

Badyl'kes, I. S. (Doktor der techn.Wiss., Professor)

WÄRMEAUSTAUSCH BEIM KONDENSIEREN UND SIEDEN VON
KÄLTEMITTELN

Deutsche Vollübersetzung aus:

Cholodil'naja tehnika. Moskva, 45 (1968), Nr 2, S. 22 - 26.

Russ.: Теплообмен при конденсации и кипении фреонов

Теплообмен при конденсации и кипении фреонов

Equations for calcg. heat-transfer coeffs. during con-
densation and boiling of Freons are given based on the mol.
theory of liqs. and gases. I. V. Bakardjiev

Ein Vergleich der verallgemeinerten Gleichungen des Wärme-
übergangs beim Kondensieren und Sieden von Kältemitteln in
Kältemaschinen ist kompliziert und gleichzeitig sehr wichtig.

In allgemeiner Form kann man den Wärmeübergangskoeffizienten
 $\bar{\alpha}$ eines Rohrbündels durch die Abhängigkeit

$$C \bar{\alpha} = C \bar{\varepsilon} \alpha = f_1(\nu_1, \dots, \nu_l) \cdot f_2(\beta_1, \dots, \beta_m) \times \\ \times f_3(\rho_1, \dots, \rho_n), \quad (1)$$

beschreiben, mit

C Konstante;

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\bar{\alpha}}{\alpha};$$

- α Wärmeübergangskoeffizient bei einem einzelnen Rohr;
 f_1 Vielflächenfunktion der thermophysikalischen Eigenschaften des Arbeitsmittels (u.a. Viskosität, Wärmeleitfähigkeit, Oberflächenspannung);
 f_2 Funktion der Betriebskennwerte (Temperaturdifferenz, Geschwindigkeit, Massenstrom, Wärmebelastung);
 f_3 Funktion der Konstruktionsfaktoren (Gerätetyp, geometrische Abmessungen der glatten oder berippten Rohre, Werkstoff, Oberflächenfeinstruktur).

Bei ρ_1, \dots, ρ_n und $\varepsilon = \text{const}$ ist

$$\frac{C_1 \alpha}{f_2(\beta_1, \dots, \beta_m)} = f_1(\nu_1, \dots, \nu_l). \quad (2)$$

Zur Lösung von Gleichung (2) muß man unbedingt die Werte vieler thermophysikalischer Eigenschaften kennen. Mit Hilfe der entsprechenden Zustandsgesetze, die nach der Molekulartheorie von Flüssigkeiten und Gasen auf Wärmeübertragungsvorgänge anwendbar sind, können wir nach den Arbeiten /1, 2/ unter Berücksichtigung von Gleichung (2) schreiben:

$$\begin{aligned} \frac{C_1 \alpha}{f_2(\beta_1, \dots, \beta_m)} &= f_1(\nu_1, \dots, \nu_l) = \\ &= C_2 \cdot F_1(\mu, p_{kr}, T_{kr}) \cdot F_2\left(\frac{p}{p_{kr}}, \frac{T}{T_{kr}}\right), \end{aligned} \quad (3)$$

mit μ Molekulgewicht;
 p_{kr} kritischer Druck;
 T_{kr} kritische Temperatur, $^{\circ}\text{K}$.

Unter Berücksichtigung des Exponenten in der Funktion F_1 und des Ablaufs der Wärmeübergangsvorgänge, hauptsächlich auf der Sättigungslinie, erhalten wir

$$\frac{C_3 \alpha}{\beta_1^{b_1} \beta_2^{b_2} \dots} = \mu^{-l_1} p_{kr}^{l_2} T_{kr}^{l_3} \cdot F_2\left(\frac{T}{T_{kr}}\right). \quad (3a)$$

Wir ziehen in Betracht, daß

$$p_{kr}^{l_2} T_{kr}^{l_3} = \text{Me}^{-l_2} \cdot \text{Gu}^{-l_3} \cdot T_s^{l_3},$$

mit $\text{Me} = \frac{1 \text{ amM}}{p_{kr}}$ Mendeleev-Kriterium /3/,

$$Gu = \frac{T_s}{T_{kr}} \quad \text{Gulberg-Kriterium /3/,}$$

und erhalten

$$F_2\left(\frac{T}{T_{kr}}\right) = F_2(Gu \cdot \tau) = F_3(Gu) \cdot F_4(\tau) = \\ = Gu^{l_4} \cdot F_4(\tau), \quad (4)$$

mit $\tau = \frac{T}{T_s}$,
 T_s normale Siedetemperatur, °K.

In einem solchen Fall ist

$$\frac{C_4 \alpha}{\beta_1^{b_1} \beta_2^{b_2} \dots} \mu^{l_1} \cdot Me^{l_2} \cdot Gu^{l_3} \left(\frac{1^\circ}{T_s}\right)^{l_3} = F_5(\tau). \quad (5)$$

Bei derartigen Betriebskennwerten kann Gleichung (5) folgendermaßen dargestellt werden:

$$F(\alpha, \tau, \mu, \frac{1^\circ}{T_s}, Me, Gu) = 0. \quad (6)$$

Sie bezeichnet den Wärmeübergang beim Kondensieren und Sieden beliebiger Substanzen.

Aus Gleichung (6) geht hervor, daß der Wärmeübergangskoeffizient bei gleichen Werten von τ von den individuellen Eigenschaften der Substanz abhängt, die wiederum durch den Komplex der Größen μ , $\frac{1^\circ}{T_s}$, Me und Gu bestimmt werden. Die Anzahl dieser Kriterien kann man wesentlich verringern, wenn man die charakteristischen Eigenschaften der Kältemittel berücksichtigt. Weil sie ungiftig und nicht explosiv sind, sind zahlreiche Gruppen der Chlor-Fluor-Substitutionsprodukte $C_m[F,Cl]_{2m+2}$, $C_mH[F,Cl]_{2m+1}$ und $C_mBr_{n1}[F,Cl]_{2m-n+2}$ von großem Interesse. Stärkste Anwendung finden die Methan- und Äthangruppen ($m = 1 - 2$).

In ein und derselben Gruppe von Substanzen kann die Variationsbreite von $\frac{1^\circ}{T_s}$ und μ sehr groß sein. Erkennungsmerkmal ist die Konstante der Gu - und Me -Kriterien (letztere hängt etwas von $\frac{1^\circ}{T_s}$ ab).

Nach der Arbeit /4/ ist in jeder derartigen Gruppe $G_u \approx \text{const}$;

$$\frac{1}{\mu} = \psi_1\left(\frac{1^\circ}{T_s}\right); \quad \frac{T_s}{\mu} = \psi_2\left(\frac{1^\circ}{T_s}\right)$$

Dann ist

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1^\circ}{T_s} \cdot \psi_2\left(\frac{1^\circ}{T_s}\right) = \psi_3\left(\frac{1^\circ}{T_s}\right); \quad \mu = \psi_4\left(\frac{1^\circ}{T_s}\right)$$

In diesem Fall folgt aus Gleichung (6):

$$F\left[\alpha, \tau, \psi_1\left(\frac{1^\circ}{T_s}\right), \psi_4\left(\frac{1^\circ}{T_s}\right)\right] = 0$$

oder

$$f_1\left(\alpha, \tau, \frac{1^\circ}{T_s}\right) = 0; \quad (7)$$

$$f_2(\alpha, \tau, \mu) = 0. \quad (8)$$

Somit sind die Funktionen (7) und (8) verallgemeinernd für alle Kältemittelgruppen.

Wie aus Gleichung (5) ersichtlich ist, zeichnen sich die Wärmeübergänge durch exponentielle Abhängigkeiten aus, und deshalb erhalten wir durch Auflösen der Funktionen (7) und (8)

$$\frac{C_s \alpha}{\beta_1^{b_1} \beta_2^{b_2} \dots} \cdot \left(\frac{1^\circ}{T_s}\right)^x = \varphi_1(\tau) \quad (9)$$

oder

$$\frac{C_r \alpha}{\beta_1^{b_1} \beta_2^{b_2} \dots} \cdot \mu^y = \varphi_2(\tau). \quad (10)$$

(Im weiteren Verlauf wird die Konstante C nicht mehr geschrieben.)

In den Kriteriumsgleichungen (9) und (10) zeichnet sich jede Chlor-Fluor-Substituentengruppe durch feste Werte von x oder y bei den durchgehenden Kennwerten $\alpha, \left(\frac{1^\circ}{T_s}\right)$ oder α, μ aus. Somit ist

$$\begin{aligned}x &= \psi_5 (\text{Gu}, \overline{\text{Me}}), \\y &= \psi_6 (\text{Gu}, \overline{\text{Me}})\end{aligned}$$

und folglich sind sie physikalisch analog. In diesem Fall bestimmen $\overline{\text{Me}}$ und Gu die Ähnlichkeit in den Wärmeübertragungsvorgängen ebenso wie bei thermodynamischer Ähnlichkeit /3/. Möglich sind auch die Fälle, wo sich Me und Gu gegenseitig neutralisieren, wodurch x und y bei verschiedenen Kältemittelgruppen gleiche Werte annehmen können. Möglich ist auch, daß $x = 0$ oder $y = 0$ wird. Dann ist bei allen Gruppen von Substanzen

$$\frac{\alpha}{\beta_1^{b_1} \beta_2^{b_2} \dots} = \varphi_{\substack{x=0 \\ y=0}}(\tau).$$

Diese Fälle werden später analysiert.

Die physikalische Gültigkeit der Gleichungen (9) und (10) kann man in erster Linie durch einen Vergleich der Ausgangsgleichung (5) mit den vorhandenen theoretischen Abhängigkeiten überprüfen. Dafür verwenden wir die Nußeltsche Gleichung für den laminaren Ablauf eines Kondensationsfilms an einer Oberfläche. Sie kann für Kältemittel folgendermaßen umgeformt werden /4, 5/:

$$\frac{\alpha}{(\Delta t)^{-0,25}} \mu^{0,625} \cdot \text{Me}^{l_2} \cdot \text{Gu}^{0,5} \cdot \left(\frac{l^\circ}{T_s}\right)^{0,375} = F_6(\tau), \quad (11)$$

Als Betriebskennwert wurde dabei die Differenz Δt zwischen der Kondensationstemperatur t_k und der Wandtemperatur t_w gewählt, sowie $l_2 = 0,208$ und $l_2 = 0,245$ (wobei Brom-Atome vorhanden sind).

Somit ist Gleichung (11) identisch mit Gleichung (5).

Verwenden wir die Theorie der thermodynamischen Ähnlichkeit auch für die turbulente Kondensation nach der Arbeit /6/, so erhalten wir bei Kältemitteln eine Gleichung gleichen Typs:

$$\frac{\alpha}{(\Delta t)^{-0,5}} \mu^{0,5} \cdot Me^{l_2} \cdot Gu^1 \cdot \left(\frac{1^\circ}{T_s}\right)^{0,25} = F_7(\tau), \quad (12)$$

mit $l_2 = 0,417$ und $0,49$ (mit Brom-Atomen).

Gleichung (19) wurde desweiteren unmittelbar anhand der Werte von α überprüft. Diese wurden nach der Nußeltschen Gleichung ermittelt (alle Berechnungen nach SI).

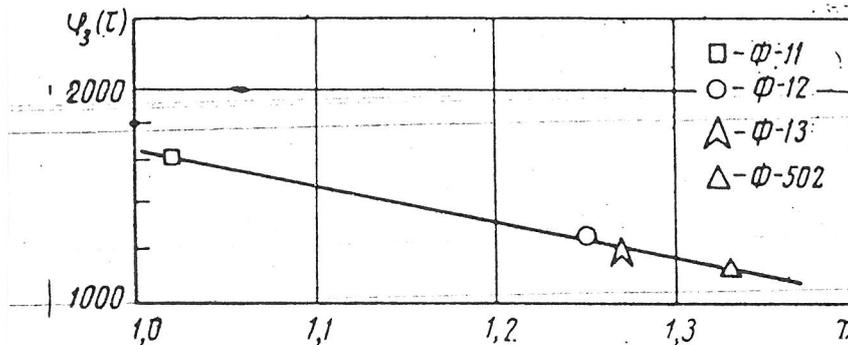


Abb. 1. Abhängigkeit $\varphi_3(\tau)$ von τ .

In Abb. 1 sind die Werte $\alpha \left(\frac{1^\circ}{T_s}\right)^x = \varphi_3(\tau)$ bei $\Delta t = \text{const}$ für die Gruppe $C[F,Cl]_4$ und Freon-502 abgebildet, bei dem die Me- und Gu-Werte identisch sind.

Die ausnahmslos genaue Lage aller Versuchspunkte bei $x = 0,0127$ beweist den hohen Genauigkeitsgrad von (9). Für die Gruppe $CH[F,Cl]_3$ ist $x = 0,0561$ und bei $C_2[F,Cl]_6$ ist $x = -0,0339$.

Den gleichen Genauigkeitsgrad liefert Gleichung (10), wobei bei jeder Gruppe $y \approx 0,25$ ist /5/.

Beim Kondensieren von Kältemitteln in horizontalen Rohren empfiehlt sich nach Arbeit /7/ die Gleichung

$$\frac{\alpha}{q^{0,5}} = M l^{0,35} d^{-0,25} \quad (13)$$

Der Koeffizient M hängt vom Vielflächenkomplex der thermophysikalischen Eigenschaften der Substanz und der Kondensations-temperatur ab.

Bei derselben Rohrgeometrie erhalten wir aus Gleichung (10)

$$\frac{\alpha}{q^{0,5}} \mu^y = \varphi_4(\tau) \quad (14)$$

und bei $y = 1$ stimmen alle Werte von $\frac{\alpha}{q^{0,5}}$, die mit Gleichung (13) bestimmt werden, genau mit den nach Gleichung (14) berechneten Werten überein, was auch aus Abb. 2 hervorgeht.

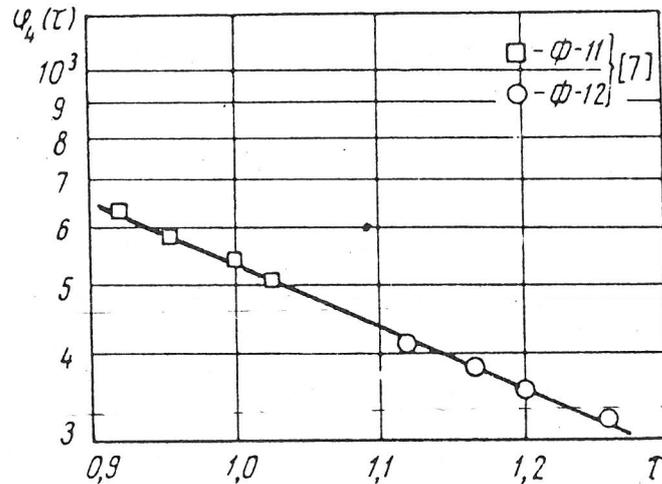


Abb. 2. Abhängigkeit $\varphi_4(\tau)$ von τ .

Wir gehen zum Sieden über. Bei voll ausgebildetem Blasensieden in einem großen Behälter ist die Wärmestromdichte q der wichtigste Betriebsfaktor. Bekanntlich bleibt die Größe $\frac{\alpha}{q^n}$ bei jeder Substanz bei der Siedetemperatur $T_0 = \text{const}$ ebenfalls konstant. Mit sinkendem T_0 nimmt sie ab, da das Sieden aufgrund der geringen Anzahl aktiver Blasenkeime weniger intensiv abläuft (am Beispiel eines einzelnen Rohres).

Nach Gleichung (9) ist

$$\frac{\alpha}{q^n} \left(\frac{1^\circ}{T_s} \right)^x = \varphi_5(\tau). \quad (15)$$

Zur Überprüfung wurden die existierenden experimentellen Arbeiten an einzelnen glatten Kupfer- und Stahlrohren (Nirosta) mit industriell üblichem Reinheitsgrad (bei Kupferrohren $n = 0,775$ nach Arbeit /8/ und bei Stahlrohren $n = 0,75$ nach den Arbeiten /9 - 11/) benutzt.

Die Werte von x sind:

- 0,89 für die Gruppe $C[F, Cl]_4$ und Freon-502 (Me- und Gu-Werte entsprechen annähernd dieser Gruppe);
- 0,88 für die Gruppe $CH[F, Cl]_3$;
- 0,84 für die Gruppen $C_2[F, Cl]_6$ und $CH_3[F, Cl]_3$;
- 0,79 für Freon-C 318. Die gute Übereinstimmung der x -Werte bei den Gruppen $C[F, Cl]_4$ und $CH[F, Cl]_3$ beweist die dominante Rolle von Gu. Da die Gu-Werte bei Freon-C 318 und $C_3[F, Cl]_8$ übereinstimmen (0,685), kann man für alle Verbindungen von $C_m[F, Cl]_{2m+2}$ an Stahlrohren

$$x = 0,05 m - 0,94, \quad (16)$$

annehmen, wobei x für die Gerade

$$\lg[\varphi_5(\tau)] = 1,9969 \tau - 0,0146 \quad (16a)$$

bestimmt ist.

Aus der Tabelle geht hervor, daß die durchschnittliche Streuung der Versuchspunkte insgesamt nur $\pm 5\%$ beträgt (maximal etwa 10%). Somit bestätigt sich, daß man Gleichung (15) nicht nur auf diese einzelne, sondern auf alle Kältemittelgruppen anwenden kann.

Man kann auch Gleichung

$$\frac{\alpha}{q^n} \mu^y = \varphi_6(\tau) \quad (17)$$

verwenden.

Nach den neuesten Versuchsangaben, die mittels mathematischer Statistik gewonnen wurden, gilt beim Sieden von Kältemitteln in horizontalen Rohren entsprechend der Arbeit /12/ die Gleichung

$$\alpha = q^{0,6} \cdot \frac{G^{0,2}}{d^{0,6}} \cdot f(u), \quad (18)$$

mit G Massenstrom;

$f(u)$ Funktion der Temperatur und der individuellen Eigenschaften eines jeden Kältemittels ohne Feststellung seiner Gesetzmäßigkeit.

Kälte- mittel	τ	$\frac{\alpha'}{q^n}$	$\varphi_s(\tau)$	
			nach Gl. (16a)	nach Gl. (15)
Freon-12 [9]	1,040	0,85	115	112
	1,205	1,90	246	250
	1,455	5,80	778	771
Freon-22 [9]	1,176	1,78	216	210
	1,262	2,70	320	317
	1,434	6,20	706	729
Freon-112 [11]	1,074	1,072	135	152
	1,148	1,200	190	170
Freon-113 [11]	1,147	1,55	189	197
	1,206	1,786	248	228
Freon-142 [9]	0,997	0,93	96	101
	1,035	1,00	113	109
	1,110	1,35	161	147
Freon-502 [8]	1,134	1,64	180	200
	1,268	2,86	330	360
Freon-C318 [10]	1,00	1,15	96	92
	1,135	2,31	180	183
	1,325	5,92	427	467

Ausgehend von Gleichung (9) erhalten wir bei den gleichen Abmessungen (Rohrdurchmesser 6 - 14 mm) und dem gleichen Massenstrom G (Abb. 3)

$$\frac{\alpha}{q^n} = \frac{\alpha}{q^{0,6}} = \varphi_7(\tau), \quad (19)$$

d.h. $X = 0$ oder $y = 0$.

1) Die Werte wurden annähernd zur Oberflächenrauigkeit des Rohres $h = 1 \mu$ vereinheitlicht (Wärmeübergang proportional zu $h^{0,2}$ /10/).

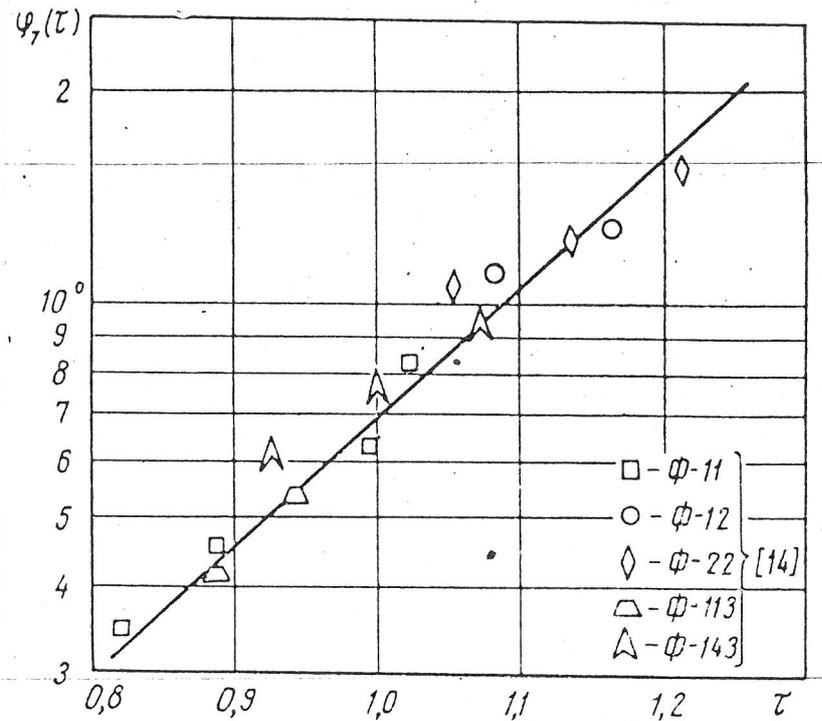


Abb. 3. Abhängigkeit $\varphi_7(\tau)$ von τ .

Zum Schluß sei bemerkt, daß $\bar{\alpha}$ beim Sieden in Rohrbündeln mit steigender Temperatur zunimmt, wohingegen die Turbulenzwirkung des Dampfes aufgrund seines geringeren Volumens abnimmt /13, 14/. Bei relativ gleichen Werten von q wird $\bar{\alpha}$ in allen Kältemittelgruppen durch das spezifische Volumen des gesättigten Trockendampfes bestimmt, wobei aus Arbeit /14/ folgt, daß bei gleichen Werten von

$$v'' = f\left(\frac{T_s}{\mu}\right) = \psi_2\left(\frac{1^\circ}{T_s}\right). \quad (20)$$

Danach ist

$$\frac{\varepsilon \alpha}{q^n} \cdot \left(\frac{1^\circ}{T_s}\right)^x \cdot \left(\frac{1^\circ}{T_s}\right)^{-x_0} = \frac{\varepsilon \alpha}{q^n} \left(\frac{1^\circ}{T_s}\right)^{\Delta x = x - x_0} = \text{const} \quad (21)$$

oder

$$\frac{\bar{\alpha}}{q^n} \cdot \left(\frac{1^\circ}{T_s}\right)^{\Delta x} = \varphi_8(\tau). \quad (22)$$

Folglich muß in Gleichung (16) anstelle von x unbedingt Δx eingesetzt werden (unter Abzug von $-x_0$ auf der rechten Seite).

Schlußfolgerungen

Ausgehend von der Molekulartheorie der Flüssigkeiten und Gase, angewandt auf die Wärmeübertragungsvorgänge, und unter Heranziehung der thermodynamischen Ähnlichkeit wurden ganz einfache Kriterien in Form von Gleichungen zur Berechnung der Wärmeübergangskoeffizienten beim Kondensieren und Sieden von Kältemitteln vorgestellt.

Die Gleichungen ermöglichen:

- Verallgemeinerung des Wärmeübergangs auf rationaler physikalischer Grundlage;
- Klassifikation der Kältemittelgruppen nach ihrer thermophysikalischen Ähnlichkeit;
- Ausdehnung der Gesetzmäßigkeiten auf ganze Kältemittelgruppen anstelle einer Kombination von Abhängigkeiten, die mit empirischen Relationen überladen sind;
- Bestimmung der Wärmeübergangskoeffizienten von noch nicht untersuchten Substanzen nach den Versuchswerten der Normalsubstanzen;
- Sicherstellung einer gemeinsamen Korrektur der Versuchsangaben mit Auswahl der zuverlässigsten Werte.

Die ermittelten Daten zur Berechnung der Wärmeübergangskoeffizienten beim Kondensieren und Sieden im gewählten Siedetemperaturbereich ($\tau = 0,85 - 1,3$; bei Kältemitteln mit höherem oder niedrigerem Druck ist $\tau = 0,9 - 1,1$) sind von wichtiger Bedeutung für die Praxis.

Die gute Übereinstimmung zwischen den vorhandenen zuverlässigsten Versuchsdaten und den theoretisch ermittelten Werten beweist, daß es möglich ist, die vorgeschlagenen Gleichungen für die Verbindungen $C_m[F,Cl]_{2m+2}$ näherungsweise zu benutzen.

Zur weiteren Entwicklung der theoretischen Verallgemeinerungen ist es notwendig, in großem Umfang Versuche an den Normalsubstanzen durchzuführen.

Literatur¹⁾

1. Новиков И. И. Вопросы теплоотдачи и гидравлики двухфазных сред. Госэнергоиздат, 1961.
Novikov, I. I.
Voprosy teplootdači i gidravliki dvuchfaznych sred.
Moskva: Energetičeskaja literatura, 1961.
/Fragen des Wärmeübergangs und der Hydraulik von 2-Phasensystemen; russ. - nicht zu ermitteln/
2. Боришанский В. М. Учет влияния физических свойств в явлениях тепло- и массопереноса. «Холодильная техника», 1967, № 7.
Borišanskij, V.M.: Učet vlijanija fizičeskich svojstv v javlenijach teplo- i massoperenosa.
In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 44 (1967), Nr 7.
Engl. Übers.: The account for the effect of physical properties in heat- and mass-transfer phenomena.
In: International journal of heat and mass transfer. Oxford, 10 (1967), Nr 8, S. 1089 - 1093.
3. Бадылькес И. С. Рабочие вещества и процессы холодильных машин. Госторгиздат, 1962.
Badyl'kes, I. S.
Rabočie veščestva i processy cholodil'nych mašin.
Moskva: Torgovaja literatura, 1962, 280 Seiten.
/Working substances and refrigerating-machine processes; russ./
4. Бадылькес И. С. Новые закономерности термодинамических свойств фреонов. «Холодильная техника», 1967, № 12.
Badyl'kes, I.S.: Novye zakonomernosti termodinamičeskich svojstv freonov.
In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 44 (1967), Nr 12, S. 22 - 27.
Franz. Übers.: New regularities in thermodynamic properties of freons. - Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, Nr 68-J/R-4567.
5. Бадылькес И. С. Распространение теории термодинамического подобия на тепловые и гидравлические процессы в аппаратах холодильных машин. «Холодильная техника», 1967, № 8.

1) vom Übers. überarbeitet.

- Badyl'kes, I.S.: Rasprostranenie teorii termodinamičeskogo podobija na teplovye i gidravličeskie processy v apparatach cholodil'nyh mašin.
In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 44 (1967), Nr 8, S. 20 bis 25.
Auch in: Trudy. Vsesojuznaja naučno-techničeskaja konferencija po termodinamike. Sbornik dokladov sekcii "Novye teploénergetičeskie i cholodil'nye sistemy i cikly". Lenin-grad, 1969, S. 263 - 270.
/Spread of the theory of thermodynamic similarity to thermal processes in refrigeration apparatus; russ./
6. Handbuch der Kältetechnik. Hrsg.v. Rudolf Plank.
Bd 8: Hausen, H.: Erzeugung sehr tiefer Temperaturen.
Berlin usw.: Springer, 1959.
7. «Холодильная техника». Энциклопедический справочник, кн. 1. Госторгиздат, 1960.
Cholodil'naja tehnika. Enciklopedičeskij spravočnik.
Moskva: Torgovaja literatura, 1960, Bd 1.
/Kältetechnik. Handwörterbuch; russ. - nicht zu ermitteln/
8. Горенфло Д. Доклад 2.41 в комиссии 2 на XII Международном конгрессе в Мадриде, 1967.
Gorenflo, D. - Doklad 2.41 v komissii 2 na 12 Meždunarodnom kongresse, Madrid 1967.
/Konferenzbericht - nicht zu ermitteln, dafür:
Zur Druckabhängigkeit des Wärmeübergangs an siedende Kältemittel bei freier Konvektion.
In: Chemie-Ingenieur-Technik. Berlin, 40 (1968), Nr 15, S. 757 - 762./
9. Данилова Г. Н. Влияние давления и температуры насыщения на теплообмен при кипении фреонов. «Холодильная техника», 1965, № 2.
Danilova, G.N.: Vlijanie davlenija i temperatury nasyščenija na teploobmen pri kipenii freonov.
In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 42 (1965), Nr 2, S. 36 bis 42.
Dt. Übers.: Der Einfluß von Sättigungsdruck und -temperatur auf den Wärmeübergang beim Sieden der Freone. - Übersetzung Nr Ü-5762 der Übersetzungsstelle der TIB Hannover, 16 Seiten.
10. Данилова Г. Н., Куприянова А. В. Коэффициенты теплоотдачи при кипении фреонов-С318 и 21 на горизонтальной трубке. «Холодильная техника», 1967, № 11.
Danilova, G.N., Kuprijanova, A.V.: Koéfficienty teplootdači pri kipenii freonov C 318 i 21 na gorizontal'noj trubke.
In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 44 (1967), Nr 11, S. 15 - 21.
Dt. Übers.: Wärmeübergang beim Sieden von Freon C-313 und 21 an einem horizontalen Rohr. - Übersetzung Nr 254 der Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek Stuttgart, 14 Seiten.

11. Ратиани Г. В., Авалиани Д. И. Теплообмен и критические тепловые нагрузки при кипении фреонов. «Холодильная техника», 1965, № 3.
Ratiani, G.V., Avaliani, D.I.: Теплообмен и критические тепловые нагрузки при кипении фреонов.
In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 42 (1965), Nr 3, S. 23 bis 28.
Dt. Übers.: Wärmeübergang und kritische Wärmestromdichten beim Sieden von Kältemitteln. - Übersetzung Nr 252 der Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek Stuttgart, 10 Seiten.
12. Богданов С. Н. Определение коэффициентов теплоотдачи при кипении фреонов внутри горизонтальных труб. «Холодильная техника», 1966, № 10.
Bogdanov, S.N.: Opredelenie koéfficientov teplootdači pri kipenii freonov vnutri gorizontaľnych trub.
In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 43 (1966), Nr 10, S. 33 - 35.
Dt. Übers.: Determination of heat transfer during boiling of freons in horizontal tubes. - Übersetzungsstelle der TIB Hannover, Nr Ü 800/3532.
13. Гоголин А. А. Отчет ВНИИ № 244, 1939.
Gogolin, A.A. - Otčet. Vsesojuznyj naučno-issledovatel'skij cholodil'nyj institut. Moskva, Nr 244 (1939).
/Berichte; russ. - nicht zu ermitteln/
14. Schwind, Hermann
Messungen des Wärmeübergangs an verdampfendes Ammoniak.
Karlsruhe: Müller, 1952, 57 Seiten.
(Abhandlungen des deutschen kältetechnischen Vereins. 6)

Stuttgart, den 10. Februar 1987

übersetzt von

Ottmar Pertschi
(Ottmar Pertschi)
Dipl.-Übersetzer