48 Rohrreihen simuliert.

Bei glatten und berippten Rohren findet die Dampfbildung auf ihrer Oberfläche statt. Die poröse Schicht ist eine kapillarporöse Matrizie mit mehreren untereinander verbundenen und zur Oberfläche offenen Kapilarkanälen. Auf Rohren mit solcher Beschichtung findet das Entstehen und Wachsen von Dampfblasen

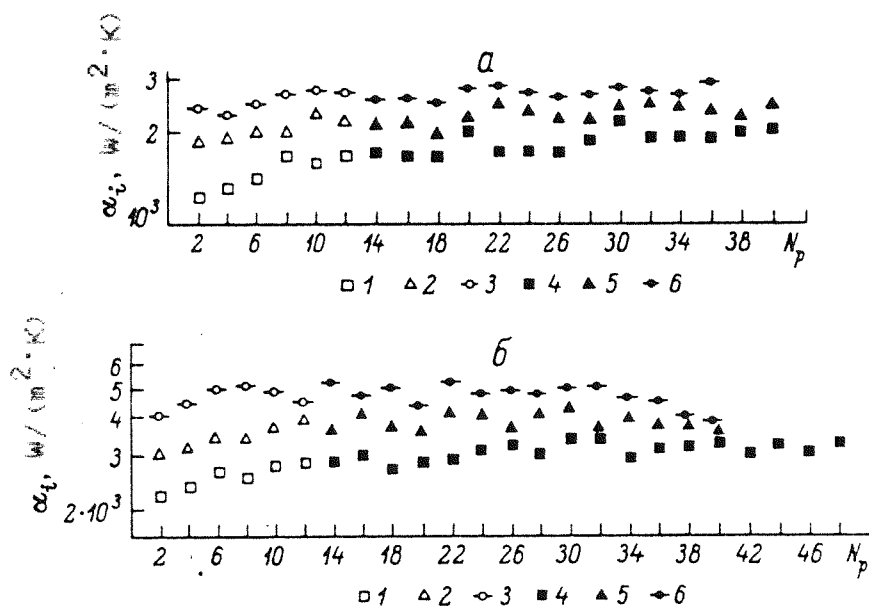


Abb. 2 Simulation eines Rohrbündels Nr. 2 mit poröser Schicht (a) und eines Rohrbündels Nr. 3 mit berippten Rohren (b).

1 - 3 Wärmeübergang des Ausgangsbündels bei  $q = 2, 4, 8 \text{ kW/m}^2$   
 4 - 6 Wärmeübergang des simulierten Bündels bei gleichen Werten von  $q$  und  $t_0$ .

Temperaturen  $^{\circ}\text{C}$ : a =  $-2^{\circ}\text{C}$ , b =  $+5^{\circ}\text{C}$

innerhalb der Kapillarkanäle statt, wo die Blasen mit einem gut wärmeleitenden Matrizenskelett umgeben sind [1]. Eine Überhitzung der Außenflächen der porösen Schicht hinsichtlich  $t_0$  ist praktisch nicht gegeben [2]. Andererseits wird auch der Effekt des Rohrbündels, der sich in der Erhöhung von  $\alpha_i$  gegenüber der unteren Rohrreihen bemerkbar macht, durch die ansteigende Strömung des zweiphasigen Kältemittelstroms bewirkt. Der Kältemittelstrom ruft eine konvektive Wärmeübertragung in den Rohrzwischenräumen hervor und beeinflusst den Prozeß der Dampfbildung unmittelbar an der Heizfläche.

Im größeren Maße entsteht diese Einwirkung bei berippten und glatten Rohren, im geringeren Maße bei Rohren mit poröser Beschichtung, da in diesem Fall nur die Dampfblasen im Moment der Ablösung von der erwärmten Fläche vom strömenden Dampf- und Flüssigkeitsgemisch beeinflusst werden. Die poröse Innenstruktur wird davon nicht betroffen.

Im Unterschied zu den glatten und berippten Rohren [3] erweist sich der Einfluß der Reihenfolge bei der Untersuchung von Rohren mit poröser Schicht als weitaus geringer (Zeichnung, Abb. 2 a). Gemäß experimentellen Angaben kann für die Rohrbündel Nr. 1 und 2 ein gewisser Einfluß der Reihenfolge nur bei  $t_0 = -20^{\circ} \text{C}$  und  $q = 2 \text{ kW/m}^2$  infolge des Wärmeaustauschs durch die Blasenbildung beobachtet werden.

Dabei erhöhte sich die Temperaturdifferenz, die dem vollausgebildeten Blasensieden bei niedrigen Temperaturen  $t_0$  entspricht. Die Intensität der Wärmeübertragung sinkt, die Wirkung der ansteigenden Strömung macht sich folglich in größerem Maße bemerkbar.

Die Auswertung von Ergebnissen, die bei einer stufenweisen Simulierung des Siedens von R22 an mehrreihigen Rohrbündeln erzielt wurden, liefern einen Beweis dafür, daß während des gesamten Untersuchungsintervalls keine Veränderung der Verfahrensgrößen in Richtung Verschlechterung der Wärmeübertragung und Erhöhung von  $N_p$  festgestellt werden konnte. Eine Veränderung des lokalen Wärmeübergangs je nach Erhöhung der Reihenfolge bis zu 36-48 Reihen wie im Ausgangsrohrbündel ist nur schwach feststellbar.

Der Einfluß der Reihenfolge auf das Bündel berippter Rohre Nr. 3 (Abb. 2 b) trat im weitaus größerem Maße bei der Vermessung von  $q$  und  $t^0$  zu Tage, ebenfalls im größeren Umfang im Vergleich mit den Bündeln Nr. 1 und Nr. 2, bei der Absenkung von  $t_0$  und der Verringerung von  $q$ , d.h. im Gebiet des nicht vollausgebildeten

Blasensiedens, wo sich der dynamische Einfluß der Zweiphasenströmung verstärkt. Dies läßt sich qualitativ mit den Resultaten, die früher bei der Untersuchung von 3-, 6- und 9-reihigen Bündeln berippter Rohre [1, 4-6] erzielt wurden, vereinbaren.

Die Veränderung der lokalen Wärmeübergangskoeffizienten in den Reihen des Bündels Nr. 3 wird durch 2 Zonen, in denen die Abhängigkeit

$$\alpha_i = \alpha_i(N_p)$$

sich ungleich entwickelt, charakterisiert. Bis zu einer gewissen Höhe des Bündels steigen die lokalen Wärmeübergangskoeffizienten an. Im Unterschied zu dem in früheren Untersuchungen [7, 8] festgestellten Stabilisationsniveau, das der 6. Reihe entspricht, ist die Anzahl der Reihen, die den Abschnitt eines nichtstabilisierten Wärmeübergangs  $N_{st}$  bilden - wie aus Untersuchungen ersichtlich - eine variable Größe. Die wichtigsten Faktoren, die die Länge dieses Abschnitts während der untersuchten Zeitspanne  $t_0$  beeinflussen, sind  $q$  und  $N_p$ .

Mit dem Anstieg der Größe  $q$  bei  $N_p = \text{idem}$  verringert sich der Einfluß der Reihenfolge und erhöht sich die Größe  $N_{st}$ . Dies ist mit der Verringerung des relativen Einflusses der Geschwindigkeit der Mischung auf den Wärmeübergang verbunden. Wenn  $q = \text{idem}$ , so führt die Erhöhung von  $N_p$  zur Steigerung von  $N_{st}$ , da in diesem Fall sich die Zirkulationsgeschwindigkeit erhöht, folglich auch die Geschwindigkeit der Mischung auf der Ebene der gesamten Reihe.

Der 2. Abschnitt wird durch stabilisierende Wirkung der örtlichen Größen auf die verschiedenen Reihen charakterisiert, was für einen ausschlaggebenden Einfluß auf den Wärmeübergang im gleichen Abschnitt bei der Dampfbildung an jedem Rohr spricht.

Eine Steigerung der Gesamtzahl von Reihen im Bündel bei gleichem oder erhöhtem Wert  $q$  und vorgegebener Größe  $N_p$  bewirkt eine Zunahme des Dampfgehaltes der Zweiphasenströmung, die die Rohre

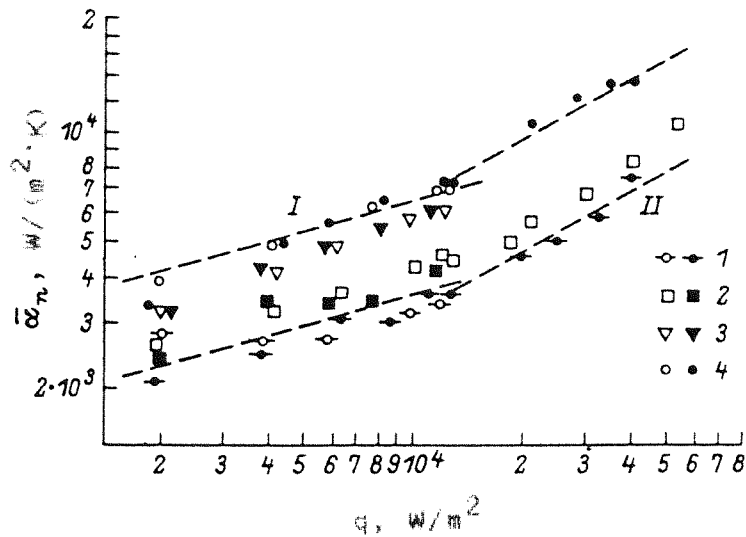


Abb. 3 Mittlere Wärmeübergangskoeffizienten der Rohrbündel Nr. 1 (helle Bezeichnungen) und Nr. 2 (dunkle Bezeichnungen).  
 $t_0, ^\circ\text{C}$ : 1 —  $-20$ , 2 —  $-10$ , 3 —  $+10$ , 4 —  $+20$ . I —  $N_p = 12 \div 48$ ; II —  $N_p = 4$ .

des Bündels umfließt. Bei bestimmten Verbindungen von  $N_p$ ,  $q$  und  $t_0$  kann diese Steigerung zur Verschlechterung des Wärmeübergangs, hervorgerufen durch das Austrocknen der Heizfläche, führen. Diese Erscheinung wurde bei

$$q = 8 \text{ kW}/\text{m}^2, t_0 = 5^\circ\text{C} \text{ und } N_p = 40$$

beobachtet. Der Wärmeübergangskoeffizient verschlechterte sich ab der 31. Reihe, bei der 40. Reihe waren es bereits ungefähr 50 % des gesamten Wärmeübergangs des stabilen Abschnitts.

Der Einfluß der Wärmestromdichte auf den Wärmeübergangskoeffizienten erwies sich als gleich für beide Bündel mit poröser Schicht und zeigte sich wie gewöhnlich:  $\alpha_i$  wuchs an mit der Erhöhung von  $q$ . Die Abhängigkeit von  $\alpha_i = \alpha_i(q)$  machte sich stärker bemerkbar bei den unteren Reihen als bei den oberen. Bei einer Verringerung von  $t_0$  wurde der Unterschied im Einfluß von  $q$  kleiner.

Der Einfluß der Wärmestromdichte auf die mittleren Wärmeübergangskoeffizienten (Abb. 3) war abhängig von der Größe:



bei  $q \leq 12 \text{ kW/m}^2$  war der Einfluß geringer,  
bei  $12 < q < 50 \text{ kW/m}^2$  war er größer.

Dieser Unterschied läßt sich durch die Veränderung im Mechanismus des Wärmeübergangs erklären.

Wenn bei einer geringen Größe von  $q$  die Blasenbildung innerhalb der porösen Schicht vonstatten geht, so überwiegt bei einer Vergrößerung von  $q$  das Blasensieden auf der Außenfläche des Rohres.

Bei Vergrößerung des Rohrabstands des Bündels von 2 mm ( $s/d = 1.1$ ) auf 4 mm ( $s/d = 1.2$ ) erhöhte sich der Wärmeübergang bei  $t_0 \sim -20^\circ\text{C}$  etwas. Dieser Unterschied bleibt jedoch innerhalb der Grenzen von 5-8%, er findet bei den Berechnung von  $\bar{\alpha}_n$  keine Beachtung.

Die Auswertung von experimentellen Daten erbrachte folgende Gleichung für Bündel mit porösen Schichten:

bei  $q = 1-12 \text{ kW/m}^2$  (Abb. 4)

$$\bar{\alpha}_n = 170 q^{0.28} p_0^{0.49} \quad (1)$$

bei  $12 < q \leq 50.5 \text{ kW/m}^2$

$$\bar{\alpha}_n = 14.1 q^{0.54} p_0^{0.52} \quad (2)$$

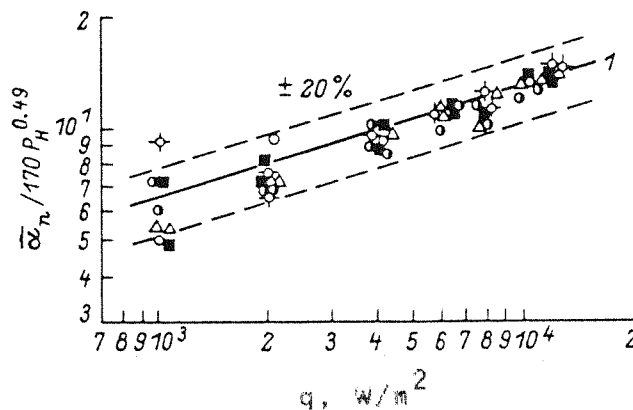


Abb. 4 Gegenüberstellung der Versuchsgrößen  $\bar{\alpha}_n$  für Rohrbündel mit poröser Schicht nach der Formel (1) berechnet.

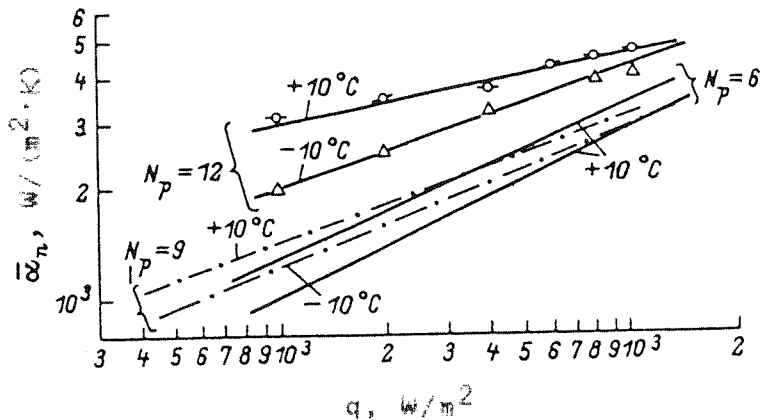


Abb. 5 Gegenüberstellung der Versuchsgrößen  $\bar{\alpha}_n$  für Bündel berippter Rohre mit verschiedenen Reihenzahlen.

$N_p = 6$  [4], 9 [1], 12 (Angaben des Autors)

Für Bündel berippter Rohre führte die Erhöhung von  $q$  bei  $t_0 = \text{idem}$  und  $N_p = \text{idem}$  zur Erhöhung des örtlichen Wärmeaustausches. Bei unteren Reihen wirkte sich das im größeren Maße aus als bei höheren, eine Verringerung verstärkte zudem noch diesen Unterschied. Bei einer Vergrößerung von  $N_p$  höher als 12-14 Reihen (Simulations- bzw. Modellversuch) war der Einfluß von  $q$  praktisch unabhängig von  $t_0$ .

Der Einfluß der Erhöhung von  $q$  auf die Veränderung der für das Bündel berippter Rohre geltenden Mittelwert  $\bar{\alpha}_n$  (Abb. 5) behielt die qualitative Analogie mit den vorher festgelegten Gesetzmäßigkeiten bei [1, 4, 5]. Quantitativ konnte sowohl für das Ausgangsbündel als auch für das Modell-Bündel eine geringe Abhängigkeit ( $\bar{\alpha}_n \sim q^{0.28}$ ) im Vergleich zu den Angaben zu den 6-reihigen Bündel [4] ( $\bar{\alpha}_n \sim q^{0.45}$ )

beobachtet werden. Dies wird mit einer Geschwindigkeitserhöhung der Mischung bei sonst gleichen Bedingungen in vielreihigen Bündeln im Vergleich zu Bündel geringer Reihenzahl ( $N_p \ll 6$ )

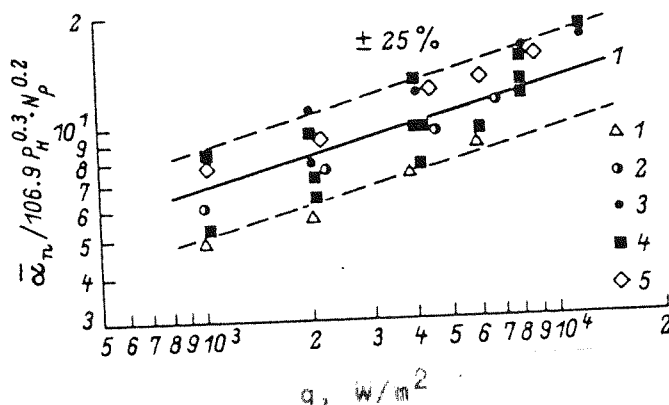


Abb. 6 Gegenüberstellung der Versuchsgrößen  $\bar{\alpha}_n$  für Bündel berippter Rohre nach der Formel (3) berechnet.

Aus der Arbeit [1]  $N_p = 9$ ;  $t_0$  °C: 1= +10, 2= -20; Angaben der Autoren: 3= +5, 4= -10, 5= -15.

erklärt. Im Zusammenhang damit ist die konvektive Wärmeübertragung und dadurch hervorgerufene dynamische Einwirkung der Aufwärtsströmung des Zweiphasenstromes in den Kanälen, die von den Rohren des Bündels gebildet wird, von großer Bedeutung.

Das Ergebnis der Analysen zeigt, daß bei der Berechnung von lokalen und folglich auch von integralen Kenndaten des Wärmeübergangs beim Sieden der vielreihigen Bündel berippter Rohre unbedingt der Einfluß nicht nur von  $q$  und  $p$ , sondern auch die Flüssigkeitseigenschaften, die Maße und Anordnung der Rohre und auch die Gesamtzahl der Reihen in der Vertikalen berücksichtigt werden müssen.

Bei Berechnung des mittleren Wärmeübergangs gelangte man zur Gleichung:

$$\bar{\alpha}_n = 106.9 q^{0.28} p_0^{0.3} N_p^{0.2} \tag{3}$$

wobei  $q = 1 - 12 \text{ kW/m}^2$   
 $t_0 = -20 - 10 \text{ }^\circ\text{C}$   
 $N_p = 9 - 48.$

Die Gegenüberstellung von experimentellen Daten und der Resultate [1] für ein 9-reihiges Rohrbündel mit der Berechnung nach (3) ist auf Abb. 6 dargestellt.

#### Die im Aufsatz verwendeten technischen Kenndaten

d	Durchmesser (m, mm)
$h_p$	Höhe der Rippe (m, mm)
$N_p$	Anzahl der Reihen des Rohrbündels
p	Druck ( $\text{N/m}^2$ , bar)
q	Wärmestromdichte ( $\text{W/m}^2$ )
s	Rohrabstand (m, mm)
s/d	Teilungsverhältnis
$s_p$	Rippenabstand
$t_0$	Temperatur ( $^\circ\text{C}$ )
$\alpha$	Wärmeübergangskoeffizient ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ )
$\beta$	Berippungszahl
$\delta_{\text{Schicht}}$	Schichtstärke (m, mm)
$\varepsilon$	Porösität ( % )

#### Literatur

1. Данилова Г. Н., Дюндин В. А., Богданов С. Н. и др. Интенсификация теплообмена в кожухотрубных испарителях.— Холодильная техника, 1981, № 5, с. 36—40.

Danilova, G.N.; Djundin, V.A.; Bogdanov, S.N.:

Intensifikacija teploobmena v kožuchotrubnych ispariteljach.  
In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 58 (1981), Nr 5,  
S. 36 - 40.

/Intensivierung des Wärmeübergangs in  
Röhrenkesselverdampfern; russ./

2. Техвер Я., Туник А. О кризисе теплоотдачи при кипении на поверхности, покрытой пористым материалом.— Изв. АН ЭССР. Физика, математика, 1977, т. 26, № 2, с. 194—198.

Techver, Ja.; Tunik, A.: O krizise teplotdaci pri kipenii na poverchnosti, pokrytoj poristym materialom.

In: Izvestija. Akademiya nauk Estonskoj SSR. Fizika, matematika. Tallinn, 26 (1977), Nr 2, S. 194 - 198.

/On crisis of heat transfer at boiling to porous surfaces; russ./

3. Интенсификация теплообмена во фреоновых кожухотрубных испарителях путем применения труб с металлизационным покрытием.— Холодильная техника, 1979, № 1, с. 26—31.

Gogolin, V.A.; Krotkov, V.N.; Nečaj, V.A.; Tovaras, N.V.; Danilova, G.N.; Borišanskaja, A.V.; Djundin, V.A.; Kozyrev, A.A.; Vachalin, V.A.; Protasov, G.A.: Intensifikacija teplotbmena vo freonovych kožuchotrubnych ispariteljach putem primenenija trub s metallizacionnym pokrytiem.

In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 56 (1979), Nr 1, S. 26 - 31.

/Intensivierung des Wärmeübergangs in Frigen-Röhrenkesselverdampfern durch Verwendung von Röhren mit Metall-Überzügen; russ./

4. Дюндин В. А. Теплообмен при кипении фреонов на ребристых поверхностях: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Л.: ЛТИХП, 1971. 22 с.

Djundin, V.A.

Teplotbmen pri kipenii freonov na rebristych poverchnostjach. Avtoreferat dissertacii na soiskanie učenoj stepeni kandidata chimičeskich nauk.

Leningrad, Leningradskij tehnologičeskij institut cholodil'noj promyšlennosti, 1971, 22 S.

/Der Wärmeübergang beim Sieden von Kältemitteln an berippten Oberflächen. Thesen zur Dissertation; russ./

5. Heimbach, Paul: Wärmeübergangskoeffizienten für die Verdampfung von R22 und R13 an einem überfluteten Rippenhohl-Bündel.

In: Linde Berichte aus Technik und Wissenschaft. Berlin, 29 (1971), S. 33 - 42.

6. Heimbach, P.: Boiling coefficients of refrigerant oil-mixtures outside a finned tube bundle.

In: International Institute of refrigeration. Annexe-1. Paris, 35 (1972), S. 117 - 125.

7. Данилова Г. Н., Богданов С. Н., Иванов О. П. и др. Теплообменные аппараты холодильных установок. Л.: Машиностроение, 1973. 328 с.

Danilova, G.N.; Bogdanov, S.N.; Ivanov, O.P.  
Teploobmennye apparaty choolodil'nych ustanovok.  
Leningrad: Verlag "Masinostroenie", 1973, 328 S.  
/Wärmetauscher für Kälteanlagen; russ./

3. Кутепов А. М., Стерман Л. С., Стюшин Н. Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. М.: Высшая школа, 1977. 352 с.

Kutepov, A.M.; Sterman, L.S.; Stjusin, N.G.  
Gidrodinamika i teploobmen pri paroobrazovanii.  
Moskva: Vyssaja skola, 1977, 352 S.  
/Hydrodynamics and heat transfer during steam generation;  
russ./

Stuttgart, den 9. Februar 1994

Übersetzt von

(Andrea Ulrich-von Oertzen)  
Dipl.-Übersetzerin

*Ottmar Pertschi*

(Ottmar Pertschi)  
Dipl.-Übersetzer