

Badyl'kes, I. S. (Dr.d.techn.Wiss., Professor)

WÄRMEÜBERGANG BEIM BEHÄLTERSIEDEN VON KÄLTEMITTELN

Deutsche Vollübersetzung aus:

Cholodil'naja tehnika. Moskva, 45 (1968), Nr 4, S. 42 - 43.

Russ.: Теплообмен при кипении фреонов в большом объеме

Teploobmen pri kipenii freonov v bol'som ob'eme

Boiling of
 Freons in tubes is described by the equation $(\alpha/q^n)T_s^{-x} = \varphi(\tau)$,
 where α is the heat-transfer coeff. of the tubes, T_s the b.p. at 1
 atm., T_0 the temp. at pressure p , x a const. for Freon or group of
 similar Freons, $\log [\varphi(\tau)] = 2\tau$; τ was put equal to T_0 ; α/q^n is
 the heat-transfer parameter to be calcd., in which n depends on
 the geometry and material of tubes. K. Dusek

Nach /1/ ist der komplizierte Mechanismus des Blasensiedens von Kältemitteln in einem großen Behälter durch die höchst einfache theoretische Gleichung

$$\frac{\alpha}{q^n} \left(\frac{1}{T_s} \right)^x = \varphi(\tau), \quad (1)$$

gekennzeichnet, wobei

$$\lg [\varphi(\tau)] = b\tau - a. \quad (2)$$

Hierbei ist:

- α Wärmeübergangskoeffizient für ein Einzelrohr;
- $\frac{\alpha}{q^n}$ gesuchter Betriebswert;
- T_s normale Siedetemperatur (760 mm Quecksilbersäule);

$$\tau = \frac{T_0}{T_s};$$

- T_0 Verdampfungstemperatur, °K;
 x Exponent, der gleich ist für einen gegebenen Stoff oder eine Stoffgruppe (s.u.);
 a und b charakteristische Konstanten, die man - im Unterschied zu /1/ - zur Vereinfachung der Berechnungen für glatte Rohre zweckmäßigerweise gleich 0 und 2 annimmt.

Dann gilt:

$$\lg [\varphi(\tau)] = 2\tau. \quad (3)$$

Für irgendeinen einzelnen Stoff können die Werte von τ durch die Werte von T_0 ersetzt werden und, da x konstant sein soll, gilt:

$$\lg \frac{a}{q^n} = f_1(T_0) = f_2(p), \quad (4)$$

wobei p der der Temperatur T_0 entsprechende Druck ist.

Die ermittelte Gleichung ist die theoretische Begründung für die empirisch festgestellte Abhängigkeit, die zur Bewertung der Genauigkeit der Versuchsdaten und ihrer Auswertung dient. Überdies kann Gleichung (3) zur mathematischen Bestimmung des gesuchten Betriebsparameters $\frac{a}{q^n}$ für jeden beliebigen Stoff einer jeweiligen homologen Gruppe von Fluor-Chlor-Substituten benutzt werden, wenn nur der Wert des Exponenten x des Eichpräparats der Gruppe, in die der betrachtete Stoff eingeordnet werden muß, bekannt ist. Es ist ganz offensichtlich, daß das Berechnungsergebnis um so exakter wird, je größer bei der Auswahl die Ähnlichkeit der verwandten Gruppen ist. Wenn man jedoch einen Fehler vorgibt, der in der Praxis zulässig ist, kann man die Gruppen erweitern und die gleichen Werte von x für jede der in der Kältetechnik angewandte Verbindung $C_m H_n [F, Cl]_{2m+2-n}$ bei $m = \text{const}$, $F > 0$ und $n = 0 - 3$ annehmen. Der Wert des Exponenten x läßt sich dabei leicht bestimmen, da nach Gleichung (3) die Gerade $\varphi(\tau)$ in halb-logarithmischer Darstellung der geometrische Ort aller seiner möglichen Werte ist (alle Berechnungen wurden nach dem Internationalen Einheitssystem SI durchgeführt).

Unter Anwendung der vorliegenden Versuchsangaben wurden zur Vereinheitlichung folgende Annahmen gemacht:

- Rohre ohne besondere Behandlung (aus der normalen Industrieproduktion);
- Oberflächenrauigkeit des Rohres $R_z = 1 \mu\text{m}$, wobei in Übereinstimmung mit der Gleichung nach den Arbeiten /2/ und /3/

$$\left[\frac{\alpha}{q^2} \right]_{R_z=1 \mu\text{m}} = \frac{\alpha}{q^n R_z^{0,2}}; \quad (5)$$

- die Werte von n : 0,75 für ein Stahlrohr aus nichtrostendem Stahl; 0,775 für ein Kupferrohr (durch Nachrechnung bezogen auf ein Stahlrohr und einen einheitlichen Wert von x).

Durch Lösung der Gleichungen (1) und (3) wurden die Werte von x ermittelt: -0,9 für $m = 1$; -0,86 für $m = 2$; -0,795 für die zyklische Gruppe (Freon C318). Ausgehend davon, daß Freon C318 thermodynamisch der Gruppe $C_3[F, Cl]_8$ ähnlich ist, war es möglich, die Werte von x für homologe Gruppen gesättigter Kohlenwasserstoffe ($m = 1 - 4$) zu verallgemeinern:

$$x = 0,0125m^2 + 0,0025m - 0,915. \quad (6)$$

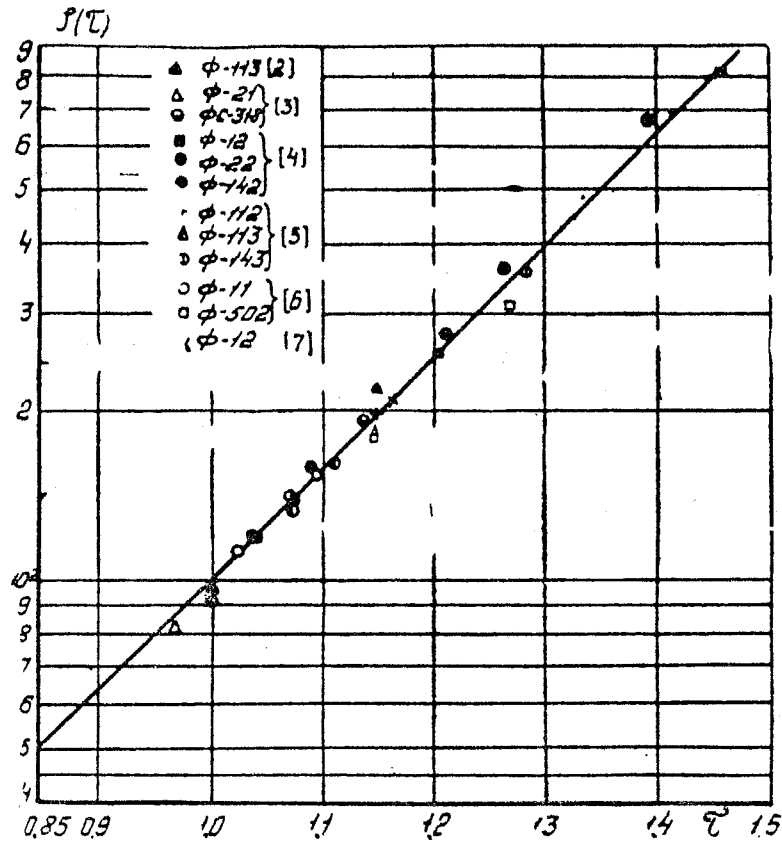
In Anbetracht der Tatsache, daß in einigen Fällen Versuchsdaten über die Oberflächenrauigkeit fehlen, mußten die Werte

für $R_z = 1 \mu\text{m}$ indirekt bestimmt werden: in der Arbeit /4/ nach /3/, in der Arbeit /5/ nach /4/, in der Arbeit /6/ ausgehend von der Zugehörigkeit von Freon 11 zu einer Gruppe mit der Ordnungszahl von Kohlenstoff $m = 1$ und von Freon 502 als thermodynamisch Freon 12 ähnlichem Kältemittel.

Aus der Abbildung ist ersichtlich, daß alle Werte von $[\varphi(\tau)]_{R_z=1}$ nach Gleichung (3), d.h. die auf der Geraden gelegenen Werte, den vereinheitlichten Versuchswerten nach Gleichung (1) sehr ähnlich sind, wobei die mittlere Abweichung nicht über $\pm 5\%$ liegt (maximal 10%).

Die Gleichungen (1) und (2) gelten für ein Rohr mit beliebiger geometrischer Form. Bei zunehmendem Wärmeübergang (z.B. an einem berippten Rohr /6/) müssen die Werte von x größer werden. Beim Sieden an Rohrbündeln, insbesondere bei sehr dichter

Anordnung, kann eine starke Wirbelwirkung des Dampfes bei niedrigen τ so den Wert von x vergrößern, daß nach Gleichung (2) mit steigender Siedetemperatur die Werte $\lg \frac{\alpha}{q^n}$ abnehmen /1/.



Abhängigkeit $\varphi(\tau)$ von τ bei $R_z = 1 \text{ mm}$

Abschließend möchten wir darauf hinweisen, daß im Vergleich mit der Arbeit /1/ die Versuchsdaten in einem weiteren Rahmen benutzt wurden, daß aber auch die Ungenauigkeiten in der Tabelle der Vergleichsberechnungen beseitigt wurden.

Union-Forschungsinstitut
der Kälteindustrie

L i t e r a t u r

1. Бадылькес И. С. Теплообмен при конденсации и кипении фреонов. «Холодильная техника», 1968, № 2.

Badyl'kes, I.S.: Teploobmen pri kondensacii i kipenii freonov. In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 45 (1968), Nr 2, S. 22 bis 26.

Wärmeaustausch beim Kondensieren und Sieden von Kältemitteln. - Übersetzung Nr Ü/300 der Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek Stuttgart, 14 Seiten.

2. Данилова Г. Н., Бельский В. К. Исследование теплоотдачи при кипении фреонов-113 и 12 на трубках различной шероховатости. «Холодильная техника», 1965, № 4.

Danilova, G.N., Bel'skij, V.K.: Issledovanie teplootdači pri kipenii freonov-113 i 12 na trubkach različnoj šerochovatosti. In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 42 (1965), Nr 4, S. 24 bis 28.

Untersuchung des Wärmeübergangs beim Sieden von Freon 113 und 12 an Rohren mit unterschiedlicher Rauigkeit. - Übersetzung Nr Ü/253 der Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek Stuttgart, 11 Seiten.

3. Данилова Г. Н., Куприянова А. В. Коэффициенты теплоотдачи при кипении фреонов-С318 и 21 на горизонтальной трубке. «Холодильная техника», 1967, № III.

Danilova, G.N., Kuprijanova, A.V.: Koéfficienty teplootdači pri kipenii freonov-С318 i 21 na gorizontal'noj trube. In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 44 (1967), Nr 11, S. 15 bis 21.

Wärmeübergang beim Sieden von Freon C-318 und 21 an einem horizontalen Rohr. - Übersetzung Nr Ü/254 der Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek Stuttgart, 14 Seiten.

4. Данилова Г. Н. Влияние давления и температуры насыщения на теплообмен при кипении фреонов. «Холодильная техника», 1965, № 2.

Danilova, G.N.: Vlijanie davlenija i temperatury nasyšćenija na teploobmen pri kipenii freonov.

In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 42 (1965), Nr 2, S. 36 bis 42.

Der Einfluß von Sättigungsdruck und -temperatur auf den Wärmeübergang beim Sieden der Freone. - Übersetzung Nr Ü-5762 der Übersetzungsstelle der TIB Hannover, 16 Seiten.

5. Ратиани Г. В., Авалиани Д. И. Теплообмен и критические тепловые нагрузки при кипении фреонов. «Холодильная техника», 1965, № 3.

Ratiani, G.V., Avaliani, D.I.: Teploobmen i kritičeskie teplovyje nagruzki pri kipenii freonov.

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

Wärmeübergang und kritische Wärmestromdichten beim Sieden von Kältemitteln. - Übersetzung Nr Ü/252 der Übersetzungsstelle der Universitätsbibliothek Stuttgart, 10 Seiten.

6. Горенфло Д. Доклад на 2-й комиссии XII Международного конгресса по холоду. Мадрид, 1967.

Gorenflo, D. - Doklad 2.41 v komisii 2 na 12 Meždunarodnom kongresse po cholodu, 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./

7. Поволоцкая Н. М. Исследование процесса теплообмена при кипении фреона-12. «Холодильная техника», 1965, № 3.

Povolockaja, N.M.: Issledovanie processa teploobmena pri kipenii freona-12.

In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 42 (1965), Nr 3, S. 28 bis 32.

(Investigation of the process of heat transfer during the boiling of Freon-12; russ. - CA 64:313a)

Stuttgart, den 16. April 1987

übersetzt von

Dipl.-Übersetzerin
Monika Wagenknecht

überarbeitet von

Ottmar Pertschi
(Ottmar Pertschi)
Dipl.-Übersetzer