

U/374

Bukin, V.G. (Kand.d.techn.Wiss.), Danilova, G.N. (Dr.d.techn. Wiss.; Prof.), Djundin, V.A. (Kand.d.techn.Wiss.)

EINFLUSS DER OBERFLÄCHENPOROSITÄT UND ÖLKONZENTRATION
AUF DEN WÄRMEÜBERGANG DER KÄLTEMITTEL R12 UND R22
IN BERIESELTEN WÄRMETAUSCHERN

Deutsche Vollübersetzung aus:

Cholodil'naja tehnika. Moskva, 61 (1984), Nr 1, S. 29 - 32.

Russ.: **ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОГО
ПОКРЫТИЯ И КОНЦЕНТРАЦИИ
МАСЛА НА ТЕПЛООТДАЧУ
ХЛАДАГЕНТОВ R12 И R22
В ОРОСИТЕЛЬНЫХ
ТЕПЛООБМЕННИКАХ**

Vlijanie poristogo pokrytija i koncentracii masla
na teplootdachu chladagentov R12 i R22 v orositel'nyh
teploobmennikach

The effect was studied of heat flux d., pressure, spray-liq. properties, spray d., porous layer structure, etc. on the heat transfer during boiling of R12 and R22 in a spray evaporator. Expts. were carried out in a tube bundle (tube diam. 20 mm) with a porous coating of Cu and stainless steel (thickness 100-1000 μ) at a heat flux d. of 1-25 kW/m². The results are compared with those obtained on a smooth pipe with no coating. For R12 at a satn. temp. of -30°, stable boiling was obsd. in coated tubes at a heat flux d. of 1 kW/m², whereas for smooth tubes similar boiling was obsd. only at 15 kW/m². The heat-transfer coeff. on the tube surface was 2-5 times and 10-20 times larger than that for smooth tubes under spray and submerged conditions, resp.

Übersetzungsstelle
der Universitätsbibliothek Stuttgart

Geringere Kosten, weniger Metallverbrauch und kleinere Geräteabmessungen sowie eine geringere notwendige Füllhöhe der Arbeitsflüssigkeit, das sind Fragen, die am besten mit Berieselungsverdampfern gelöst werden /1, 3/. Gleichzeitig ist ein intensiver Wärmeübergang bei niedrigen Siedetemperaturen auch bei diesen Geräten ein großes Problem. Am aussichtsreichsten erweist sich dabei der Einsatz von porösen Metall- und Nichtmetall-Belägen der Wärmeaustauschflächen /2/.

Untersucht wurde der Einfluß der Wärmestromdichte, der Eigenschaften der Berieselungsflüssigkeiten, der Anordnung des Rohrbündels, der Struktur der porösen Schicht und der Ölkonzentration auf den Wärmeübergang beim Sieden von R12 und R22 in den Bauteilen der Berieselungsverdampfer von Kältemaschinen nach der in /1/ beschriebenen Methode auf dem Versuchsstand innerhalb der Meßbereiche: Wärmestromdichte $q = 1 - 25 \text{ kW/m}^2$, Berieselungsdichte $\Gamma = 0,03 - 0,24 \text{ kg/(s}\cdot\text{m)}$, Sättigungstemperatur $t_s = 0 \div - 40^\circ\text{C}$. Die Versuche erfolgten an Rohren (Durchmesser $20 \times 2 \text{ mm}$) mit porösen Belägen der Wärmeaustauschflächen, die durch Lichtbogenbeschichtung (Tab. 1), durch Aufbringen von Metall- und Nichtmetallgittern (Tab. 2) und durch Sintern (Tab. 3) hergestellt wurden. Die Rohre wurden in Fünferbündeln angeordnet.

T a b e l l e 1

Rohr-Nr	Rohreigenschaften			Eigenschaften der Beläge		
	Werkstoff	\varnothing , mm	Strecke, mm	Werkstoff	Dicke, mm	Porosität p, %
1	Kupfer M3	20x2	350	Kupfer M1	100	36,8
2					150	30,7
3					170	23,6

T a b e l l e 2

Rohr-Nr	Werkstoff	Dicke, mm	Anzahl Fäden pro 1 cm		Faser- \varnothing	Anzahl d. Fasern im Faden
			Kette	Schub		
			4	Glasfaser		
5		2x0,1	22,0	18,4	4,77	200
6		0,25	25,6	21,0	5,54	200
7	Stahl	0,08	120		40	1

Tabelle 3

Rohr-Nr	Rohreigenschaften			Eigenschaften der Beläge			
	Werkstoff	∅, mm	Vers. strecke, mm	Werkstoff	Dicke, mm	Porosität P, %	∅ der Stahlkörnchen, μm
8	Stahl 1Ch18N	20x2	300	dito	350	46	0,6—0,1
9	9T (0,1% C;				300	46	0,06—0,1
10	18% Cr; 9%				1000	50	0,1—0,2
11	Ni; 1% Ti)				500	52	0,16—0,25

Die Thermolemente wurden vor dem Aufziehen der porösen Beläge in den Rohren angebracht.

Einige Versuchsergebnisse zum Sieden von reinen Kältemitteln an Rohren mit porösem Belag sind im Vergleich mit den Angaben für glatte Rohre in Abb. 1 dargestellt.

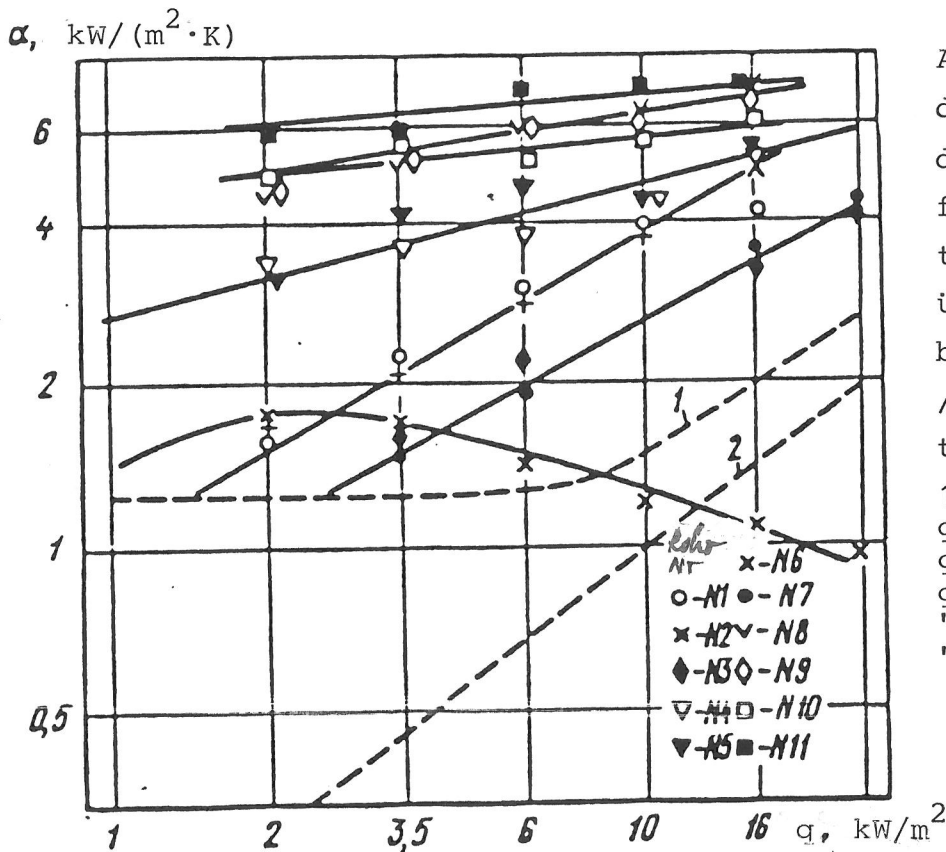


Abb. 1. Einfluß der Beschaffenheit der Wärmeaustauschfläche auf die Intensität des Wärmeübergangs von R12 bei $\Gamma = 0,12 \text{ kg}/(\text{s} \cdot \text{m})$ und $t_s = -10^\circ\text{C}$:
 1) Berieselung, glattes Rohr; 2) großer Behälter, glattes Rohr;
 "+" Rohr Nr 2;
 "x" Rohr Nr 6.

Die an einem Bündel aus fünf Rohren mit porösem Belag durchgeführten Versuche zeigten, daß die Anzahl der Rohrreihen praktisch keinen Einfluß auf den Wärmeübergang hat. Deshalb können die für einzelne Rohre ermittelten Versuchswerte auch auf Rohrbündel übertragen werden.

Festgestellt wurde ein stabiles Blasensieden bei geringen Wärmestromdichten, für die an glatten Rohren eine Verdampfung charakteristisch ist. So wurde bei R12 und $t_s = -30^\circ \text{C}$ ein stabiles Sieden an Rohren mit porösem Belag bei $q = 1 \text{ kW/m}^2$ festgestellt, wohingegen eine derartige Siedeintensität bei glatten Rohren und unter denselben Bedingungen bei $q = 15 \text{ kW/m}^2$ vorkam. Ein ähnliches Verhalten beobachteten wir bei R22.

Unter vergleichbaren Bedingungen ist die Anzahl der aktiven Keimstellen bei Rohren mit Belägen wesentlich größer als bei glatten Rohren, die Wärmeübergangszahl von Rohrflächen mit porösen Belägen (optimaler Zustand) 2 - 5 bis 10 - 20 mal größer als von glatten Rohroberflächen, die entweder berieselt werden oder sich in einem großen Behälter befinden.

Beim Sieden an überzogenen Rohren kommt dem Umstand, wie dicht der Werkstoff am Rohr anliegt, eine große Bedeutung bei, weil der Dampf hauptsächlich unter dem Belag erzeugt wird und weil sein Durchsatz durch die poröse Schicht erschwert ist, wenn das Material dicht anliegt. In diesem Fall kann sich bei einer bestimmten Dampfbildungsintensität zwischen dem Belag und der Rohroberfläche ein den Wärmeübergang verschlechternder Dampffilm bilden. Eine solche Erscheinung beobachteten wir bei Verwendung von dichtem Glasfasergewebe (Dicke 0,25 mm) als Belagmaterial. Bei den anderen Werkstoffen kam es zu keiner Dampffilmbildung. In diesem Fall fand eine ausreichend gute Dampfableitung von der Dampferzeugungsfläche statt, der Wärmeübergang war hochintensiv.

Festgestellt wurde, daß der Einflußgrad der Wärmestromdichte auf den Wärmeübergang beim Sieden an Rohren mit porösen Belägen

geringer ist als bei glatten Rohren, wobei dieser Einfluß mit steigendem Druck geringer wird.

Die hydrodynamischen Kennwerte des Films sowie die Anordnung der Rohrbündel haben praktisch keinen Einfluß auf die Intensität des Wärmeübergangs. Dies bestätigt die Annahme, daß der Wärmeübergang Flüssigkeit/Dampf hauptsächlich in den Innenschichten des Belages vonstatten geht, die vor dynamischen Einwirkungen der Strömung geschützt sind.

Da bei vielen Kältemaschinen die Verdampfer nicht mit reinen Substanzen gefüllt sind, sondern mit Öl-Kältemittel-Gemischen, ist der Einfluß des Öls auf die Wärmeübergangsintensität beim Sieden von Gemischen an Rohren mit porösen Belägen von Interesse.

Bei den Versuchen wurden als Testflüssigkeiten R12-Gemische mit Öl HF-12 und R22 mit Öl FM-5,6 AP verwendet (Ölkonzentration im Gemisch $\xi_{\text{Öl}} = 0 - 0,17 \text{ kg/kg}$). Diese waren im gesamten untersuchten Bereich der veränderten Temperaturen und Konzentrationen homogene Lösungen.

Die Ablesungen zeigten ein stabiles Blasensieden der Gemische bei geringen Wärmestromdichten mit Bildung von viel feindisperssem Schaum, dessen Menge mit der Anzahl der Rohrreihen zunimmt. Dabei ist die Intensität der Schaumbildung unter vergleichbaren Bedingungen wesentlich größer als bei glatten Rohren. Im gesamten Veränderungsbereich der Wärmestromdichte wurden nur Bereiche mit nicht voll ausgebildetem oder ausgebildetem Sieden festgestellt.

Einige Versuchsergebnisse über die Abhängigkeit der Wärmeübergangszahlen von Öl-Kältemittel-Gemischen von der Wärmestromdichte bei Rohren mit verschiedener Oberflächenbeschaffenheit sind in den Abb. 2 und 3 wiedergegeben.

Festgestellt wurde, daß der Wärmeübergang in der Höhe des Fünferbündels praktisch unverändert bleibt. Gleichzeitig ist

die Art der Filmströmung an den oberen und unteren Rohren des Bündels unterschiedlich, weshalb der Wärmeübergang je nach Reihenhöhe bei Bündeln mit mehreren Rohren verschieden sein kann. Infolge der geringfügigen Zunahme der Ölkonzentration, hervorgerufen durch Verdampfen des Kältemittels beim Umströmen des Rohrbündels, veränderte sich die Temperatur der Kühlflüssigkeit nach der Reihenhöhe nicht.

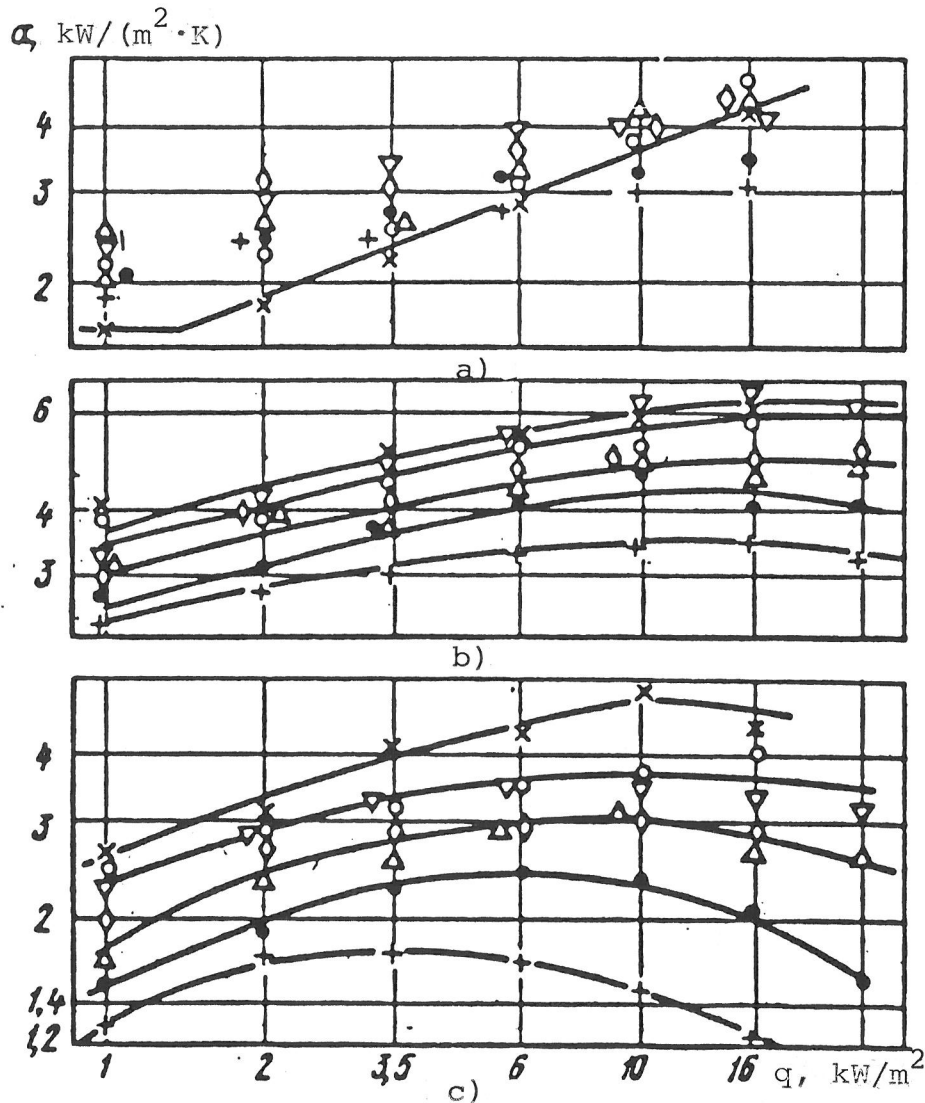


Abb. 2. Abhängigkeit des Wärmeübergangskoeffizienten α des R12-HF12-Gemisches von der Wärmestromdichte q und der Ölkonzentration $\xi_{\text{öl}1}$ bei verschiedenen Rohren und $t_s = -10^\circ \text{C}$:

a) Rohr Nr 1; b) Rohr Nr 9; c) Rohr Nr 4;

x $\xi_{\text{öl}1} = 0 \text{ kg/kg}$; o $\xi_{\text{öl}1} = 0,007$; v $\xi_{\text{öl}1} =$

$= 0,015$; \diamond $\xi_{\text{öl}1} = 0,03$; \triangle $\xi_{\text{öl}1} = 0,005$;

• $\xi_{\text{öl}1} = 0,1$; + $\xi_{\text{öl}1} = 0,165 \text{ kg/kg}$

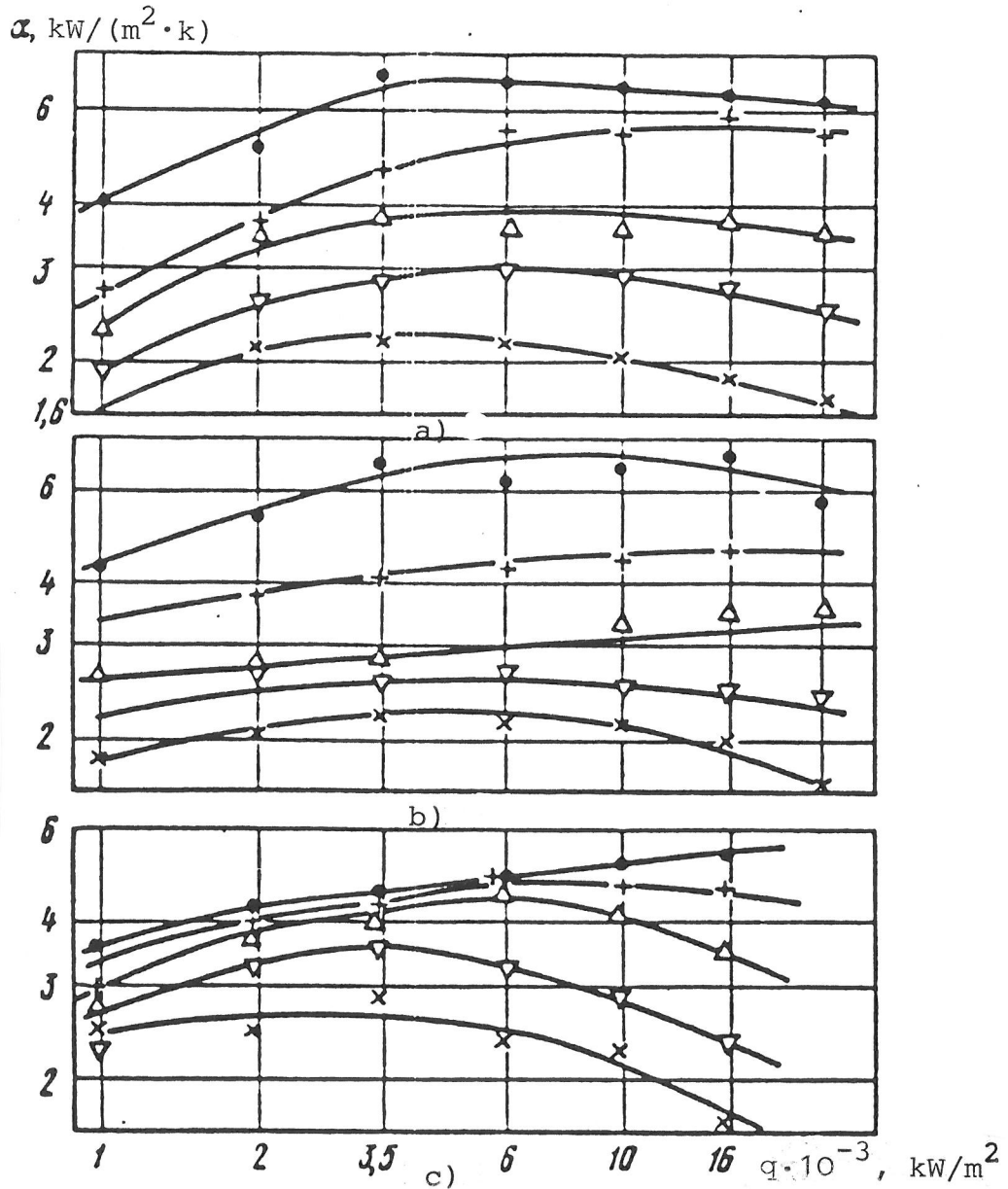


Abb. 3. Abhängigkeit des Wärmeübergangskoeffizienten α des R22-FM 5,6 AP-Gemisches von der Wärmestromdichte q beim Rohr Nr 4 sowie bei verschiedenen Temperaturen t_s und Ölkonzentrationen $\xi_{\text{öl}}$:
 a) $t_s = 0^\circ \text{C}$; b) $t_s = -10^\circ \text{C}$; c) $t_s = -30^\circ \text{C}$;
 ● $\xi_{\text{öl}} = 0$ kg/kg; + $\xi_{\text{öl}} = 0,02$; △ $\xi_{\text{öl}} = 0,07$; ▽ $\xi_{\text{öl}} = 0,11$; x $\xi_{\text{öl}} = 0,16$ kg/kg

Die Auswertung der Versuchsdaten ergab, daß die Art der Veränderung der Wärmeübergangskoeffizienten von Gemischen in Abhängigkeit von q , t_s , $\xi_{\text{öl}}$ bei den untersuchten Lösungen analog ist, auch wenn der Wärmeübergang beim R22-FM 5,6 AP-Gemisch unter vergleichbaren Bedingungen etwas stärker ist.

Der Einfluß der Ölkonzentration auf den Wärmeübergang tritt je nach der Struktur des Oberflächenbelages verschiedenartig zutage. In der Regel wird der Wärmeübergang mit zunehmender Konzentration schlechter, dies am stärksten bei Rohren mit überzogenen Außenflächen. Beim Sieden an solchen Rohren wird die unter dem Überzug liegende Schicht durch eine leichtsiedende Komponente verarmt und durch Öl angereichert. Bei der Verwendung von Glasfasergewebe mit $\delta = 0,1$ mm (Rohr Nr 4) ist die Wärmeübergangszahl des Gemisches α_{Gem} 2 - 5 mal geringer als die der reinen Substanz α_0 . Diese Relation ist dabei umso größer je höher die Werte q , t_s , $\xi_{\text{öl}}$. Bei Verwendung eines Stahlnetzes (Rohr Nr 7) wurde eine geringfügige Abnahme der Wärmeübergangszahl registriert. Dies läßt sich durch die größere Porosität erklären, die eine Abscheidung von Öl aus der Grenzschicht erleichtert.

Beim Sieden an Rohren mit porösen Belägen aus Metall tritt der negative Einfluß des Öles auf α geringer zutage als beim Sieden an überzogenen Rohren. Dies hängt mit dem besseren Kontakt zwischen porösem Belag und Rohr zusammen sowie damit, daß kein Dampffilm zwischen den beiden auftritt.

Mit Abnahme der Sättigungstemperatur (des Drucks p) sinkt die Siedeintensität. Deswegen wirkt sich der negative Einfluß von $\xi_{\text{öl}}$ auf α geringer aus. In einigen Fällen ist im Bereich des nicht voll ausgebildeten Siedens bei geringen Ölkonzentrationen der Wärmeübergang des Gemisches größer als der von reinen Kältemitteln. Analoge Beziehungen werden in vielen Arbeiten genannt, die sich mit dem Sieden an glatten Rohren sowie beim Behältersieden an Rohren mit porösen Belägen befassen.

Die Auswertung der Versuchsdaten ergab, daß mit steigendem $\xi_{\text{öl}}$ und p der Einflußgrad der Wärmestromdichte auf den Wärmeübergangskoeffizienten abnimmt. Dies hängt mit der zunehmenden Ölkonzentration in der Grenzschicht zusammen.

Die Versuchsergebnisse zeigten, daß Berieselungsdichte und Anordnung des Rohrbündels keinen Einfluß auf den Wärmeübergang von Öl-Kältemittel-Gemischen im gesamten Untersuchungsbereich von q , $\xi_{\text{öl}}$ und p haben.

Vergleicht man die Versuchsdaten beim Sieden von Öl-Kältemittel-Gemischen an Glattrohrbündeln und an Rohren mit porösen Belägen, ergibt sich, daß in dem für den Einsatz von Kältemaschinen charakteristischen Meßbereich der Wärmeübergang an Rohren mit porösen Belägen 1,3 - 2,5 mal stärker ist als an glatten Rohren. Am wirkungsvollsten sind durch Sinterung gewonnene Beläge. Eine aufgetragene poröse Schicht liefert einen etwas niedrigeren Wert α , besitzt jedoch größere mechanische Festigkeit, ist billiger und leichter herzustellen. Deshalb ist das Beschichten neben dem Sintern am erfolgreichsten anwendbar zur Herstellung von äußerst wirkungsvollen Wärmeaustauscherflächen. Rohre mit Überzügen sind ebenfalls relativ wirkungsvoll, ihr Vorteil liegt in den Kosten und der einfachen Herstellungsweise.

Die durchgeführte Untersuchung zeigt somit, wie zweckmäßig die Verwendung von Rohren mit porösen Belägen bei Dünnschichtverdampfern ist, die mit Öl-Kältemittel-Gemischen - besonders bei geringen Ölkonzentrationen - arbeiten.

Unter Umgebungseinflüssen sind bei Dauerbetrieb Veränderungen in der Struktur der porösen Schicht möglich (Oxidation, Rißbildung, Ablösung, Aufrollen und dgl.), was unweigerlich zu einem geringeren Wärmeübergang führt. Deshalb muß die Güte der Beläge im Dauerbetrieb noch experimentell getestet werden.

Verzeichnis der benutzten Literatur

1. Данилова Г. Н., Букин В. Г., Дюндин В. А. Исследование теплоотдачи в элементах оросительных испарителей.— Холодильная техника, 1976, № 6, с. 40—44.

Danilova, G.N., Bukin, V.G., Djundin, V.A.: Issledovanie teplootdači v élementach orositel'nych isparitelej.

In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 53 (1976), Nr 6, S. 40 - 44.

Engl.: Heat transfer in spray-type refrigerator evaporators.

In: Heat transfer. Soviet research. New York, 8 (1976), Nr 6, S. 105 - 113.

2. Данилова Г. Н., Дюндин В. А., Боришанская А. В. Влияние покрытий на теплообмен при кипении хладонов в условиях свободной конвекции.— В кн.: Холодильные машины и установки. Л., 1974, с. 53—57.

Danilova, G.N., Djundin, V.A., Borišanskaja, A.V.: Vlijanie pokrytij na teploobmen pri kipeonii chladonov v uslovijach svobodnoj konvekcii.

In: Cholodil'nye mašiny i ustanovki. Leningrad: 1974, S. 53 - 57.

/Einfluß von Belägen auf den Wärmeübergang beim Sieden von Kältemitteln unter freier Konvektion; russ./

3. Технико-экономическое сопоставление оросительных и затопленных испарителей / Л. Г. Кондратьев, Г. Н. Данилова, В. А. Дюндин и др.— Холодильная техника, 1978, № 1, с. 33—34.

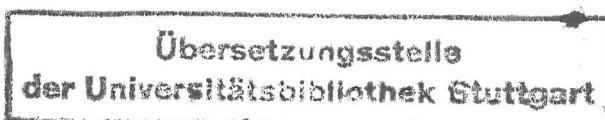
Kondrat'ev, L.G., Danilova, G.N., Djundin, V.A.: Techniko-ékonómičeskóe sopostavlenie orositel'nych i zatoplennyh isparitelej.

In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 55 (1978), Nr 1, S. 33 - 34.

/Technischer und wirtschaftlicher Vergleich von Berieselungs- und Überflutungs-Verdampfern; russ./

Stuttgart, den 4. Juli 1990

übersetzt von



Ottmar Pertschi

(Ottmar Pertschi)
Dipl.-Übersetzer