

Danilova, G. N.  
Djundin, V. A.  
Solov'ev, A. G.

## **Experimentelle Untersuchung des Wärmeübergangs beim Sieden von R 22 und R 717 an verschiedenartigen Oberflächen in horizontalen Rohrbündelverdampfern**

Deutsche Vollübersetzung aus dem Russischen

Quelle:

Теплофизика высокоч температур. Москва, 30 (1992) Nr 4, S. 784 – 789.

Russ.: Экспериментальное исследование теплоотдачи при кипении *R 22* и *R 717* на поверхностях разного типа в горизонтальных кожухотрубных испарителях

Éksperimental'noe issledovanie teplootdači pri kipenii *R 22* i *R 717* na poverch-nostjach raznogo tipa v gorizontaľnyh kožuchotrubnyh ispariteljach

Beschrieben werden die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen des Wärmeübergangs beim Sieden von Kältemitteln an horizontalen Rohren mit verschiedenartigen Oberflächen. Die Heizwirkung der untersuchten Oberflächen wird verglichen. Desweiteren werden die Ergebnisse von Versuchen beschrieben, die sich mit den Verwendungseigenschaften der Wärmeübergangsflächen befassen: Hystereseerscheinungen im Bereich des nicht ausgebildeten Siedens; Einfluß glatter, untereinander angeordneter Rohre; Einfluß eines Horizontalrohrbündels auf den Wärmeübergang einzeln ausgewählter Rohre in einer jeden waagrechten Reihe. Angegeben werden die Versuchsdaten, bei denen eine starke Zunahme (um mehr als das 2fache) auf die Wärmeübergangskoeffizienten in den oberen Reihen von Glattrohrbündeln festgestellt wurde, verglichen mit den unteren Reihen. Es wird nachgewiesen, daß der Intensivierungsgrad des Wärmeübergangs nach Aufbringen einer porösen Schicht mit zunehmender Anzahl horizontaler Rohrreihen im Bündel abnimmt.

Der sinnvolle Einsatz von Wärmeaustauschflächen, die den Wärmeübergang beim Sieden von Kältemitteln intensivieren, in horizontalen Rohrbündelverdampfern (GKTI) bestimmt sich nicht nur nach den Energiewerten, sondern auch nach technischen, Betriebs- und anderen Eigenschaften. Zur Ermittlung von Daten, mit denen derartige Flächen am zweckmäßigsten ausgewählt werden können, wurden im LTICH<sup>1</sup> Untersuchungen des Wärmeübergangs beim Sieden von Kältemitteln an verschiedenartigen Oberflächen durchgeführt. In den Arbeiten [1 – 3] werden die verallgemeinerten Ergebnisse dieser Untersuchungen zu den Wärmeübergangseigenschaften von Oberflächen mit porösen Metallbeschichtungen, die unterschiedlich aufgebracht wurden, differierende Kennwerte besitzen, aus verschiedenartigen Werkstoffen bestehen, mit Mikro- und Makrounebenheiten, Berippungen und unbenetzbar (aus Fluorkunststoff) abgehandelt.

Am häufigsten kommen GKTI in den Kälteanlagen von Mittel- und Großbetrieben zum Einsatz, in denen R 717 und R 22 als Arbeitsstoffe verwendet werden.

In diesem Aufsatz geben wir die Ergebnisse der Untersuchung des Wärmeübergangs eben dieser Kältemittel wieder. Ermittelt wurden die Versuchsdaten über die Abhängigkeit  $\alpha = f(q)$  beim Sieden an Einzelrohren (Außendurchmesser  $d_N = 20$  mm) mit verschiedenartiger Außenfläche im Siedetemperaturbereich  $t_S = -20 \div +20^\circ\text{C}$  und der Wärmestromdichte  $q = 1 \div 20$  kW/m<sup>2</sup>. Der Wärmestrom wurde durch elektrisches Beheizen mittels in das Rohr eingebauter Heizer erzeugt.

Die Wärmeübergangszahlen aller Versuchsproben bezogen sich auf die Fläche der äußeren Grundfläche eines glatten Rohres. Untersucht wurden folgende verschiedenartige Flächen:

- 1) glattes Stahlrohr (Baustahl 20);
- 2) Stahlrohre mit poröser Metallbeschichtung (PP) aus einer Aluminium-Mangan-Legierung mit verschiedenen Strukturen, deren geometrische Werte folgendermaßen variierten: Schichtdicke  $\delta = 0,26 \div 1,0$  mm; offene Porosität  $P = 0,25 \div 0,44$  und äquivalenter Durchmesser  $d_{\text{äqu}} = 24 \div 40$   $\mu\text{m}$ ;
- 3) vibrokontaktbehandelte Stahlrohre (VKO), wobei eine regelmäßige Rauigkeit mit einer Unebenheitenhöhe von  $R_z = 64$  und  $83$   $\mu\text{m}$  sichergestellt war;
- 4) fluorkunststoffbeschichtete Stahlrohre (PF): kompakte Beschichtung mit den Schichtdicken  $\delta = 0,01$  und  $0,02$  mm sowie diskontinuierliche mit  $\delta = 0,05$  mm;
- 5) mikroberippte und strukturierte Kupferrohre mit folgenden geometrischen Werten: Rippenabstand  $S_r = 0,65$  mm, Rippendicke  $\delta_r = 0,2$  mm, Rippenhöhe  $h_r = 1,5$  mm, Durchmesser bezogen auf die Rippengrundfläche  $d_0 = 19$  mm, Berippungszahl  $\varphi = 6 \div 7$ .

Zur Charakterisierung der Wärmewirkung verschiedener Oberflächen wurde das Verhältnis der Wärmeübergangszahlen einer intensivierten Oberfläche zum Glattrohr  $\alpha/\alpha_{gl}$  bei gleichen Werten von  $t_S$  und  $q$  gewählt. In Abb. 1 werden die Ergebnisse für die o.g. verschiedenen Oberflächenarten bei  $t_S = -10^\circ\text{C}$  verglichen. Die gestrichelten Flächen entsprechen der Verteilung der Daten je nach gewählter Oberflächenart. Daraus geht hervor, daß Stahlrohre mit poröser Metallbeschichtung bei beiden Kälte-

---

<sup>1</sup> Leningradskij Tehničeskij Institut Cholodil'noj Promyšlennosti – Leningrader Technisches Institut für Kälteindustrie (Anm.d.Übers.)

mitteln den größten Intensivierungsgrad gewährleisten. Gute Wärmeübergangswerte beim Sieden von R 717 ergaben auch die fluorkunststoffbeschichteten Proben.

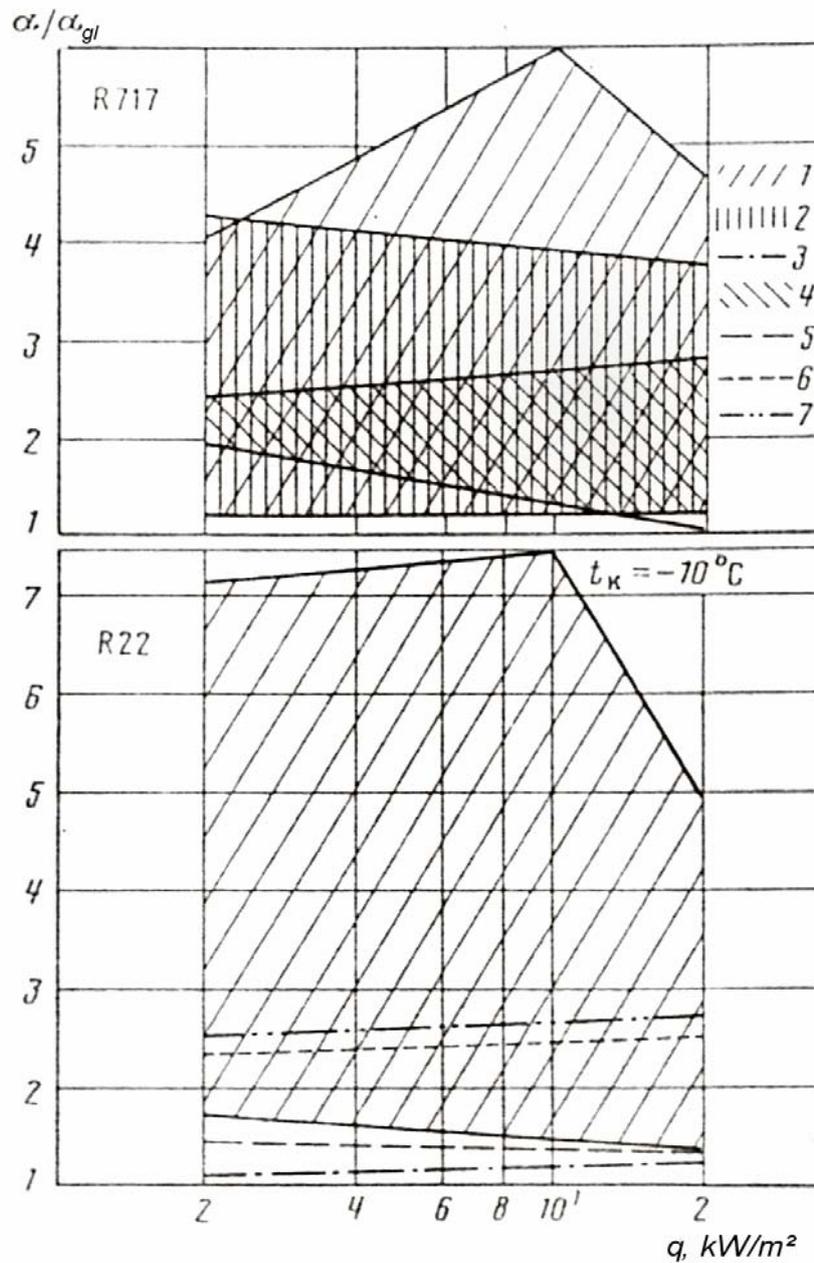


Abb. 1. Intensivierung des Wärmeübergangs an verschiedenartigen Oberflächen:

- 1) Oberflächen mit poröser Metallbeschichtung;
- 2, 3) fluorkunststoffbeschichtete Oberflächen;
- 4, 5) vibrokontaktbehandelte Oberflächen;
- 6) feinberippte Oberfläche;
- 7) strukturierte Oberfläche.

In der letzten Zeit konzentriert sich die Aufmerksamkeit auf die Untersuchung des Wärmeübergangs beim Sieden von Kältemitteln an strukturierten Oberflächen, vgl. [4, 5]. Die Daten für eine sinnvolle Auswahl derartiger in Kältemaschinen eingesetzter Oberflächen sind jedoch noch unzulänglich.

Bei der Auswertung der Versuchsangaben, die an mikroberippten und strukturierten Oberflächen gewonnen wurden, zeigte sich, daß die Berechnung der Wärmeübergangszahlen mit der bereits existierenden, an Rohren mit vibrokontaktbehandelten Oberflächen ermittelten Abhängigkeit [1] möglich ist.

Ungeachtet dessen, daß die Wärmeübergangszahlen bei Proben mit mikroberippter oder strukturierter Oberfläche niedriger sind als bei den besten mit poröser Metallbeschichtung (Abb. 1), ist festzuhalten, daß die Herstellungstechnik bei solchen Proben billiger ist und daß man die Strukturen, die die Intensität des Wärmeübergangs beim Sieden bestimmen, über einen großen Bereich der geometrischen Hauptwerte verändern kann. Dies spielt keine geringe Rolle bei der Optimierung solcher Oberflächen für die unterschiedlichsten Verwendungen.

Der Wärmeübergang an verschiedenartigen Oberflächen (Abb. 1) wurde nach den Versuchsergebnissen verglichen, die bei schrittweiser Veränderung von  $q$  ( $q_{\max}$  bis  $q_{\min}$ ) bei einer Haltezeit von mindestens 30 min pro  $q$ -Wert. Als  $q_{\max}$  wurde  $q = 20$  kW/m<sup>2</sup> angesetzt, was in unserem Fall dem ausgebildeten Sieden von R 22 und R 717 an gewöhnlichen Glattrohren entspricht [6, 7].

Zur Überprüfung der Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse bei einem solchen Verfahren wurde eine Versuchsreihe mit R 717 durchgeführt, um die Hystereseeigenschaften im Verhalten der Abhängigkeit  $\alpha = f(q)$  bei zu- und abnehmendem  $q$  zu untersuchen. Derartiges Datenmaterial ist auch deshalb notwendig, da die Verdampfer von Kältemaschinen im Bereich kleiner  $q$ -Werte arbeiten, was dem Abschnitt des nicht ausgebildeten Siedens auf der Siedekurve entspricht.

Die charakteristischen Ergebnisse der Versuche mit R 717 an Rohren mit Fluorkunststoffbeschichtung, Vibrokontaktbehandlung und poröser Metallbeschichtung sind in Abb. 2 angegeben.

An den fluorkunststoffbeschichteten Proben wirkt sich sowohl bei kompakter als auch bei diskontinuierlicher Beschichtung die Veränderungsrichtung von  $q$  praktisch nicht auf den Verlauf der Siedekurve aus. Bei den vibrokontaktbehandelten Oberflächen liegt der von  $q$  aus abfallende Siedekurvenast gewöhnlich höher als der aufsteigende, wobei eine wesentliche Differenz in  $\alpha$  nur bei  $q \leq 5$  kW/m<sup>2</sup> auftritt und ~ 60% erreichen kann. Bei den Oberflächen mit poröser Metallbeschichtung fällt die Hysterese bei verschiedenen Beschichtungen qualitativ unterschiedlich aus, bleibt aber in der Grundtendenz, wie bei den vibrokontaktbehandelten Oberflächen, gleich.

Beim Sieden von R 717 in einem Rohr mit poröser Metallbeschichtung ( $q = 5$  kW/m<sup>2</sup>) wurde in einer Versuchsreihe festgestellt, daß die  $\alpha$ -Werte zeitlich zunehmen, ausgehend vom Anfangswert, der dem unteren Ast der Hysteresekurve  $\alpha_m$  entspricht, bis zum endgültigen  $\alpha_\delta$ , der dem oberen Kurvenast entspricht, ermittelt 60 min nach Heizbeginn (nach Stromzufuhr). Die Messungen an den Zwischenzeitpunkten  $t = 0 \div$

60 min ergaben Wärmeübergangskoeffizienten, die zwischen dem aufsteigenden und abfallenden Ast der Abhängigkeit  $\alpha = f(q)$  liegen und mit zunehmendem  $t$  von  $\alpha_m$  auf  $\alpha_6$  ansteigen.

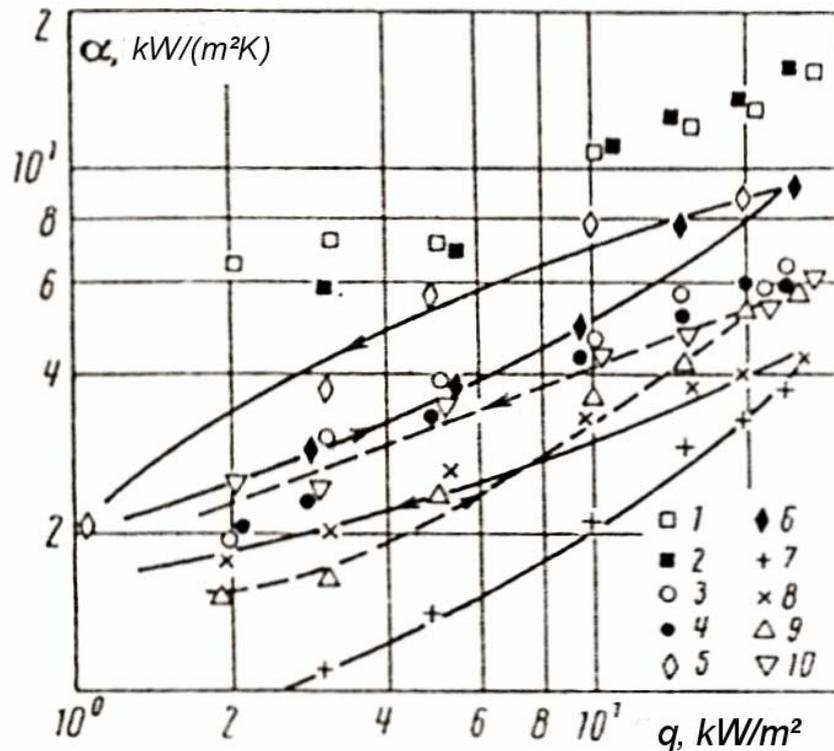


Abb. 2. Hystereseerscheinungen beim Sieden von R 717 an verschiedenartigen Oberflächen:  
 1 – 4) fluorkunststoffbeschichtete Oberflächen;  
 5 – 8) Oberflächen mit poröser Metallbeschichtung;  
 9, 10) vibrokontaktbehandelte Oberflächen;  
 2, 4, 6, 7, 9)  $q$  zunehmend;  
 1, 3, 5, 8, 10)  $q$  abnehmend.

Außerdem wurde beim Sieden am Rohr mit poröser Metallbeschichtung nach Abschluß der Versuchsserie und nach Veränderung des  $q$ -Wertes von  $q_{max}$  auf  $q_{min}$  die Last völlig abgeschaltet. Danach wurde sie in verschiedenen Versuchen nach 15, 30, 45 bzw. 60 min wieder eingeschaltet, um Daten bei zunehmendem  $q$  zu bekommen. Nur nach der 60minütigen und längerer Haltezeit entsprachen die Werte von  $\alpha = f(q)$  den Werten, die bei zunehmendem  $q$  von  $q_{max}$  auf  $q_{min}$  ermittelt worden waren. Bei einer Haltezeit ohne Last unter 60 min stiegen die  $\alpha$ -Werte mit zunehmendem  $q$ . Die Ergebnisse bestätigen nach Auffassung der Verfasser, daß es möglich ist, Angaben, die bei der schrittweisen Veränderung der Last von  $q_{max}$  auf  $q_{min}$  ermittelt wurden, auch zur Bestimmung von  $\alpha = f(q)$  und einer vergleichenden Bewertung der Daten beim nicht ausgebildeten Sieden von Kältemitteln an verschiedenartigen Oberflächen heranzuziehen.

Bei allen Formen der untersuchten Oberflächen wurden innerhalb von drei Monaten Stahlproben untersucht. Bei 300 h langem Sieden von R 717 beobachtete man eine

gleichmäßige Abnahme von  $\alpha$  (um das 1,5 – 2fache), verglichen mit den Ursprungsdaten. Die Abnahme der Intensität des Wärmeübergangs kann mit der Korrosionswirkung des Kältemittels erklärt werden. Bei langem Sieden von R 22 stellte man derartige Erscheinungen nicht fest.

In den Versuchen mit verschiedenartigen Oberflächen wurde auch der Einfluß von Öl auf die Abnahme der Wärmeübergangintensität untersucht. Bei allen Proben stellte man eine monotone Abnahme von  $\alpha$  mit zunehmender Ölkonzentration  $\xi_{\text{öl}}$  fest (mit Ausnahme des Bereichs  $\xi_{\text{öl}} \leq 3\%$ ). Ausführlicher analysiert sind die Versuchsergebnisse, die bei langer Haltezeit der Proben in R 717 und beim Sieden von Kältemittel-Öl-Gemischen an verschiedenartigen Oberflächen ermittelt wurden, in der Arbeit [3].

Im Hinblick auf den Einsatz von horizontalen Rohrbündelverdampfern (GKTI) ist die Wechselwirkung der ein Bündel bildenden horizontalen Rohre von großem Interesse. In einigen Untersuchungen, wie z.B. [8 – 10], wurde eine starke Zunahme der lokalen Wärmeübergangszahlen (bezogen auf die Reihen) mit zunehmender Reihenzahl  $n$  (von unten nach oben) in Glattrohrbündeln festgestellt.

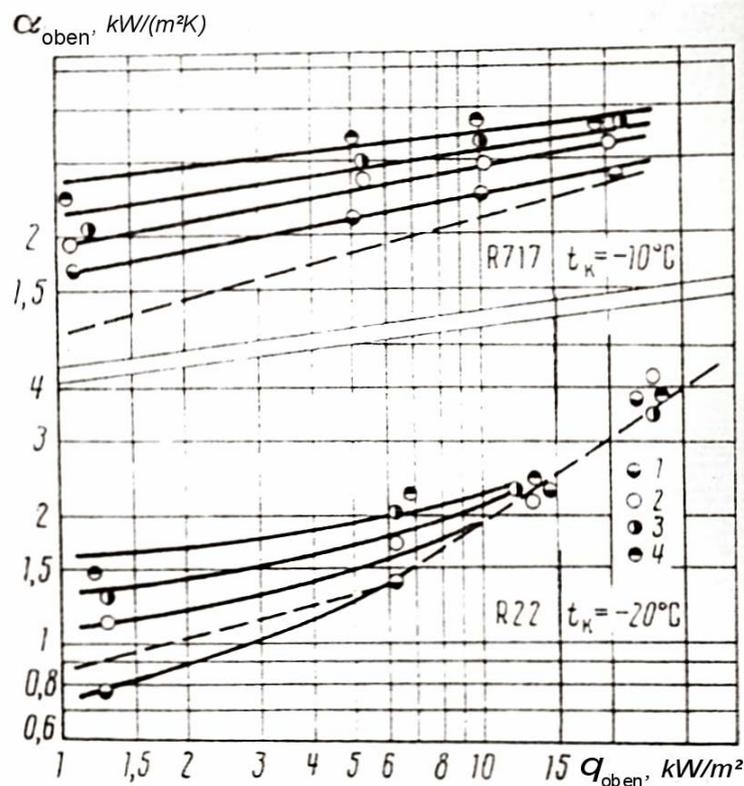


Abb. 3. Einfluß des unteren Rohres auf die Wärmeübergangintensität beim Sieden an einem oberen glatten Rohr:  
gestrichelte Kurven – Sieden an einem einzelnen oberen Rohr;  
durchgehende Kurven – Versuchskurven, ermittelt aufgrund des Einflusses des unteren Rohres;  
1)  $q = 1,0 \text{ kW/m}^2$ ; 2) 5,0; 3) 10,0; 4) 20,0.

In der vorliegenden Arbeit sind die Versuchsergebnisse für Modelle horizontaler Rohrbündel angegeben. Die Bündel bestanden aus glatten Stahlrohren oder aus Rohren mit poröser Metallbeschichtung. Die Versuche erfolgten an Modulen mit einer Reihenzahl  $N_r = 5$  über die Höhe bei quadratischer Anordnung der Rohre mit  $d_a = 20$  mm und  $S/d_a = 1,35$ . Nach dem Verfahren der thermohydrodynamischen Modellierung ließen sich die lokalen Wärmeübergangscharakteristiken für Bündel mit einer Reihenzahl  $N_r = 5 \div 55$  ermitteln [11]. Anfangs wurde die Wechselbeeinflussung von zwei glatten Rohren untersucht, die untereinander in einer vertikalen Reihe des nicht-beheizbaren Bündels angeordnet waren. Einige Ergebnisse dieser Versuche sind in Abb. 3 dargestellt. Für den Bereich des ausgebildeten Siedens von  $R 22$  ( $q \geq 5$  kW/m<sup>2</sup>) wurde an den beiden Rohren der zentralen senkrechten Reihe praktisch keine Wechselbeeinflussung auf die Intensität des Wärmeübergangs dieser Rohre festgestellt. Im Bereich des nicht ausgebildeten Siedens war die wechselseitige Beeinflussung dieser Rohre sehr stark. Die zunehmende Wärmebelastung am oberen Rohr führte zu einer schwachen Abnahme der Wärmeübergangszahl am unteren aufgrund partieller Unterdrückung schwach ausgebildeten Siedens durch zusätzliche konvektive Flüssigkeitsströmung [11]. Eine Zunahme der Wärmestromdichte am unteren Rohr führte zu einer mehr als zweifachen Zunahme des Wärmeübergangskoeffizienten am oberen Rohr (Abb. 3).

Eine analoge charakteristische Wechselbeeinflussung glatter Rohre im Bündel führte dazu, daß die weiter unten liegenden Rohrreihen geringere  $\alpha$ -Werte aufwiesen als die Wärmeübergangszahlen an den gleichen Einzelrohren; die Intensität des Wärmeübergangs an den oberen Reihen konnte 2 – 3 mal höher ausfallen als an den unteren (Abb. 4).

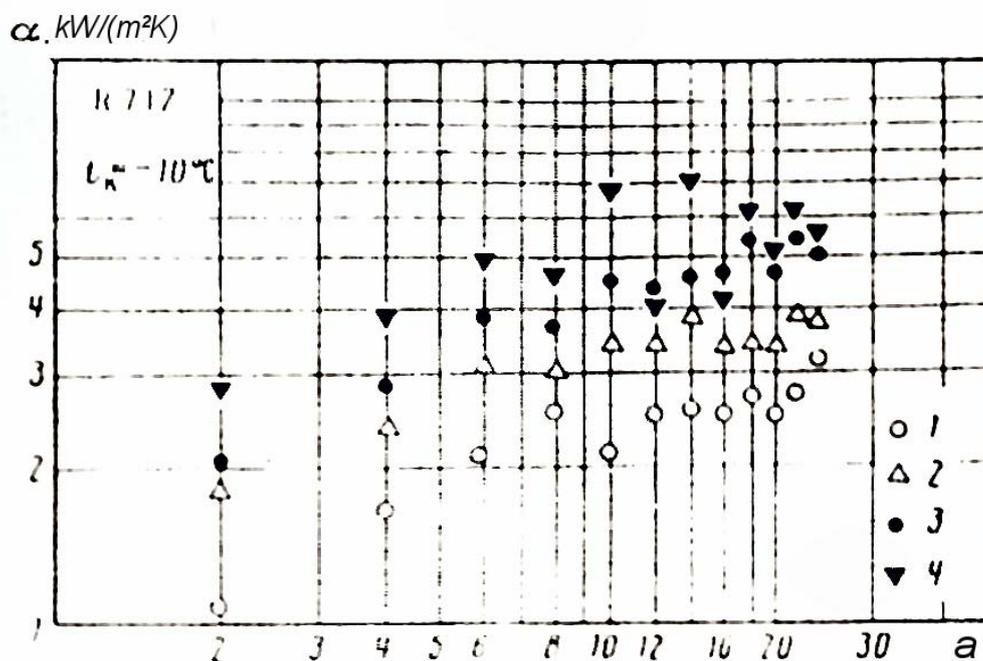


Abb. 4. Veränderung der Wärmeübergangskoeffizienten des in einem 25-Reihen-Rohrbündel siedenden Kältemittels:  
1) 1 kW/m<sup>2</sup>; 2) 3; 3) 5; 4) 10.

In Rohrbündeln mit poröser Metallbeschichtung waren die Wärmeübergangszahlen der oberen und unteren Rohrreihen praktisch gleich.

Aufgrund der Zunahme von  $\alpha$  über die Höhe des Bündels aus glatten Rohren nimmt die Einsatzwirkung von Oberflächen mit poröser Metallbeschichtung für Rohrbündel mit zunehmender Anzahl horizontaler Reihen ab (Abb. 5).

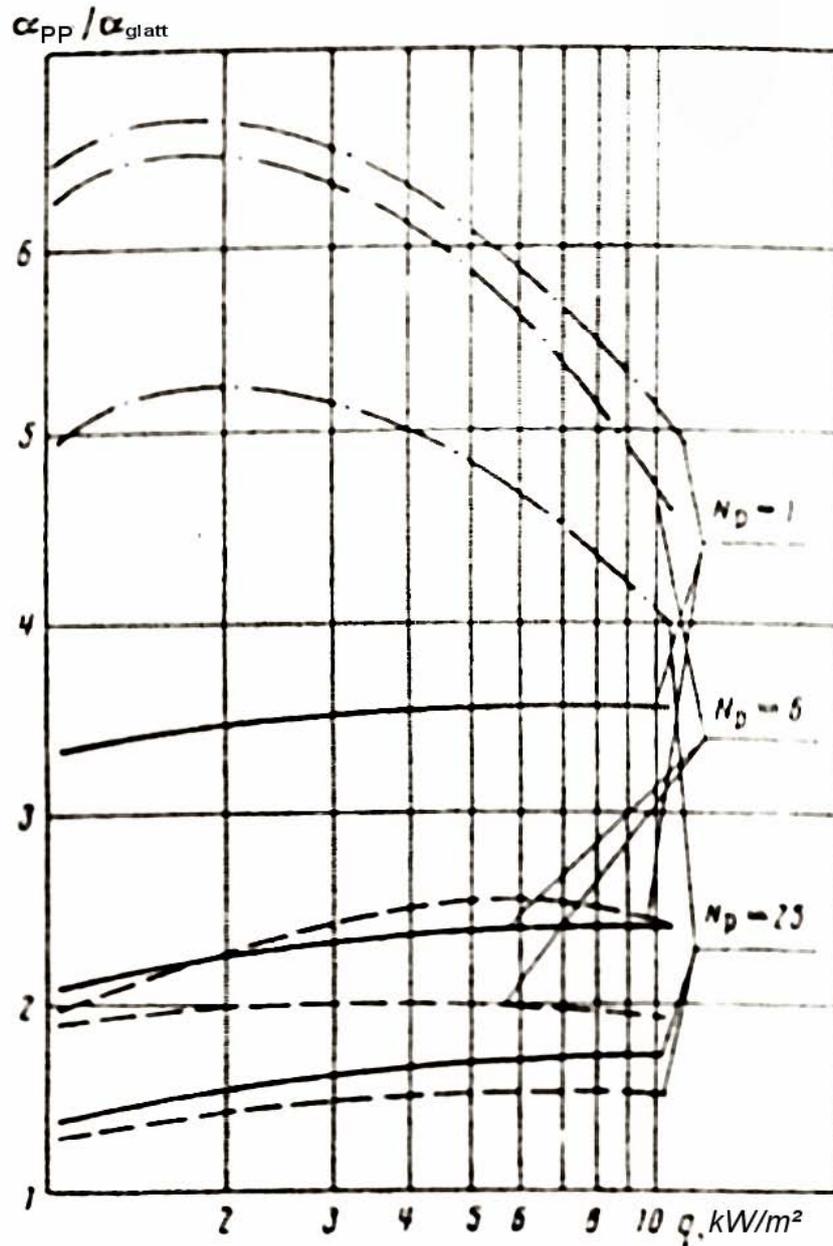


Abb. 5. Einfluß der Anzahl horizontaler Rohrreihen im Bündel auf die Intensivierung des Wärmeübergangs von Oberflächen mit poröser Metallbeschichtung (PP):  
gestrichelte Kurven - R 22,  $t_s = -20^\circ\text{C}$ ;  
Strichpunkt-Kurven - R 22,  $t_s = +10^\circ\text{C}$ ;  
durchgehende Kurven - R 717,  $t_s = -20 \div +20^\circ\text{C}$ .

Beim Behältersieden der Kältemittel *R 717* und *R 22* an Einzelrohren ( $q = 2 \div 10$  kW/m<sup>2</sup>,  $t_s = -20 \div +20^\circ\text{C}$ ) wurde somit die größte Wärmeübergangszunahme (um das 4 – 6fache) im Vergleich mit einem technisch glatten Stahlrohr dann erzielt, wenn auf das Rohr eine poröse Schicht aus einer 0,8 mm dicken AlMn-Legierung (offene Porosität 28 %) aufgebracht worden war. Unter denselben Voraussetzungen intensiviert eine Vibrokontaktbearbeitung der Rohroberfläche den Wärmeübergang um das ~ 2,5 – 3fache bei *R 717* und um das 1,5fache bei *R 22*. Der Einsatz von nichtbenetzbaren Fluorkunststoffbelägen ist nicht sinnvoll bei *R 22* und einigermaßen wirkungsvoll bei *R 717*, insbesondere in Form einer diskontinuierlichen Beschichtung. Mikroberippte und strukturierte Kupferoberflächen steigern den Wärmeübergang um mehr als das 2fache beim Sieden von *R 22*.

Im linken Bereich der Siedekurve ( $q = 1,0 \div 20$  kW/m<sup>2</sup>) findet bei den untersuchten Oberflächen Hysterese in den Größenordnungen von  $\alpha$  unter Richtungsänderung der zur Beheizung zugeführten Wärmelast statt. Die Abweichung bei kleineren Werten von  $q$  erreicht gelegentlich 100%. Dies muß man unbedingt berücksichtigen, wenn man die Versuchsergebnisse vergleicht. Eine Ausnahme bildet das Sieden von *R 717* an der fluorkunststoffbeschichteten Oberfläche.

Im Bereich geringer  $q$ -Werte hat der aus den unteren Reihen zu den oberen aufsteigende Dampfliquiditätsstrom großen Einfluß auf den lokalen (auf die Reihen bezogenen) Wärmeübergang im Rohrbündel. Infolgedessen nimmt der Wärmeübergang von Reihe zu Reihe von unten nach oben zu und seine Intensität kann an den oberen Rohren von Vielreihenbündeln bei glatten Rohren höher sein als bei Rohren mit intensivierten Oberflächen. Die Wärmewirkung beim Einsatz solcher Oberflächen sinkt deshalb mit zunehmender horizontaler Rohrreihen im Bündel.

Die ermittelten Daten über die unterschiedlichen Oberflächen können bei ihrer Gesamtbetrachtung nützlich sein, wobei es in zahlreichen Fällen vorzuziehen sein wird, mikroberippte (bzw. strukturierte) Oberflächen einzusetzen anstelle von porösen Metallbeschichtungen, ebenso eine gemeinsame Verwendung glatter und wärmeübergangsintensivierender Oberflächen [12].

#### Literaturverzeichnis:

1. Djundin, V. A.; Danilova, G. N.; Tichonov, A. V.: Intensivnye teploobmennye poverchnosti dlja kožucho-trubnych isparitelej chodolnych mašin: Chododil'noe mašinostroenie. Serija XM-7. Moskva: CNIITIneftechimmaš, 1990, 46 S.  
<Intensive Wärmeübergangsfächen für Rohrbündelverdampfer von Kältemaschinen: Kältemaschinenau; russ>
2. Djundin, V. A.; Solov'ev, A. G.: Chododil'nye mašiny i termotransformatory. Leningrad: Leningradskij Technologičeskij institut chododil'noj promyšlennosti, 1985, S. 56.  
<Kältemaschinen und Wärmewandler; russ.>
3. Djundin, V. A.; Danilova, G. N.; Vol'nych, Ju. A.; Tovaras, N. V. - In: Teploénergetika. Moskva, 37 (1990) Nr 12, S. 18.  
Engl.: Surfaces of intensive heat transfer for tube-in-shell evaporators. - In: Thermal engineering. New York, 37 (1990) Nr 12, S. 632 – 636.

4. Webb, R. I.: The evolution of enhanced surface geometries for nucleate boiling. - In: Heat Transfer Engineering. An international journal. London, 2 (1981) Nr 3/4, S. 46 – 69.
5. Marto, P. T.; Hernandez, B.: Nucleate pool boiling characteristics of a Gewa-T surface in Freon-113. - In: AIChE Symposium Series. New York, 5 (1983) Nr 225: Papers, presented at the 21. National Heat Transfer Conference, Seattle, July 24 – 27, 1983, S. 1 – 10.
6. Gogolin, A[natolij] A[irkad'evič]: Intensifikacija teploobmena v isparitel'jach choolodil'nych mašin. Moskva: Legkaja i piščevaja promyšlennost', 1982, 224 S.  
<Intensivierung des Wärmeübergangs in den Verdampfern von Kältemaschinen; russ.>
7. Danilova, G[alina] N.: Teploobmennye apparaty choolodil'nych ustanovok. 2 izdanie, perebotannoe i dopolnennoe. Leningrad: Mašinostroenie, 1986, 2. Aufl., 303 S.  
<Wärmetauscher von Kälteanlagen; russ.>
8. Leong, I. S.; Cornwell, K.: Heat transfer coefficients in a reboiler tube bundle. - In: Chemical engineering. Oxford: 5 (1979): Solutions to the problems in chemical engineering, Nr 343, S. 219 – 221.
9. Kozyrev, A. A.; Danilova, G. N.; Djundin, V. A.: Éksperimental'noe issledovanie teploobmena pri kipenii R 22 v mnogorjadnyh pučkach trub. - In: Teploobmen v énergooborudovanij v AÉS. Sbornik naučnyh trudov. Otvetstvennyj redaktor P. A. Ušakov. Leningrad: Nauka, 1986 S. 21ff.  
<Experimentelle Untersuchung des Wärmeübergangs beim Sieden von R 22 an Mehrreihenrohrbündeln; russ.>
10. Rebrov, P. N.; Bukin, V. G.; Danilova, G. N. - In: Choolodil'naja tehnika. Moskva, (1987) Nr 4, S. 38
11. Solov'ev, A. G.; Djundin, V. A.; Danilova, G. N. - In: Issledovanie teplofizičeskich svojstv rabočich veščestv i processov teploobmena v choolodil'noj tehnike. Mežvuzovskij sbornik naučnyh trudov. Leningrad: Leningradskij Technologičeskij Institut Choolodil'noj promyšlennosti, 1989, S. 86
12. Danilova, G. N.; Djundin, V. A.; Tichonov, A. V. et al.: Kožuchotrubnyj teploobmennik. - In: Avtorskoe svidetel'stvo Nr 1575055 SSSR. Moskva, (1990) Nr 24  
<Rohrbündel-Wärmetauscher. UdSSR-Patent; russ>

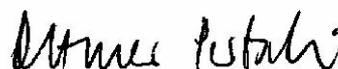
Leningrader Technisches Institut der Kälteindustrie

Redaktionseingang:  
20.8.1991

---

Stuttgart, den 29. September 2009

übersetzt von



(Ottmar Pertschi)  
Dipl.-Übersetzer