

U/25A

Ratiani, G.V., Avaliani, D.I.

Kandidaten der technischen Wissenschaften  
Grusinisches A.I. Didebulidze-Forschungsinstitut der Energietechnik

WÄRMEÜBERGANG UND KRITISCHE WÄRMESTROMDICHTEN BEIM SIEDEN VON  
KÄLTEMITTELN

Deutsche Übersetzung aus:

Cholodil'naja tehnika. Moskva, 42 (1965),  
Nr 3, S. 23 - 28

Russ.: ТЕПЛООБМЕН И КРИТИЧЕСКИЕ ТЕПЛОВЫЕ НАГРУЗКИ ПРИ КИПЕНИИ ФРЕОНОВ

Теплообмен и критические тепловые нагрузки при кипении фреонов

Untersucht wurde der Wärmeübergang beim Sieden der reinen Freone 12, 112, 113 und 143 in einem großen Behälter an einem horizontalen Rohr mit 9,25 x 0,5 mm Durchmesser. Ermittelt wurden Gleichungen zur Bestimmung der Abhängigkeit des Wärmeübergangskoeffizienten von der Größe der Wärmestromdichte bei konstantem Druck. Die Werte des Wärmeübergangskoeffizienten für die Kältemittel werden in verallgemeinerten Kurven dargestellt, ebenso die Werte der kritischen Wärmestromdichte für Freon 113. Folgende Werte für die kritische Wärmestromdichte wurden ermittelt:  
Freon 12 = 256 000 W/m<sup>2</sup>; Freon 112 = 255 000 - 142 000 W/m<sup>2</sup>;  
Freon 113 = 208 000 - 303 W/m<sup>2</sup>.

Bekanntlich werden sowohl in Kälteanlagen als auch in Wärmeenergieanlagen immer mehr Freone als Arbeitsmittel verwendet. Es ist nicht nur von praktischem, sondern auch von theoretischem Interesse, den Siedevorgang dieser Kältemittel zu untersuchen, da zahlreiche und verallgemeinerte Versuchangaben über das Sieden von Flüssigkeiten mit den unterschiedlichsten physikalischen Eigenschaften eine wichtige Voraussetzung für das Aufstellen einer allgemeinen Theorie des Wärmeübergangs beim Sieden sind.

Übersetzungsstelle  
der Universitätsbibliothek Stuttgart

Anhand der veröffentlichten Arbeiten über den Wärmeübergang beim Sieden von Kältemitteln zeigt sich, daß es zu diesem Problem sehr wenige Untersuchungen gibt. Außerdem können die Versuchsergebnisse der Arbeiten [1 - 5], in denen die wichtigsten Kennwerte des Vorgangs nur wenig variierten, nicht auf andere Fälle übertragen werden.

Soweit uns bekannt, sind insbesondere die vorliegenden Versuchsangaben über das Sieden von Freon 12 und 122 ungenügend, um eine Abhängigkeit des Wärmeübergangskoeffizienten vom Druck feststellen zu können.

Die Untersuchung des Siedevorgangs solcher relativ neuen Kältemittel wie Freon 112 ( $\text{FC}_1_2\text{C}-\text{CCl}_2\text{F}$ ), 113 ( $\text{FC}_1_2\text{C}-\text{CClF}_2$ ) und 143 ( $\text{CN}_3-\text{CF}_3$ ) ist also von großem Interesse. Ebenso ist auch die Untersuchung der kritischen Wärmestromdichten beim Sieden von Kältemitteln von Bedeutung.

Zweck dieser Arbeit war, den Wärmeübergang beim Sieden der reinen Freone 12, 112, 113 und 143 in einem großen Behälter an einem horizontalen Rohr mit  $9,25 \times 0,5$  mm Durchmesser zu untersuchen. Die Versuchsanlage gleicht der in Arbeit [1] beschriebenen Anlage.

Nach der Produktbeschreibung der Lieferfirma enthielten die untersuchten Freone 112 und 113 keine nichtflüchtigen Rückstände, kein freies Chlor und keine Azidität. In Freon 143 betrug der Gehalt an nichtflüchtigen Rückständen 0,00028 %, an Feuchtigkeit (gewichtsmäßig) 0,00253 %. Freon 12 wurde importiert.

Am Ende jeder Versuchsreihe wurden die kritischen Wärmestromdichten untersucht, bei denen das Versuchsrohr unbrauchbar wurde; es wurde danach durch ein neues ersetzt. Man darf annehmen, daß alle Versuchsrohre gleich gut waren, da sie von einem einzigen Rohr aus nichtrostendem Stahl der Sorte 1Ch18N9T (0,1 % C; 18 % Cr; 9 % Ni;  $\leq 1$  % Ti) abgesägt worden waren.

Die Versuchsergebnisse sind in den Abb. 1 und 2 in  $\alpha$ -q-Koordinaten dargestellt.

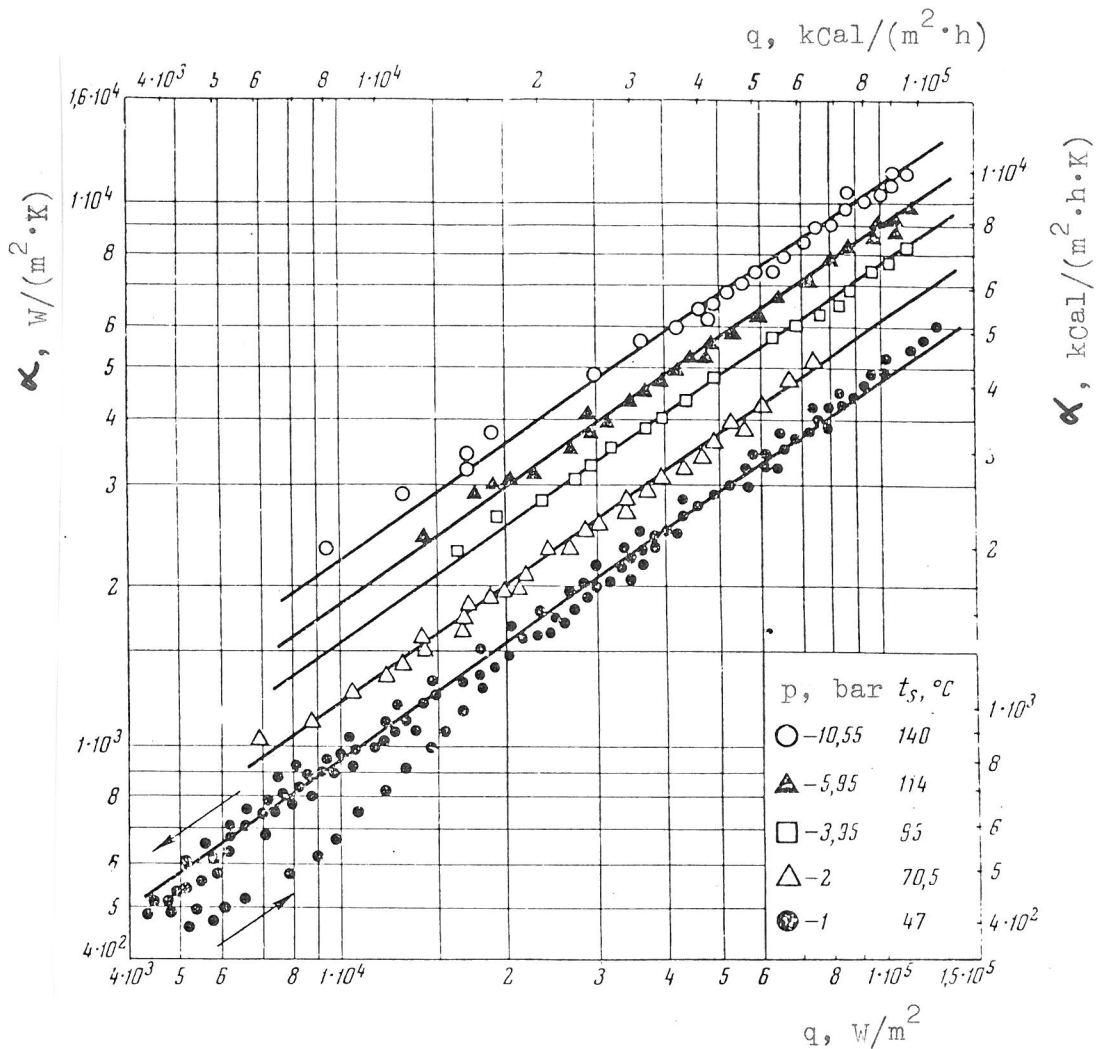


Abb. 1a. Experimentelle Werte des Wärmeübergangskoeffizienten für Freon 113.

Wie aus Abb. 1 hervorgeht, kommt es für Freon 112 bei  $q = (5 - 6) \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$  zum Blasensieden und für Freon 113 bei  $q = (4 - 5) \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$  [ $1 \text{ W/m}^2 = 0,86 \text{ kcal}/(\text{m} \cdot \text{h})$ ]. Unterhalb dieser Werte hängen die Wärmeübergangskoeffizienten nur wenig von den Wärmestromdichten ab und lassen sich durch die Bedingungen der freien Konvektion erklären.

Im Übergangsbereich von der Konvektion zum Blasensieden waren die Wärmeübergangskoeffizienten der untersuchten Kältemittel nicht stabil; auch wurde in diesem Bereich Hysterese festgestellt. Die Differenz der Werte von  $\alpha$  betrug dabei bis zu 10 - 30 %.

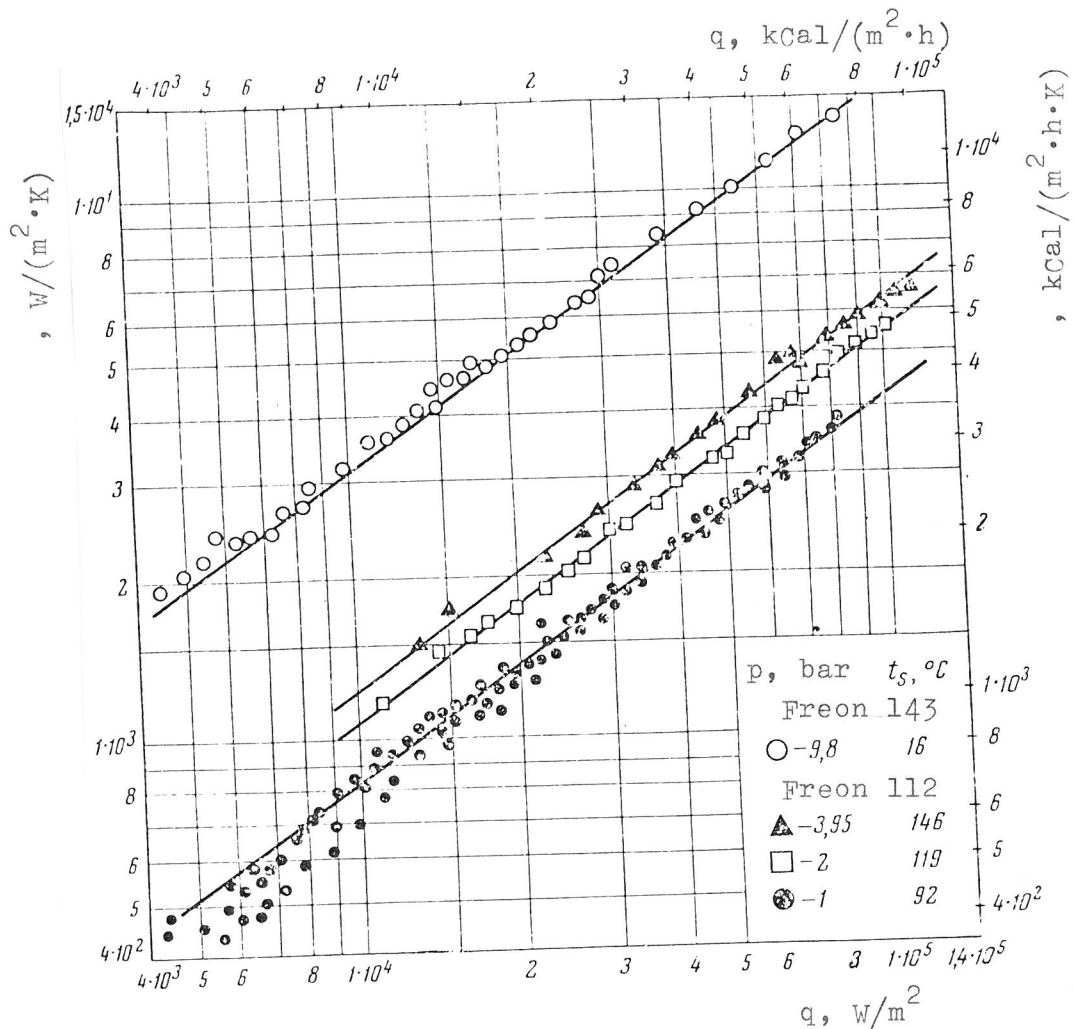


Abb. 1b. Experimentelle Werte des Wärmeübergangskoeffizienten für Freon 112 und 143.

Für den Vorgang des ausgebildeten Siedens läßt sich die Abhängigkeit des Wärmeübergangskoeffizienten von der Wärmestromdichte bei konstantem Druck hinreichend beschreiben mit der Gleichung

$$\alpha = Cq^n. \quad (1)$$

Die Auswertung der Versuchsangaben zeigt, daß man für alle unsere Kältemitteluntersuchungen  $n = 0,7$  annehmen kann.

Da keine Angaben über die physikalischen Kennwerte von Freon 112 und 143 vorliegen, konnte nicht überprüft werden, ob die ermittelten Versuchsangaben mit den vorliegenden ausschlaggebenden Abhängigkeiten übereinstimmen.

Die experimentellen Werte der Wärmeübergangskoeffizienten für Freon 113, dessen physikalische Konstanten bekannt sind, fielen höher aus als die errechneten. Diese Differenz wird mit zunehmendem Druck grösser. Daß die vorliegenden ausschlaggebenden Gleichungen für Freon 12 und 22 unrichtig sind, wurde bereits früher festgestellt [1 - 4].

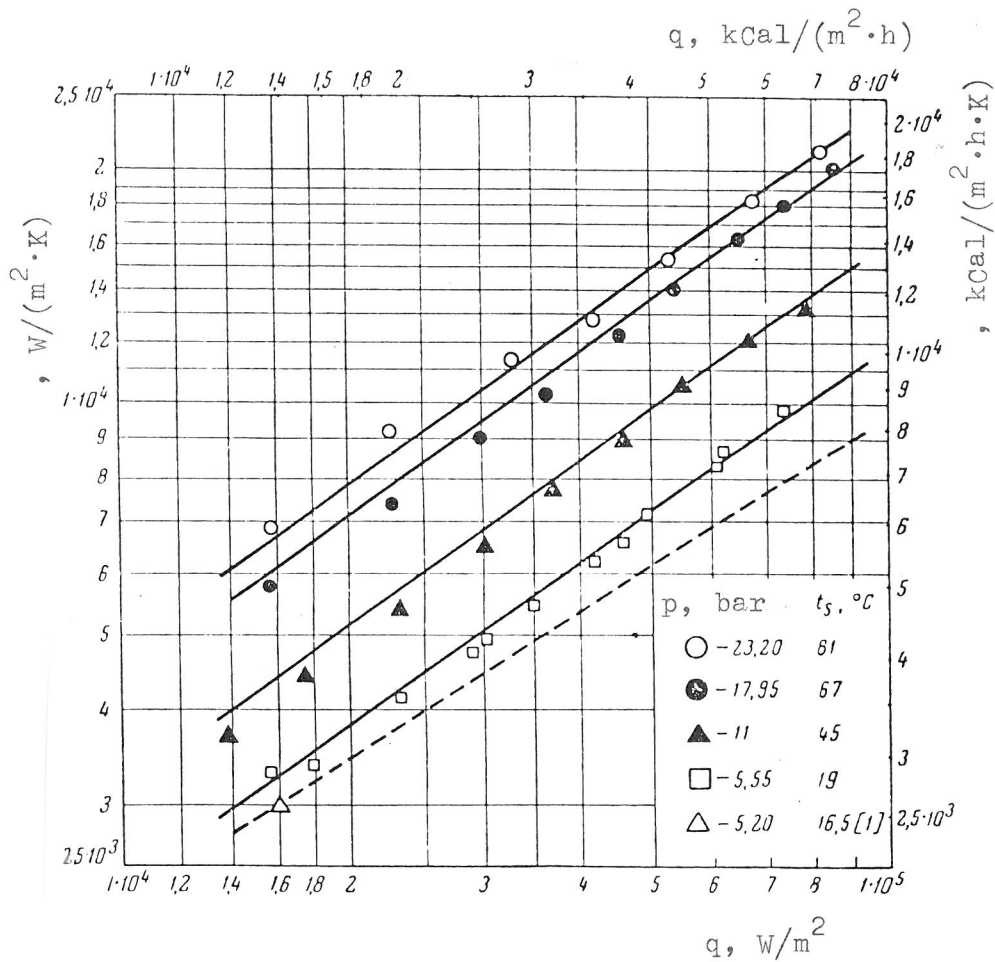


Abb. 2. Experimentelle Werte der Wärmeübergangskoeffizienten für Freon 12.

Abb. 2 zeigt die Untersuchungsergebnisse der Wärmeübergangskoeffizienten für Freon 12, die mit den früher ermittelten Versuchsangaben [1] für dasselbe Kältemittel verglichen werden (punktierte Linie). Die Differenz zwischen den alten und neuen Angaben liegt unter Berücksichtigung der entsprechenden Sättigungstemperaturen nicht über 10 - 15 %.

Der Exponent  $n$  für Freon 12 ist hier außerdem gleich 0,7, während in Arbeit [1] dafür 0,6 angenommen wurde. Da die neuen Versuche bei unterschiedlichen Drücken und in einem sehr großen Wärmestromdichtenbereich durchgeführt wurden, dürfte ein Wert von 0,7 für den Exponent  $n$  zuverlässiger sein.

Die in den Abb. 1 und 2 dargestellten Angaben lassen die Feststellung zu, daß beim Sieden von Kältemitteln der Druck die Wärmeübergangskoeffizienten beeinflusst.

Der Bereich, in dem Druck bzw. Temperatur beim Sieden der verschiedenen Kältemittel variiert wurden, ist in Tab.1 angegeben.

T a b e l l e 1

1)	2)	3)	4)
Freon 12	5,55—23,2	19—81	-29,8
Freon 112	1—4	92—146	-91,8
Freon 113	1—10,6	47—140	-47,7
Freon 143	9,8	16	-47,6

- 1) Kältemittel
- 2) Druck, bar [ $1 \text{ bar} = 1,0197 \text{ kg/cm}^2 = 10 \text{ N/cm}^2$ ]
- 3) Siedetemperatur, °C
- 4) Normale Siedetemperatur des Kältemittels, °C

Nach den Versuchsangaben läßt sich bei den untersuchten Kältemitteln die Abhängigkeit des Wärmeübergangskoeffizienten vom Druck durch die Formel

$$\alpha = Cq^{0,7} p^m \quad (2)$$

ausdrücken.

Der Exponent  $m$  für die verschiedenen Kältemittel ist nicht immer gleich. Er ist umso größer, je niedriger die normale Siedetemperatur ist.

Für Formel (2) gelten folgende Werte für  $m$  : bei Freon 143 - 0,590, Freon 12 - 0,530, Freon 113 - 0,365, Freon 112 - 0,310.

Die Feststellung, daß  $\alpha$  von  $p$  abhängt, macht es möglich, für die untersuchten Kältemittel die empirische Berechnungsformel

$$\alpha = 1,35q^{0,7} p^{\frac{665}{T_s^{1,3}}} \quad (3)$$

anzunehmen, mit  $p$  Druck, bar;  
 $T_s$  normale Siedetemperatur, °K.

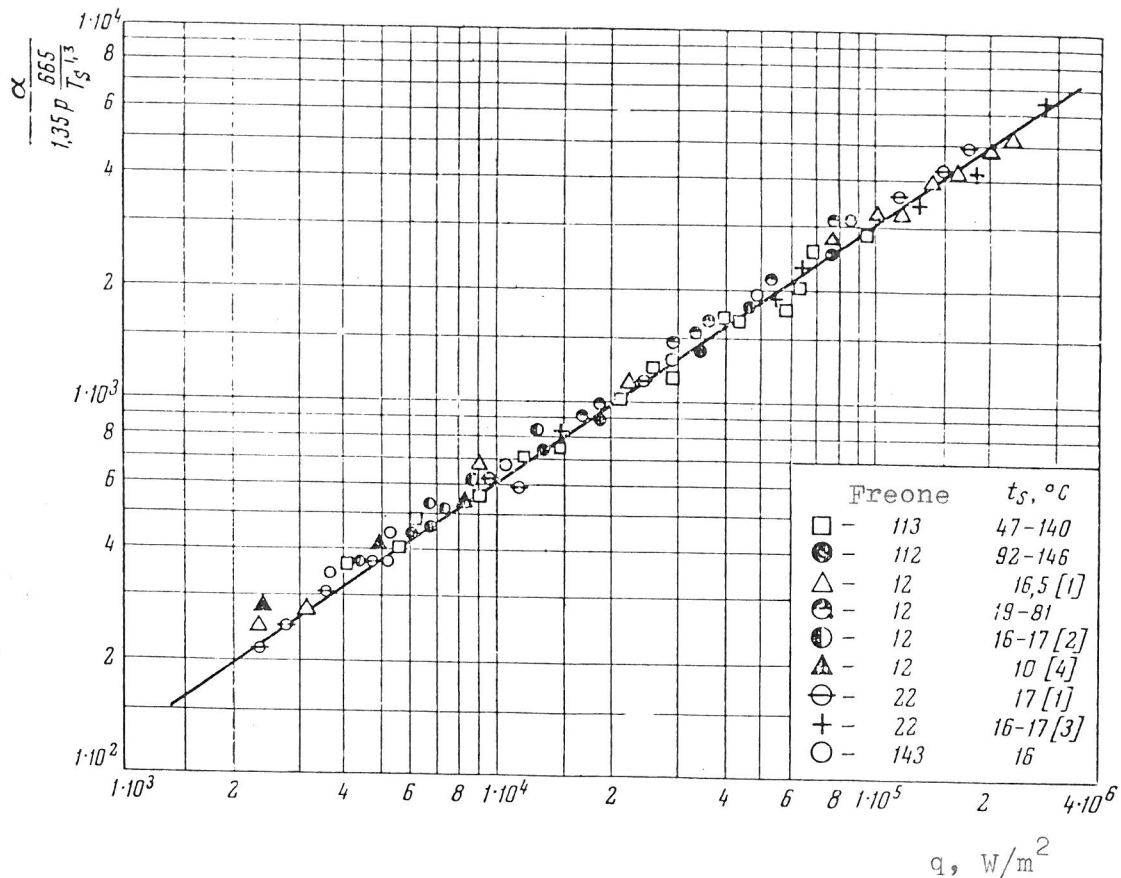


Abb. 3. Experimentelle Werte der Wärmeübergangskoeffizienten für die verschiedenen Kältemittel in verallgemeinerten Koordinaten.

Die mit Hilfe dieser Formel verallgemeinerte Abhängigkeit beim Sieden von Kältemitteln in den Koordinaten  $\left( \frac{a}{1,35p^{\frac{665}{T_1^3}}}, q \right)$  ist in Abb. 3 dargestellt.

Die größte Streuung der Versuchspunkte von der gemittelten Kurve ist nicht größer als  $\pm 20\%$ .

Da die Untersuchungen mit vier voneinander beträchtlich abweichenden Kältemitteln durchgeführt wurden, kann man voraussetzen, daß die Abhängigkeit (3) auch für andere Kältemittel gilt.

Bei der Bestimmung der kritischen Wärmestromdichten wurden für alle untersuchten Kältemittel Werte ermittelt, die den in Arbeit [1] genannten entsprechen.

Der Übergang zum Filmsieden wurde nach den Anzeigen des im Versuchsrohr angebrachten Thermoelements und den Anzeigen des Ampere- und Voltmeters, mit denen die Heizstromstärke und -spannung gemessen wurde, bestimmt.

Mit dem Filmsieden stieg die Wandtemperatur auf  $700 - 900^\circ\text{C}$ ; dementsprechend nahm auch der elektrische Rohrwidestand zu. Durch die höhere Wandtemperatur des Versuchsrohres zersetzte sich das Kältemittel in unmittelbarer Nähe der Heizfläche, wodurch diese ziemlich rasch mit Zersetzungsprodukten überzogen wurde.

T a b e l l e 2

Kältemittel	Druck, bar	$q_{kr}, \text{W/m}^2$	Siedetemperatur, $^\circ\text{C}$
Freon 12	10,25	256000	42
Freon 112	1	152000	92
Freon 113	1	142000	47,5
	3,2	223000	85
	5,6	255000	108
	9,8	303000	135,5
	13,35	296000	152
	22,4	238000	180,5
	24,6	208000	185



Die Werte der kritischen Wärmestromdichte für die untersuchten Kältemittel sind in Tab. 2 angegeben.

Die kritische Wärmestromdichte für Freon 12 und 113 weichen von den nach Kutateladze [6] errechneten Werten um 30 - 50 % ab.

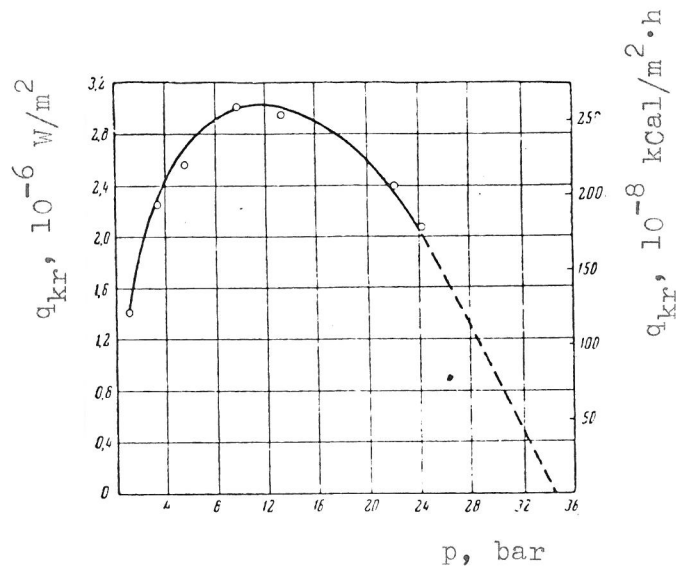


Abb. 4. Experimentell ermittelte Werte der kritischen Wärmestromdichte für Freon 113.

Um den Verlauf der Abhängigkeit  $q_{kr} = f(p)$  aufzuzeigen, wurde Freon 113 gewählt. Abb. 4 zeigt, daß die kritischen Wärmestromdichte für Freon 113 bei einem Druck von 10 - 12 bar oder 0,3 - 0,35  $p_{kr}$  ihren größten Wert erreicht, was auch beim Sieden von Wasser festgestellt worden war.

#### L i t e r a t u r

1. Ратнани Г. В., Авалиани Д. И. «Холодильная техника», 1963, № 1.

Ratiani, G.V., Avaliani, D.I.: Teploobmen pri kipenii freona-12 i freona-22.

In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 40 (1963), Nr 1, S. 40 - 44. (Wärmeübergang beim Sieden von Freon 12 und Freon 22; russ.)

2. Данилова Г., Мазюкевич Н. «Холодильная техника», 1954, № 2.  
Danilova, G., Mazjukevič, I.: Issledovanie processa kipenija nekotorych chladagentov.  
In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 31 (1954), Nr 2, S. 62 - 65.  
Engl. Übersetzung: A study of the boiling process of certain refrigerants. - Übersetzung Nr NTC-77-20395 des National Translations Centre Chicago-Illinois (WI 77061301-074).
3. Данилова Г. Н., Бельский В. К. «Холодильная техника», 1962, № 1.  
Danilova, G.N., Bel'skij, V.K.: Eksperimental'noe issledovanie teploobmena pri kipenii freona-22.  
In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 39 (1962), Nr 1, S. 7 - 13.  
<Experimentelle Untersuchung des Wärmeübergangs beim Sieden von Freon-22; russ.>
4. Чернобыльский И. И., Ратиани Г. В. «Холодильная техника», 1955, № 3.  
Černobyl'skij, I.I., Ratiani, G.V.: Eksperimental'noe issledovanie koëfficienta teplootdači pri kipenii freona-12 v bol'som ob'eme.  
In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 32 (1955), Nr 3, S. 48 - 51.  
Deutsch: Experimentelle Untersuchung der Wärmeübergangszahlen beim Behältersieden von Freon 12. - Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek Stuttgart, Nr 209, 8 Seiten.
5. Розенфельд Л. М., Ткачев А. Г. Холодильные машины и аппараты. Госторгиздат, 1960.  
Rozenfel'd, L.M., Tkačev, A.G.  
Cholodil'nye mašiny i apparaty.  
Moskva: Gostorgizdat, 1960.  
<Kältemaschinen und -apparaturen; russ.>
6. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. Машгиз, 1962.  
Kutateladze, Samson Semenovič  
Osnovy teorii teploobmena.  
Moskva: Mašgiz, 1962.  
Engl.: Fundamentals of Heat Transfer. Transl. by Scripta technica.  
Ed. by Robert D. Cess.  
London: Arnold, 1963.

---

Stuttgart, den 23. März 1982

übersetzt von

*Ottmar Pertschi*  
(Ottmar Pertschi)  
Dipl.-Übersetzer