

Danilova, A.A., Gujgo, E.I.,
Borišanskaja, A.V., Bukin, V.G.,
Djundin, V.A., Kozyrev, A.A.,
Malkov, L.S., Maljugin, G.I.

INTENSIVIERUNG DES WÄRMEÜBERGANGS BEIM VERDAMPFEN VON KÄLTE-
MITTELN BEI GERINGEN WÄRMESTROMDICHTEN

Übersetzung aus:

Teplomassoobmen - V. Materialy V vsesojuznoj konferencii po
teplomassoobmenu. Minsk, 1976, Band III, Teil 1 (Teplomasso-
obmen pri fazovych prevraščenijach), S. 22 - 31.

Russ.: ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ КИПЕНИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
ЖИДКОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ МАЛЫХ ПЛОТНОСТЕЙ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА
Intensifikacija teploobmena pri kipeanii nizkotemperaturnych
židkostej v uslovijach malych plotnostej teplovogo potoka.

The experimental results are presented on different
ways of enhancement of heat transfer with Freon and ammonia
boiling on horizontal tubes and in vertical channels. High rate
is established of boiling heat transfer on porous and screened
coatings, in a falling-down film and in slots.

Wärmetauscher, in denen die Wärme vom gegebenen Arbeitsmittel
durch Sieden von Niedertemperaturflüssigkeiten (Kältemitteln) abge-
führt wird, werden in vielen technischen Bereichen verwendet. Unter
niedrigen Drücken und Siedetemperaturen ($P = 0,5 - 3$ bar, $t_s = -60 -$
 $- 10^{\circ}\text{C}$) und geringen Temperaturgefällen ($\Delta t = 1 - 5^{\circ}\text{C}$), also bei
charakteristischen Werten für die Arbeitsweise von Kältemaschinen,
zeigt sich, daß der Wärmeübergangswiderstand des verdampfenden Kälte-
mittels den Wärmedurchgangswiderstand bestimmt oder im allgemeinen
ausreichend stark beeinflußt. Daher kommt der Intensivierung des Ver-
dampfungsvorganges große technisch-wirtschaftliche Bedeutung zu.

Im vorliegenden Artikel werden die Ergebnisse von einigen Untersuchungen angeführt, die im Leningrader Technischen Institut der Kälteindustrie (LTICH P) in dieser Richtung durchgeführt wurden. Untersucht wurden Wärmeüberträger mit a) Verdampfen des Kältemittels in einem horizontalen Rohrbündel, b) Verdampfen des Kältemittels in vertikalen Kanälen.

Die physikalischen Voraussetzungen, auf denen die untersuchten Intensivierungsverfahren basieren, bestehen in folgendem. Der untersuchte Vorgang (kleine Δt) liegt im unteren Ast der Verdampfungskurve, und zwar umfaßt er den Bereich der freien Konvektion, das Übergangsbereich zwischen freier Konvektion und Blasenverdampfung und den Beginn der Blasenverdampfung. In diesem Fall wird die Intensität des Wärmeaustauschs zwischen der Heizfläche und der siedenden Flüssigkeit bestimmt durch die Anzahl der aktiven Dampfbildungszentren, durch die Abmessungen der Dampfkeime, durch den Einflußbereich der an der Heizfläche wachsenden Dampfblasen, durch die Grenzschicht der überhitzten Flüssigkeit und durch die Blasenfrequenz.

Verdampfung in Rohren mit Metallüberzug

Um die Verhältnisse zu schaffen, die den genannten Überlegungen entsprechen und die die hohe Intensität des Wärmeaustauschs gewährleisten, sind poröse Metallüberzüge zu verwenden. In Arbeit [1] wurde gezeigt, welchen Einfluß Überzüge, die durch elektrochemische Abscheidung erzielt wurden, auf das Verdampfen von Freon 12 und NH_3 haben. In Fortführung dieser Arbeit wurde eine Reihe von Experimenten mit Überzügen durchgeführt, die durch Aufsprühen und Agglomerieren gewonnen wurden. Die durch Aufsprühen gewonnenen Überzüge waren aus Kupfer gefertigt und wurden auf Stahlrohre (Stahl St 10) und Kupferrohre aufgetragen ($d = 20 + 25$ mm). Die Porosität dieser Überzüge (die kommunizierenden offenen Poren) wurde innerhalb von $P_v = 16 - 60$ % variiert, die Schichtdicke von $\delta = 75 - 580$ μm . Einige Angaben über diese Überzüge sind in [2] enthalten. Die durch Agglomerieren gewonnenen Überzüge wurden auf Rohre aus nichtrostendem Stahl 1Ch18N10T (0,1 % C; 18 % Cr; 10 % Ni; ≤ 1 % Ti) ($d = 20$ mm) aufgetragen und waren aus Pulver desselben Werkstoffes mit $d = 63 - 250$ μm gefertigt. Diese Überzüge hatten $P_v = 45 - 50$ % und $\delta = 0,3 - 1$ mm. Die Versuche

wurden mit den technisch reinen Kältemitteln Freon 11 (bei $t_s = 30^\circ\text{C}$), Freon 12 und Freon 22 (bei $t_s = 30 - 20^\circ\text{C}$) im Bereich $q = 500 - 30\,000\text{ W/m}^2$ durchgeführt.

Neben den Herstellungsverfahren zeichnen sich die untersuchten Metallüberzüge durch verschiedene strukturelle Kennwerte aus; die wichtigsten sind: π_v , δ , die Abmessungen der kapillaren Kanäle und der Kontakt zwischen den Teilchen. Diese Kennwerte hängen von der Technik des Auftragens der Metallüberzüge ab und beeinflussen ihrerseits die Größe des Wärmeübergangskoeffizienten.

Beobachtungen mit dem bloßen Auge zeigten, daß sogar bei so kleinen Werten Δt , bei denen man in glatten und berippten Rohren freie Konvektion beobachtet, in Rohren mit Überzügen stabiles Blasensieden vorhanden ist. Die Anzahl der aktiven Keimstellen ist in diesem Fall bedeutend größer, und der Blasenabreißdurchmesser bedeutend geringer als im erstgenannten Fall. Der Einfluß der Wärmestromdichte und des Drucks auf den Wärmeübergangskoeffizienten ist beim Verdampfen in Rohren mit Überzügen schwächer.

Ein Vergleich der Wärmeübergangskoeffizienten beim Verdampfen von Freon 22 in Rohren mit äußerst wirksamen Überzügen, die durch elektrochemisches Abscheiden, Aufsprühen und Agglomerieren gewonnen wurden (Linien 1, 2, 3), ist in Abb. 1 dargestellt. Dort sind ebenfalls die Daten der berippten und glatten Rohre (Linien 4 und 5) angegeben. Die äußerst intensivierende Wirkung der Überzüge ist ersichtlich. Dabei ist das Auftragen der Überzüge auf die Oberflächen durch Agglomerieren oder Aufsprühen der Teilchen wirkungsvoller als das elektrochemische Abscheiden.

Wie aus der Abbildung zu erkennen ist, bewirkt ein Temperaturgefälle von $1 - 2^\circ\text{C}$ in dem Rohr mit dem wirkungsvollsten Überzug $\alpha = 16\,500 - 18\,300\text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, was um annähernd $6,5 - 10$ mal über dem Wert für das berippte Rohr liegt. Die Intensivierung der Wärmeabgabe beim Sieden an porösen Oberflächen ist durch die Hydrodynamik und die Verdampfung in der porösen Schicht bedingt, die eine kapillarporöse Matrix mit einer Vielzahl von kommunizierenden und zur Oberfläche offenen Poren darstellt. Das Matrixskelett besteht aus einem gut wärmeleitenden Werkstoff. In jeder Pore tritt intensives Blasensieden auf. Gleichzeitig erzeugen die Kapillarkräfte einen kontinuierlichen Flüssigkeitssog zum Untergrund des Überzugs (zur Rohrfläche),

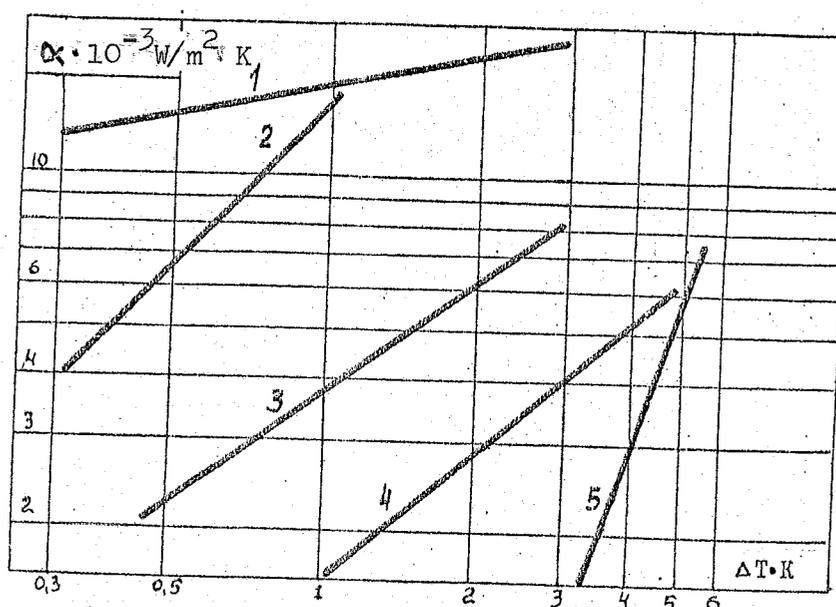


Abb. 1. Wärmeübergangskoeffizienten beim Verdampfen von Freon 12 in glatten Rohren mit Überzügen bei $t_s = 20^\circ\text{C}$.

die poröse Schicht verhindert, daß die in den Hohlräumen aktiven Keime deaktiviert werden. Einige physikalische Vorstellungen über das Sieden an porösen Oberflächen sind auch in [1] angegeben.

Sieden im Rieselfilm

Die existierenden Literaturangaben beweisen die hohe Intensität des Wärmeaustauschs bei Berieselung einer Oberfläche durch einen Flüssigkeitsfilm, besonders bei niedrigen Temperaturen und kleinen Werten von q . Die Durchführung dieses Vorgangs in den Rieselfilmverdampfern der Kältemaschinen gestattet es, auch die anderen Vorzüge dieser Apparate aufzuzeigen, verglichen mit überfluteten Verdampfern; diese sind: Verringerung der Menge des Kältemittels, das für die Arbeitsfüllung notwendig ist, keine Beeinflussung der Siedetemperatur durch den hydrostatischen Druck der Flüssigkeitssäule und die Vermeidung des Ansaugens von flüssigem Arbeitsmittel durch den Kompressor.

Die Hauptfaktoren, welche die Wärmeabgabe beim Sieden im Rieselfilm beeinflussen, sind: die Berieselungsdichte, die Wärmestromdichte, die Sättigungstemperatur, die Eigenschaften der siedenden Flüssigkeit, die Eigenschaften der Heizfläche und die Rohrteilung. Es gibt sehr wenig Literatur über den Vorgang der Wärmeabgabe beim Sieden von Kältemitteln im Rieselfilm, darüber hinaus befassen sich die meisten Arbeiten hauptsächlich mit vertikalen Rohren [3, 4]. Um aufzuklären, wie die Intensivierung der Wärmeabgabe im Rieselfilm für horizontale Rohranordnungen möglich ist, und um die Gesetzmäßigkeiten dieses Vorgangs aufzustellen, wurden mit Freon 12, 22 und 113 experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Die Versuche wurden an einem horizontalen Rohrbündel mit $\varnothing 18 \times 0,3$ mm mit einer Reihenzahl in der Horizontale (von 1 und 3 durchgeführt, in der Vertikale von 6 und 22. Der Werkstoff der Rohre war Stahl 1Ch18N10T (0,1 % C; 18 % Cr; 10 % Ni; ≤ 1 % Ti), die Oberflächenrauigkeit betrug $1 \mu\text{m}$. Die Betriebskennwerte wurden im Intervall $\Gamma = 0,014 - 0,333$ kg/m \cdot s, $q = 5\,000 - 25\,000$ W/m², $t_s = -40 - 50^\circ\text{C}$ ($P = 1 - 6$ bar) variiert. Es wurde auch der Einfluß der Rohrteilung in der Vertikale bei $s/d = 1,1 - 2$ untersucht.

Wie aus Abb. 2 hervorgeht, kann man den Wärmeübertragungsvorgang im Freon-Rieselfilm, wie auch für andere Flüssigkeiten, in drei Bereiche einteilen:

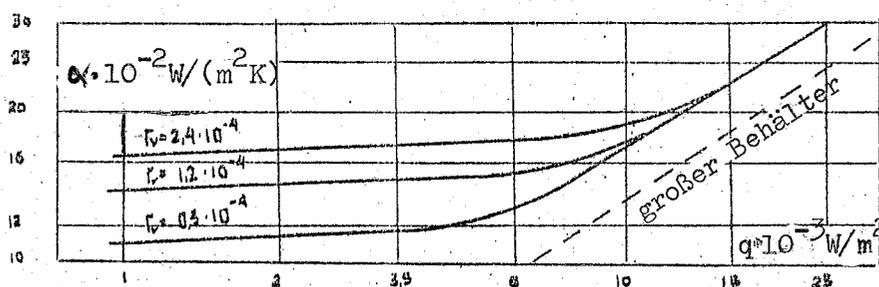


Abb. 2. Abhängigkeit α von q und Γ für Freon 22 bei $t_s = 30^\circ\text{C}$, $s/d = 1,3$.

konvektiver Wärmeübergang, Wärmeübergang durch Blasensieden und im dazwischenliegenden Übergangsbereich eine Mischform aus beiden. Daß dieser oder jener Bereich vorhanden ist, wird durch die Kombination der Größen Γ , q , t_s und s/d bestimmt. Die wesentlichste Intensivierung des Vorgangs wird im konvektiven Bereich beobachtet, dabei ist $\alpha/\alpha_{gr} = 8 - 2$. Die Zunahme von α im Vergleich zu α_{gr} im konvektiven Bereich wird durch den Geschwindigkeitsanstieg der Flüssigkeit und der Wellenbildung im Film sowie durch die Turbulenzbildung durch Zufließen von Rohr zu Rohr bedingt. Eine bestimmte Zunahme von α im Vergleich zu α_{gr} im Siedebereich kann durch die sehr geringe Dicke der Flüssigkeitsschicht an der Heizfläche und durch den Einfluß der Oberflächenverdampfung auf diesen Vorgang erklärt werden.

Die Art des Einflusses von Γ auf die Wärmeabgabe im konvektiven Bereich bei verschiedenen s/d und $q = \text{idem}$ ist in Abb. 3 dargestellt. Bei $s/d = 1,1$ stellt man auf der Kurve $\alpha = f(\Gamma)$, die in Versuchen mit Freon 113 ermittelt wurde, drei Abschnitte fest, die den verschiedenen Fließverhältnissen des Films entsprechen: l - laminar, ü - im Übergang, t - turbulent. Bei $s/d = 1,3$ verschiebt sich der turbulente Bereich beim selben Kältemittel zugunsten der kleineren Γ . Dieser Umstand erklärt den in den Versuchen aufgetretenen Anstieg von α mit Zunahme von s/d . Ein Vergleich der verschiedenen Freone zeigt, daß $\alpha_{F-22} > \alpha_{F-12} > \alpha_{F-113}$.

Die Verallgemeinerung der Ergebnisse der experimentellen Untersuchung wurde mit Hilfe der Ähnlichkeitstheorie getrennt für die Bereiche der freien Konvektion und des Blasensiedens durchgeführt. Für die Verhältnisse, welche für Kältemaschinenverdampfer am charakteristischsten sind, wurde die Gleichung

$$Nu_f = 0,03 Re_f^{0,22} \cdot Re_{*f}^{0,04} \cdot Pr^{0,32} \cdot (s/d)^{0,48}$$

ermittelt. Sie beschreibt die Versuchsdaten mit einer maximalen Fehlergröße von $\pm 15\%$ (Abb. 4). Die Formel wurde ermittelt für

$$Re_f = 200 - 5000, \quad Pr = 3,20 - 7,4, \quad Pe_{*f} = 0,5 - 60.$$

Ungeachtet des geringen Grades von Pe_{*f} beträgt der Einfluß auf α im untersuchten Bereich etwa 12 %.

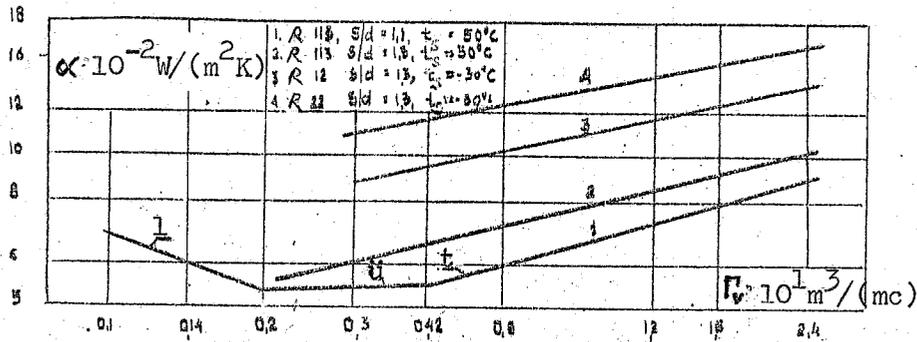


Abb. 3. Abhängigkeit α von Γ für verschiedene Freone bei $q = 1000 \text{ W/m}^2$.

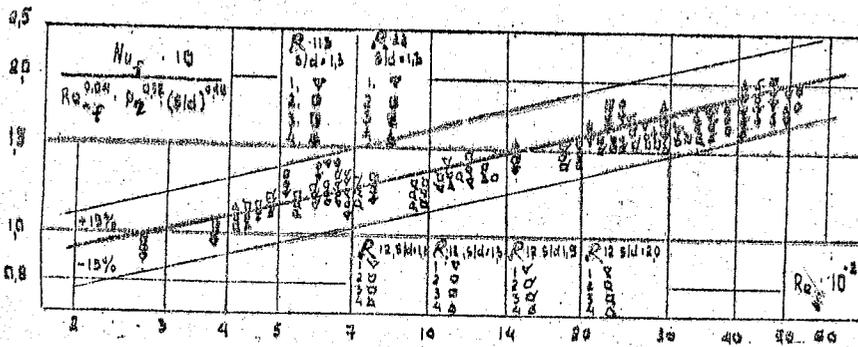


Abb. 4. Verallgemeinerung der Versuchsdaten: 1 - $q = 500 \text{ W/m}^2$; 2 - $q = 1000 \text{ W/m}^2$; 3 - $q = 3500 \text{ W/m}^2$; 4 - $q = 6000 \text{ W/m}^2$.

Sieden in vertikalen Kanälen

Zur Untersuchung der verschiedenen Verfahren zur Intensivierung des Wärmeübergangs wurde der Versuchskreislauf mit Freon 113 als Modellflüssigkeit untersucht. Die Versuchsanlage bestand aus Verdampfer und Kondensator, welche durch Rohre miteinander verbunden waren. Der Verdampfer war ein Glaszylinder ($d = 55 \text{ mm}$), in den ein senkrecht Stahlrohr mit 24 mm Durchmesser und 1000 mm Länge montiert war; das Stahlrohr wurde mit einem elektrischen Heizkissen von innen erwärmt. An der Oberfläche dieses Versuchsrohres wurden zur Messung der Wandtemperaturen in elf Höhenabschnitten Thermoelemente angebracht.

Die siedende Flüssigkeit wurde in den Raum zwischen Stahl- und Glasrohr gefüllt; sie floß an der Heizfläche herab, der sich bildende Dampf gelangte in den Kondensator, wo er aufgrund der Zirkulation des Kühlwassers kondensierte, und das Kondensat gelangte von neuem in den Verdampfer. Eine Spezialdüse gewährleistete die gleichmäßige Verteilung der Flüssigkeit über den gesamten Rohrumfang.

Die Versuche wurden bei atmosphärischem Druck ($t_s = 47,7^\circ\text{C}$) und $q = 10^3 - 7 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$ durchgeführt. Folgende Arten der Intensivierung des Verdampfungsvorgangs wurden untersucht.

1. Überziehen der Oberfläche des Versuchsrohres mit Glasgewebe. Dafür wurde ein Glasgewebeband mit 30 mm Breite, 0,1 mm Dicke und einem Fadendurchmesser von 0,05 mm bei Ein-, Zwei- und Dreischichtbezug verwendet.
2. Überziehen der Rohroberfläche mit einem Metallnetz. Dabei wurden folgende Netze verwendet: a) aus Messing, Dicke 0,4 mm, Drahtdurchmesser 0,2 mm, Maschenabstand 0,4 mm; b) Doppelfilter aus nichtrostendem Stahl, Dicke 0,5 mm, Drahtdurchmesser 0,15 mm. Es wurden Varianten mit Ein-, Zwei- und Dreischichtbezug untersucht.
3. Sieden in einem geschlitzten ringförmigen Kanal mit $\delta_k = 2 \text{ mm}$. In diesem Fall wurde das Versuchsrohr in ein Glasrohr $\emptyset 31 \times 2 \text{ mm}$ eingebracht.
4. Sieden in einem Film, der von oben nach unten an der Außenfläche herabfließt.

Bei vollständiger Füllung des Ringraumes zwischen dem Versuchsrohr und dem Glasrohr mit der Flüssigkeit kommen die Wärmeübergangsbedingungen dem Sieden in einem großen Gefäß nahe. Die dabei ermittelten Versuchswerte α_{gr} wurden als Vergleichswerte zur Bestimmung des Grades des Intensivierungsvorgangs angesehen.

Unten sind die Versuchsdaten angegeben, die die Wirksamkeit von einigen untersuchten Intensivierungsverfahren bei $q = 3\ 000 \text{ W/m}^2$ charakterisieren.

In Abb. 5 ist die Abhängigkeit der lokalen Wärmeübergangskoeffizienten von Freon 113 bei $t_s = 47,7^\circ\text{C}$ von der jeweiligen Höhe des vertikalen Kanals dargestellt. Am intensivsten ist der Siedevorgang in einem Film, der an einer mit Glasgewebe überzogenen Ober-

Vergleich der Wärmeabgabeintensität bei $q = 3000 \text{ W/m}^2$

Siedebedingungen	Intensivierungsverfahren	Wärmeübergangskoeffizient $\text{W/m}^2 \text{ K}$	Intensivierungsgrad α/α_{gr}
Vertikaler Kanal, $\delta_K = 15,5 \text{ mm}$, $h_a = H$	2-schichtiges Messingnetz	1070	2,0
- " -	1-schichtiges Glasgewebe	640	1,2
- " -	3-schichtiges Glasgewebe ($\delta = 0,3 \text{ mm}$)	950	1,8
Vertikaler Kanal, $\delta_K = 2 \text{ mm}$	$h_a = 50 \text{ } \%$ H	1000	1,9
Rieselfilm	glattes Rohr	800	1,5
- " -	2-schichtiges Messing-Maschennetz	1400	2,7
- " -	3-schichtiges Glasgewebe ($\delta = 0,3 \text{ mm}$)	1300	2,5
- " -	1-schichtiger Netzfilter aus nichtrostendem Stahl	1070	2,0

fläche herabfließt (Linie 5). Dieselben Ergebnisse wurden auch für das Messinggitter erzielt. In diesen Fällen hat α über die gesamte Rohrhöhe annähernd gleiche und relativ hohe Werte. Ähnliche Werte wurden im oberen Teil des geschlitzten Kanals erzielt (Linie 3). Auch die anderen Verfahren steigern die Wärmeabgabe, verglichen mit dem Sieden in einem Kanal mit größerem Querschnitt (Linie 1). Die hohen Wärmeübergangskoeffizienten beim Herabfließen eines flüssigen Films an einer mit Glasgewebe oder mit einem Messingnetz überzogenen Oberfläche ist dadurch bedingt, daß ein Wegschwemmen der Dampfkeime durch die sich bewegende Flüssigkeit ausgeschlossen ist, und daß günstige Bedingungen für das Verdampfen der Flüssigkeit, die aufgrund der Kapillarkräfte zur Heizfläche herangesaugt wird, gewährleistet sind.

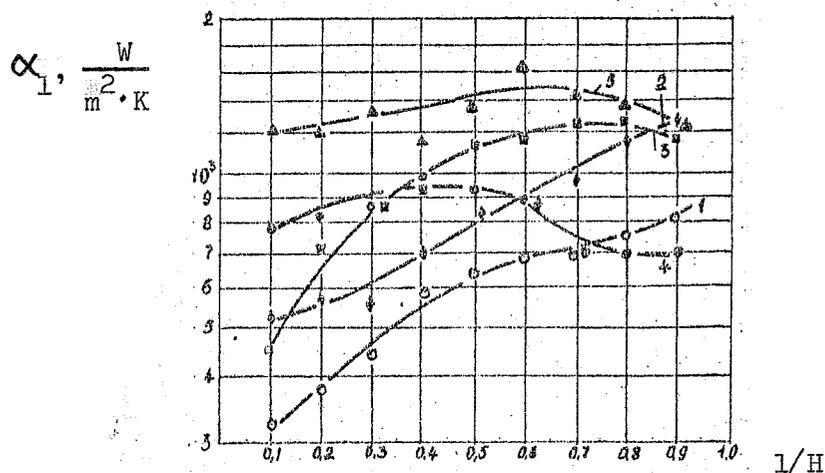


Abb. 5. Örtliche Wärmeübergangskoeffizienten bei den verschiedenen Intensivierungsverfahren:

1 - $\delta_K = 15,5$ mm, $h_a = H$; 2 - $\delta_K = 15,5$ mm, $h_a = H$ mit dreischichtigem Glasgewebeüberzug; 3 - $\delta_K = 1,5$ mm, $h_a = 0,5 H$; 4 - Rieselfilm; 5 - Rieselfilm an einem dreischichtigen Glasgewebeüberzug.

Die Möglichkeit, daß man beim Sieden von Freon 12, 22 und von Ammoniak in geschlitzten Kanälen - wenn in ihnen eine ausgebildete Zweiphasenstromung vorherrscht - hohe Wärmeübergangskoeffizienten erzielen kann, wurde schon früher in den Arbeiten [5, 6] nachgewiesen. In diesem Fall, wie auch beim Sieden in einem Film, der an einem Netz (aus Metall oder Glasgewebe) herabfließt, sind die lokalen Koeffizienten über die gesamte Kanallänge annähernd gleich, und der Einfluß von q im Intervall 3 000 - 10 000 ist äußerst schwach.

Bezeichnungen

P - Druck, t_s - Sättigungstemperatur, Δt - Temperaturgefälle, d - Auswendurchmesser, π_v - Volumenporosität, δ - Dicke, δ_k - Kanalbreite, q - Wärmestromdichte, α - mittlerer Wärmeübergangskoeffizient, α_{gr} -

mittlerer Wärmeübergangskoeffizient beim Sieden in einem großen Behälter, α_1 - lokaler Wärmeabgabekoeffizient, Γ - Berieselungsdichte, s/d - Rohrteilung, l - Abstand vom unteren Rohrquerschnitt, H - Rohrhöhe, h_a - anfängliche Füllhöhe.

$$Nu_f = \frac{\alpha_1}{\lambda} \cdot \left(\frac{v^2}{g}\right)^{\frac{1}{3}}, \quad Pe_{*f} = \frac{q}{\tau \rho''_a} \cdot \left(\frac{v^2}{g}\right)^{\frac{1}{3}}, \quad Re_f = \frac{4\sqrt{v}}{v}, \quad Pz = \frac{v}{a}.$$

L i t e r a t u r

1. Данилова Г.Н., Дюндин В.А., Боришанская А.В. Влияние покрытий на теплообмен хладоагентов в условиях свободной конвекции. В сб. "Хол.машини и установки", МВ и ССО РСФСР, Л., ЛТИХЦ, 1974, с.110-112.
Danilova, G.N., Djundin, V.A., Borišanskaja, A.V.: Vlijanie pokrytij na teploobmen chladoagentov v uslovijach svobodnoj konvekcii. In: Sammelband: Cholodil'nye mašiny i ustanovki. Leningrad: Leningradskij Tehničeskij Institut Cholodil'noj Promyšlennosti, Ministerstvo Vysšego i Srednego Special'nogo Obrazovanija RSFSR, 1974, S. 110 - 112.
<Der Einfluß von Überzügen auf den Wärmeübergang von Kältemitteln bei freier Konvektion>
2. Дюндин В.А. и др. Интенсификация теплообмена при кипении хладоагентов на поверхностях с газотермическими покрытиями. Химическое и нефтяное машиностроение, №9, 1975, с. 22-23.
Djundin, V.A. u.a.: Intensifikacija teploobmena pri kipeenii chladoagentov na poverchnostjach s gazotermičeskimi pokrytijami. In: Chimičeskoe i neftjanoe mašinstroenie. Moskva, 1975, Nr 9, S. 22 - 23.
<Intensivierung des Wärmeübergangs beim Sieden von Kältemitteln an Oberflächen mit gasthermischen Überzügen>
3. Struve, H.: Beitrag zur Bemessung von Rieselverdampfern. In: Kältetechnik. Klimatisierung. Karlsruhe, 24 (1972), Nr 9, S. 241 - 252.
4. Данилова Г.Н., Досов В.Г. Исследование теплоотдачи при испарении и кипении фреона-12 в стекающей пленке. Холодильная техника, №8, 1970, с.39-42.
Danilova, G.N., Dosov, V.G.: Issledovanie teplootdači pri isparenii i kipeenii freona-12 v stekajuščej plenke. In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 1970, Nr 8, S. 39 - 42.
<Untersuchung der Wärmeabgabe beim Verdampfen und Sieden von Freon 12 im Rieselfilm>

5. Азарсков В.М. и др. "Исследование теплоотдачи при кипении фреона 22 в плоских вертикальных щелевых каналах!" В сб. "Холодильные машины и установки", МВ и ССО РСФСР, Л., ЛТИХИ, 1974, с. 121-124.

Azarskov, V.M. u.a.: Issledovanie teplootdači pri kipeanii freona 22 v ploskix vertikal'nyx ščelevyx kanalax.

In Sammelband: Cholodil'nye mašiny i ustanovki. Leningrad: Leningradskij Techničeskij Institut Cholodil'noj Promyšlennosti, Ministerstvo Vyssjeg i Srednego Special'nogo Obrazovanija RSFSR, 1974, S. 121 - 124.

<Untersuchung der Wärmeabgabe beim Sieden von Freon 22 in flachen vertikalen geschlitzten Kanälen>

6. Малюгин Г.И. и др. Интенсификация внутреннего теплообмена в секционных десублиматорах водяного пара. В сб. "Холодильные машины и установки", МВ и ССО РСФСР, Л., ЛТИХИ, 1974, с. 117-121.

Maljugin, G.I. u.a.: Intensifikacija vnutrennego teploobmena v sekcionnyx desublimatorax vodjanogo para.

In Sammelband: Cholodil'nye mašiny i ustanovki. Leningrad: Leningradskij Techničeskij Institut Cholodil'noj Promyšlennosti. Ministerstvo Vyssjeg i Srednego Special'nogo Obrazovanija RSFSR, 1974, S. 117 - 121.

<Intensivierung des inneren Wärmeübergangs in unterteilten Wasserdampfdesublimatoren>

Leningrader Technologisches Institut
der Kälteindustrie

Stuttgart, den 12. August 1977

übersetzt von

Ottmar Pertschi
(Ottmar Pertschi)
Dipl.-Übersetzer