

2/171

Danilova, G.N. (Prof. Dr. d. techn. Wiss.),

Maljugin, G.I.,

Malkov, L.S. (Kand. d. techn. Wiss.)

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG DES WÄRMEÜBERGANGS BEIM SIEDEN VON
AMMONIAK IN VERTIKALEN RINGSPALTEN

Übersetzung aus:

Cholodil'naja tehnika. Moskva, 52 (1975), Nr 9, S. 32 - 37.

Russ.: Экспериментальное исследование теплообмена при кипении аммиака
в вертикальных кольцевых каналах

Eksperimental'noe issledovanie teploobmena pri kipenii ammiaka
v vertikal'nykh kol'cevych kanalach

In einigen Industriebereichen, die mit künstlicher Kälte arbeiten, werden Wärmetauscher verwendet, in denen das Ammoniak innerhalb vertikaler Kanäle verdampft. Dazu gehören die Desublimatoren von Sublimationstrockenanlagen für Nahrungsmittel, die Eiserzeuger von Rohr- und Schuppeneis, Plattenverdampfer u.a. Gewöhnlich wird die Wärmeübergangsfläche bei diesen Apparaten in Form von vertikalen Rohren oder Kanälen anderer Form mit dem äquivalenten Durchmesser $d_{\text{äqu}} = 20 - 50$ mm ausgeführt. Die Intensität des Wärmetauschs beim Sieden in solchen Kanälen ist mit dem Behältersieden vergleichbar und bei niedrigen Werten von q und t_0 nicht groß [1 - 4].

Die in der Literatur vorfindbaren Angaben zeigen, daß die Wärmeübergangskoeffizienten wesentlich gesteigert werden können, wenn vertikale Kanäle mit wesentlich geringerem Wert $d_{\text{äqu}}$ verwendet werden, diese sind mit den Abreißdurchmessern der Dampfblasen vergleichbar. In der Arbeit [1] wurde die intensivierende Wirkung eines Rohrspalts auf den Wärmetausch von siedendem Wasser, 10%iger

Lösung NaCl und von Äthylalkohol aufgezeigt; in Arbeit [2] von siedendem Wasser; in Arbeit [3] von Wasser, 10%iger Lösung NaCl und Äthylalkohol; in Arbeit [4] von Freon 12 und 22.

Die vorliegende Untersuchung befaßt sich mit der Verbesserung der oben genannten Apparate durch den Ablauf des Siedens von Ammoniak in vertikalen Ringrohrspalten.

Die für diesen Zweck vorgesehene Versuchsanlage (Abb. 1) stellt einen geschlossenen Kreislauf mit natürlicher Zirkulation des Ammoniaks dar: er umfaßt das untersuchte Element (den Verdampfer), den Kondensatorthermostat, Meßbehälter und die Verbindungsleitungen. Der Versuchsverdampfer ist als vertikales Rohr mit 45 x 2 mm (Durchmesser x Wandstärke) und 1 500 mm Höhe ausgeführt; in das Rohr wurden zylindrische Einsätze mit unterschiedlichem Durchmesser eingebaut, durch die die Bildung der Ringkanäle der benötigten Spaltbreite gewährleistet sein soll. Die Wärmebelastung im Versuchskanal wurde durch elektrische Heizung an der Außenfläche des äußeren Rohres erzeugt. Die Höhe des beheizten Abschnitts betrug 1 400 mm.

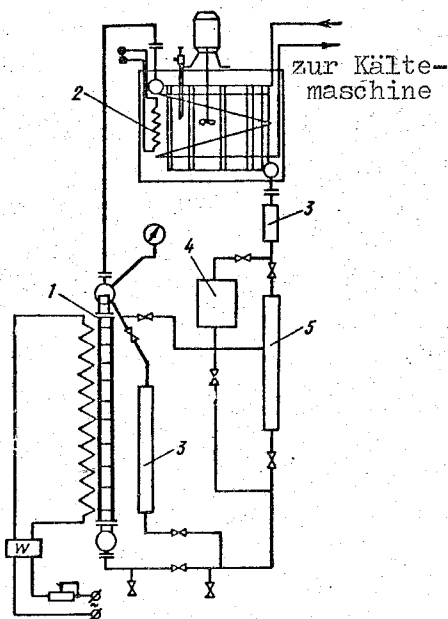


Abbildung 1. Schematische Darstellung der Versuchsanlage

1 - Versuchsverdampfer; 2 - Kondensatorthermostat; 3 - Meßbehälter; 4 - Reservebehälter; 5 - Gefäß zur Kontrolle des Flüssigkeitsstands.

Der Versuchskreislauf war mit technisch reinem Ammoniak gefüllt. Durch den Reservebehälter war der anfängliche Füllstand des untersuchten Kanals mit flüssigem Kältemittel zu verändern.

Die Wandtemperatur des untersuchten Elements wurde mit Kupfer-Konstanten-Thermoelementen (34 Stück) in zehn Höhenquerschnitten und einigen Punkten des Umfangs gemessen. Die Thermoelemente waren aus 0,19 mm starkem Draht gefertigt. Die Lötstellen der Thermoelemente wurden an den Boden von 35 mm langen, 0,8 mm tiefen und 0,8 mm breiten Nuten angelötet; die Nuten waren längs der Rohrachse an der Außenseite eingefräst. Die Schenkel der Thermoelemente in der Nute wurden mit Zahnzement "Erkodont" isoliert. Die elektromotorische Kraft der Thermoelemente wurde mit dem Potentiometer P-306 und dem Galvanometer M 195/1 bestimmt, die Leistung der Heizung mit dem Wattmeter D-166 der Klasse 0,2, die Wärmeverluste der Heizung an die Umgebung durch eine zusätzliche Isolierschicht vermindert. Die maximalen Wärmeverluste lagen nicht über 1,5 %. Siedetemperaturkonstanz wurde mit Hilfe eines Thermostats erreicht, der von den zwei Kältemaschinen FB-6 und IF-49 versorgt wurde.

Bei der Durchführung der Untersuchung bestand die Aufgabe darin aufzuzeigen, welchen Einfluß die folgenden Größen auf den Wärmetausch haben: die Spaltbreite des Ringkanals δ , die Wärmestromdichte q , die Siedetemperatur t_0 , der anfängliche Füllstand des Kanals mit Flüssigkeit h_a . Dementsprechend wurden zwei Versuchsserien durchgeführt; deren Bedingungen sind in der Tabelle angegeben. In allen Versuchen gelangte unterkühlte Flüssigkeit in den untersuchten Verdampfer. Der Unterkühlungsgrad hing von den Bedingungen der Versuchsdurchführung ab; er betrug 0,1 - 1 °C.

Ver- suchs- serie	Spalt- breite δ , mm	Anfängl. Füllst. h_a	Wärme- strom- dichte q , W/m ²	Siede- temp. t_0 , °C
I	1,5; 3,5; 5,5;	H	500—14 000	-30÷20
II	1,5	$h_{a1} = 0,5H$; $h_{a2} = 0,7H$	500—10 000	-30

Die Größe h_{opt} entsprach dem anfänglichen Füllstand des Kanals mit Flüssigkeit; dabei waren die Wärmeübergangskoeffizienten maximal.

Durch die Thermoelemente über die ganze Höhe des Kanals und durch gleichmäßige elektrische Beheizung konnte man nicht nur die durchschnittlichen Wärmeübergangskoeffizienten für den Kanal $\bar{\alpha}$ bestimmen, sondern auch die lokalen $\alpha_l = f\left(\frac{l}{H}\right)$ (l - Abstand vom unteren Querschnitt).

In Abb. 2 sind die Versuchsergebnisse für die durchschnittlichen Wärmeübergangskoeffizienten bei $h_a = H$ dargestellt. Bei ihrer Auswertung zeigt sich, daß $\bar{\alpha}$ bei sonst gleichen Bedingungen mit abnehmender Spaltbreite (im untersuchten Bereich) zunimmt. Der Grad des Einflusses von q auf $\bar{\alpha}$ hängt von t_0, δ und der Größe der Wärmestromdichte ab. Der unterschiedliche Einflußgrad von q tritt am allerstärksten bei $t_0 = -30$ und -20 °C für den Kanal mit $\delta = 1,5$ mm zutage. Für jede Siedetemperatur und Kanalbreite gibt es einen Bereich q , wo annähernd $\bar{\alpha} \sim q^{0.5}$ ist (siehe gestrichelte Linie in Abb. 2). In diesem Fall können die Versuchswerte mit der Gleichung

$$\alpha = 5,4 q^{0.5} d_{qu}^{-0.4} (1 + 0,0064 t_0)$$

beschrieben werden.

Mit abnehmendem t_0 steigt der Anfangswert von q an, bei dem dieser Bereich beginnt.

Zur Klärung der Gründe des komplizierten und bei den verschiedenen Bedingungen unterschiedlichen Einflusses der Betriebskennwerte und der Kanalabmessungen auf $\bar{\alpha}$ wurden die lokalen Wärmeübergangscharakteristen untersucht; der Strom des Kältemittels wurde visuell beobachtet.

Letzteres wurde in einer speziellen Versuchsanlage mit Freon 113 als Modellflüssigkeit durchgeführt. Der ringförmige 2 mm breite und 1 m hohe Kanal wurde aus zwei Rohren gebildet, einem inneren,

das beheizt wurde, und einem äußeren aus Glas. Das Sieden ging bei atmosphärischem Druck vonstatten, die Wärmestromdichte wurde von 1 000 bis 7 000 W/m² variiert.

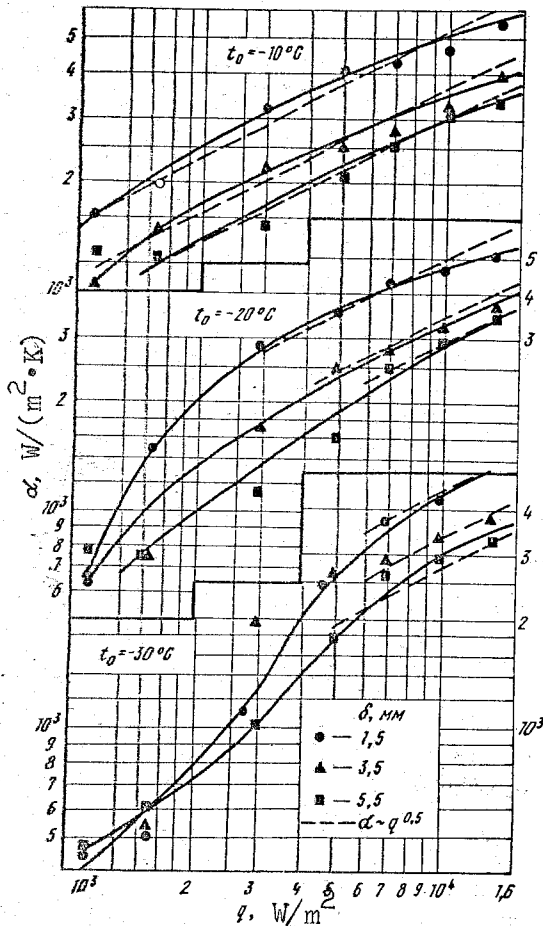


Abbildung 2. Durchschnittliche Wärmeübergangskoeffizienten beim Sieden von Ammoniak in Kanälen verschiedener Breite bei $h_a = H$.

Durch einen Vergleich der Meßergebnisse von α_1 mit dem physikalischen Bild des Vorgangs konnte ein Zusammenhang zwischen dem Strömungsbild einerseits und der Art der Veränderung von α_1 über die gesamte Rohrhöhe andererseits festgestellt werden. Diese Ergebnisse werden im Folgenden kurz geschildert.

Im (unteren) Anfangsabschnitt des Rohres wurde die unterkühlte Flüssigkeit in der Wandschicht erwärmt. Hier liegt ein Einphasenstrom vor; die Wärmeübergangskoeffizienten nehmen über die Rohrhöhe etwas ab, was man durch die zunehmende Dicke der laminaren Grenzschicht

an der Wärmeübergangsfläche erklären kann. In den verschiedenen Höhenabschnitten des Rohres herrscht desweiteren (in Abhängigkeit von den Größen q und t_0) Blasen-, Propfen- oder Schaumströmung des Zweiphasenstromes vor (nach der Terminologie von Arbeit [5]).

Bei Blasenströmung bewegte sich der Dampf in Form von einzelnen Blasen, die über den ganzen Kanalquerschnitt verteilt waren und schwingende Querverschiebungen vollzogen. Die Anzahl der Blasen nahm über die Kanalhöhe zu; gleichzeitig nahm der Wärmeübergangskoeffizient α_l zu. Bei kleinen Werten von q existierte dieser Zustand im größeren Teil des Kanals, und nur in den obersten Querschnitten wurde ein Verschmelzen der Blasen und die Bildung von großen Dampfvolumen beobachtet, die charakteristisch sind für eine Propfenströmung. Mit zunehmendem q wurde die Länge des Abschnitts, in dem blasenförmiger Zustand beobachtet wurde, kürzer; Propfenströmung herrschte im größeren Teil des Kanals vor. Bei einem solchen Strömungszustand nahm der Wärmeübergangskoeffizient schlagartig in der Höhe zu, was mit der intensiven Dampfbildung an der Phasengrenze zwischen Propfen und Flüssigkeitsschicht, die an die Heizfläche angrenzt, zusammenhängt. Unter bestimmten Bedingungen nahmen die Dampfpropfen eine instabile Form an und wurden zerstört; dabei entstanden Pulsationen und ein Aufschäumen der Strömung (Schaum-Strömung). Zu verschiedenen Kanalhöhen trat in diesem Fall eine Veränderung des Verhältnisses zwischen Flüssigkeits- und Dampfmenge bei unveränderter Strömungsstruktur auf. Die Wärmeübergangskoeffizienten α_l änderten sich bei Schaumströmung unwesentlich in der Höhe; sie waren höher als bei den übrigen Zuständen.

Die oben beschriebenen Zustände, außer dem schäumenden, und ihr Zusammenhang mit der Art der Veränderung der lokalen Wärmeübergangskoeffizienten sind analog zu den in Arbeit [4] ermittelten Werten beim Sieden von Freon 113 in flachen vertikalen Kanälen mit einer Breite von $\delta=0,5\div 4$ mm und den in Arbeit [3] ermittelten beim Sieden von Wasser in Ringkanälen. Es muß jedoch hinzugefügt werden, daß die Form der großen Dampfblasen (Propfen) beim Sieden in flachen und Ringkanälen unterschiedlich ist. Im letzteren Fall

sind die Blasen gekrümmt in der Ebene, die senkrecht ist zur vertikalen Kanalachse (die äußere Fläche der Blase ist größer als die innere), was ihrer Zerstörung und dem Übergang zum schäumenden Zustand förderlich sein muß.

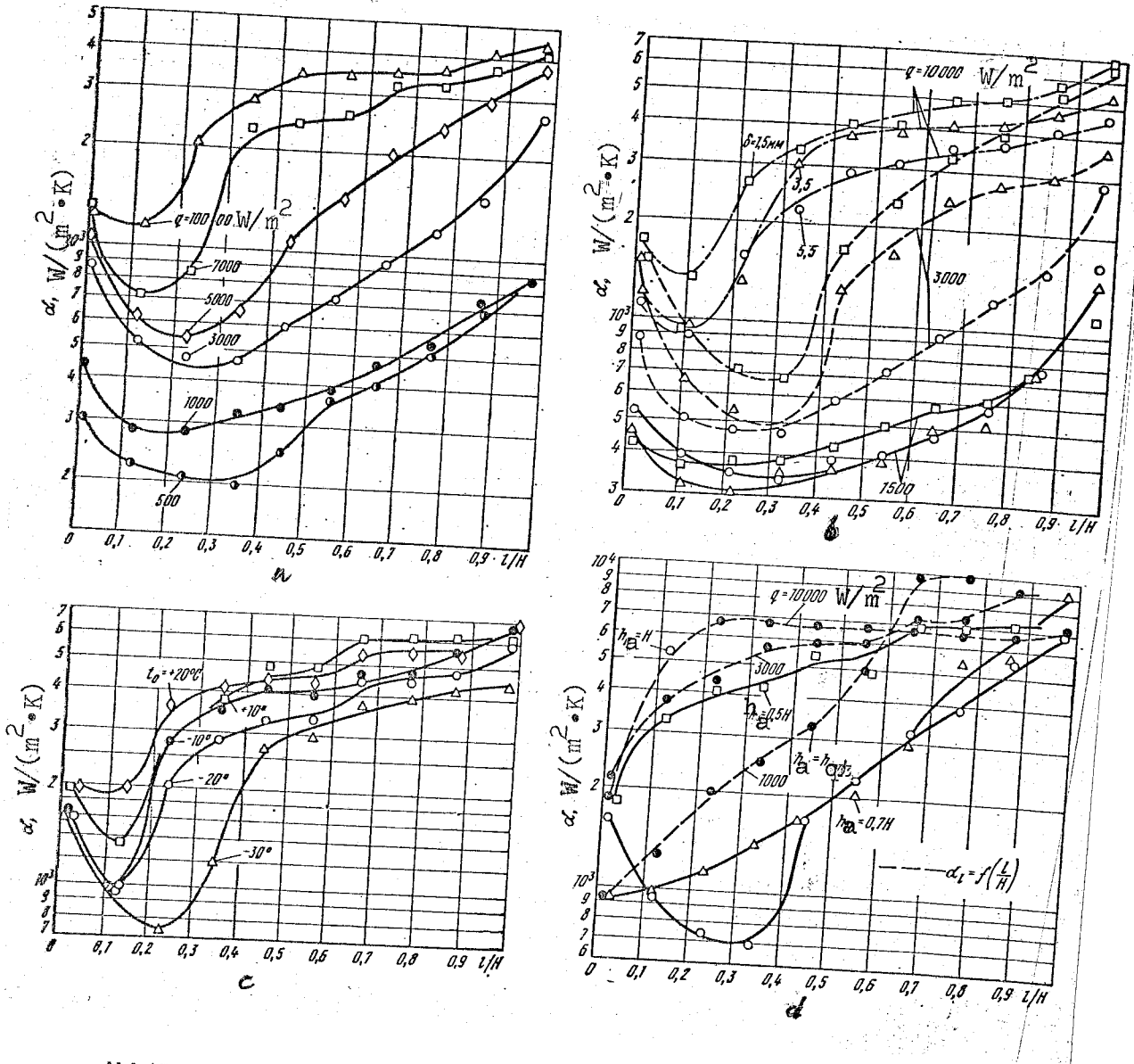


Abbildung 3. Der Einfluß auf die lokalen Wärmeübergangskoeffizienten
 a) des Wärmeflusses bei $h_a = H$, $t_0 = -30^{\circ}\text{C}$, $\delta = 5,5 \text{ mm}$; b) der Siedetemperatur bei $h_a = H$, $q = 5\,000 \text{ W}/\text{m}^2$, $\delta = 1,5 \text{ mm}$; c) der Kanalbreite bei $h_a = H$, $t_0 = -30^{\circ}\text{C}$; d) des Füllstandes bei $t_0 = -30^{\circ}\text{C}$, $\delta = 1,5 \text{ mm}$, $q = 3\,000 \text{ W}/\text{m}^2$.

Die Untersuchung der lokalen Wärmeübergangskoeffizienten beim Sieden von Ammoniak unter den in der Tabelle genannten Bedingungen zeigte, daß die Veränderung der Intensität des Wärmetauschs in Abhängigkeit von q , t_0 , δ und h_a kompliziert ist und eine klare Abgrenzung bezüglich der Strömungsverhältnisse besitzt, womit man die oben genannten Vorstellungen über die Hydrodynamik des Zweiphasenstromes in einem Ringspalt erklären kann.

In den Abb. 3a, b und c sind die Diagramme der lokalen Wärmeübergangskoeffizienten dargestellt, die den Einfluß von q , t_0 und δ auf die Strömungsverhältnisse und den Wärmeübergang bei $h_a = H$ kennzeichnen. Ähnliche Diagramme sind auch in der Arbeit [6] enthalten.

Auf der Grundlage der ermittelten Angaben über α_l kann man zu den folgenden Überlegungen kommen. Für die untersuchten Wärmestromdichten existieren bei $h_a = H$ alle oben genannten Strömungsverhältnisse. Die Ausdehnung der Kanalabschnitte, in denen sich dieser oder jener Zustand entfaltet, hängt beträchtlich von q , t_0 und δ ab. Mit zunehmendem q bei $t_0 = \text{idem}$ und $\delta = \text{idem}$ werden die Erwärmungsabschnitte der Flüssigkeit und des Blasensiedens kürzer. Der Beginn der Blasenströmung verschiebt sich zum Kanaleintritt, die Wärmeübergangskoeffizienten steigen an (siehe Abb. 3a). Analog äußert sich auch die Veränderung von t_0 : bei Zunahme und bei $q = \text{idem}$, $\delta = \text{idem}$ nimmt die Intensität des Wärmeübergangs in den Bereichen der Einphasen- und der Blasenströmung zu; dabei nimmt die Ausdehnung dieser Bereiche ab (siehe Abb. 3b). Beim 3,5 mm breiten Spalt nehmen die Koeffizienten α_l mit abnehmendem t_0 jedoch zu. Eine Verringerung der Spaltbreite bei $q = \text{idem}$ und $t_0 = \text{idem}$ führt zur Verkürzung des Bereichs der Blasenströmung, zu einem Übergangsbereich mit Schaumströmung und zur Zunahme des Wärmeübergangskoeffizienten. Die Ausdehnung des Erwärmungsabschnittes bleibt praktisch unverändert (siehe Abb. 3c).

Wesentlichen Einfluß auf den Strömungszustand und den Wärmetausch hat der anfängliche Füllstand des Kanals mit dem flüssigen Kältemittel. Beim Sinken des Füllstandes nimmt die Re-

zirkulation der Flüssigkeit ab, und folglich auch ihre Strömungsgeschwindigkeit am Kanaleintritt, dies führt dazu, daß günstigere Bedingungen für die Entwicklung des Siedevorgangs in den unteren (anfänglichen) Kanalabschnitten geschaffen werden. In Versuchen mit einem 1,5 mm breiten Kanal und verschiedenen h_a (siehe Tabelle) wurde festgestellt, daß wie auch in Arbeit [4] der optimale Füllstand h_{opt} , bei dem die Wärmeübergangskoeffizienten maximale Werte haben, dem entspricht, daß keine Rezirkulation von Flüssigkeit durch das Überlaufrohr gegeben ist. Jedem Wert q entspricht ein eigener Wert h_{opt} , in Unterordnung unter die Abhängigkeit

$$\frac{h_{opt}}{H} = \frac{11,1 - \ln q}{7,6}$$

wobei $10^3 \leq q \leq 10^4$.

In Abb. 3d sind die charakteristischen Diagramme von $\alpha_l = f\left(\frac{l}{H}\right)$ bei verschiedenen Werten von h_a für den Kanal $\delta=1,5$ mm bei $q = 3\ 000$ W/m² angegeben. Bei optimalem Füllstand fehlen der Erwärmungsabschnitt und der Abschnitt des Blasenfließens praktisch ganz. Hauptzustand ist die Schaumströmung; der Vergleich der Abhängigkeiten $\alpha_l = f\left(\frac{l}{H}\right)$ bei h_{opt} und verschiedenen q zeigte, daß in den oberen Kanalquerschnitten die umgekehrte Abhängigkeit α_l von q gilt.

Diese Erscheinung kann man dadurch erklären, daß sich mit Veränderung von q die Fließgeschwindigkeit der Dampfpropfen verändert; infolgedessen nimmt ihre Verweilzeit an der Wärmeübergangsfläche zu. Dabei kann ein beträchtlicher Teil des dünnen Flüssigkeitsfilmes, der zwischen der Wärmeübergangsfläche und der Dampfphase liegt, bei unwesentlicher Überhitzung verdampfen. Diese Angaben werden in Arbeit [7] bestätigt.

Wie es die Berechnungen für die Bedingungen der genannten Versuche zeigten, wurde diese Erscheinung bei einem Dampfgehalt von $x > 0,5$ und einer Geschwindigkeit des Gemisches von $\omega_{Gem} < 4$ m/s. beobachtet.

Wie aus Abb. 3d ersichtlich ist, entspricht bei $h_a = h_{opt}$ den verschiedenen q eine unterschiedliche Art der Veränderung von α_1 über die Kanalhöhe; dies ist anscheinend durch die ungleichartigen Strömungsverhältnisse, das Verhältnis zwischen Dampfbildungsgeschwindigkeit und relativer Geschwindigkeit der Dampfphase sowie durch eine Reihe anderer, bislang ungeklärter Faktoren bedingt.

Die über die Kanalhöhe durchschnittlichen Wärmeübergangskoeffizienten hängen bei $h_a = h_{opt}$ wenig von q ab, besonders bei $q \geq 3000$ W/m^2 . Folglich wurden die größten Wärmeübergangskoeffizienten beim Sieden von Ammoniak in einem 1,5 mm breiten Kanal bei $h_a = h_{opt}$ erzielt.

Abb. 4 zeigt einen Vergleich der Versuchsergebnisse für $\delta=1,5$ mm bei $h_a = h_{opt}$, $h_a = 0,5 H$, $h_a = 0,7 H$ unter Heranziehung verschiedener Literaturangaben [8 - 11] zum Sieden von Ammoniak mit verschiedenen

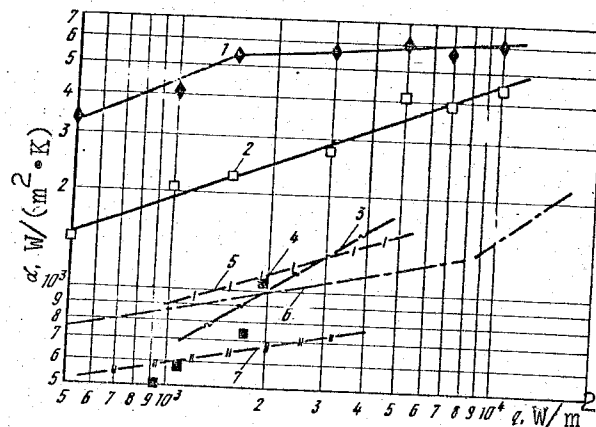


Abbildung 4. Vergleich der durchschnittlichen Wärmeübergangskoeffizienten beim Sieden unter verschiedenen Bedingungen:

- 1 - vertikaler Ringspalt ($\delta = 1,5$ mm, $H = 1400$ mm, $t_o = -30^\circ C$), $h_a = h_{opt}$; 2 - dasselbe bei $h_a = 0,7 H$; 3 - vertikales Rohr ($d = 30,5$ mm; $H = 715$ mm, $t_o = -30^\circ C$ [8]); 4 - horizontaler Mantelrohrverdampfer ($d = 57$ mm, $t_o = -25^\circ C$); 5 - horizontaler Ringspalt ($\delta = 10$ mm, $t_o = -10^\circ C$ [10]); 6 - Einzelrohr ($d = 5$ mm, $t_o = -30^\circ C$ [11]); 7 - horizontaler Kanal mit linsenförmigem Querschnitt ($d_{\text{äqu}} = 10$ mm, $t_o = 8,6^\circ C$ [9]). Nr. 4 nach den Angaben von A. Gogolin.

Bedingungen, die die wesentliche Intensivierung des Vorgangs (um 2,5 - 5 mal) beim Sieden von Ammoniak in vertikalen Ringspalten beweist.

Somit hängen beim Sieden von Ammoniak in vertikalen Spalten mit 1,5 mm Breite und bei $t_0 = -30 - 20$ °C, $q = (1-14)10^3$ W/m² und optimalem Füllstand die durchschnittlichen Wärmeübergangskoeffizienten praktisch nicht von q ab und sind um annähernd das 3 - 5 fache größer als beim Sieden in einem vertikalen Rohr und in einem Mantelrohrverdampfer.

Die Zunahme der Wärmeübergangskoeffizienten in Spalten ist im Vergleich mit den in den normalen Apparaten verwendeten vertikalen Rohren dadurch bedingt, daß in den Kanälen Zweiphasenströmungsverhältnisse geschaffen werden, durch die eine intensive Wärmeabfuhr von der Heizfläche durch den dünnen Film der verdampfenden Flüssigkeit erreicht wird.

Verzeichnis der benutzten Literatur

1. Чернобыльский И. И., Тананайко Ю. М. Теплообмен при кипении жидкостей в кольцевой щели. — ЖТФ, 1956, т. XXVI, вып. 10.
Černobyl'skij, I. I., Tananaĵko, Ju. M.: Teploobmen pri kipeanii židkosti v kol'cevoj ščeli.
In: Žurnal tehničeskoj fiziki. Moskva, 24 (1956), Nr 10.
<Der Wärmeübergang beim Sieden von Flüssigkeiten in einem Ringspalt>
2. Андреев П. А. и др. Теплоотдача при движении кипящей жидкости в трубах и каналах. — «Труды ЦКТИ», 1967, вып. 78.
Andreev, P. A. u. a.: Teplootdača pri dviženii kipjaščej židkosti v trubach i kanalach.
In: Trudy. Central'nyj naučno-issledovatel'skij i proektno-konstruktorskij kotloturbinnyj institut im. I. I. Polzunova. Leningrad, 1967, Nr 78.
<Der Wärmeübergang beim Fließen von Flüssigkeiten in Rohren und Kanälen>
3. Ishibashi E., Nishikawa K. Saturated boiling heat transfer in narrow spaces. — «Int J. Heat mass Transfer», 1969, vol. 12, № 8.

4. Данилова Г. Н., Азарсков В. М. Экспериментальное исследование теплообмена в элементе пластинчатого фреонового испарителя. — «Холодильная техника», 1972, № 10, с. 52—54.
Danilova, G.N., Azarskov, V.M.: Eksperimental'noe issledovanie teploobmena v élemente plastiŋčatogo freonovogo isparitelja.
In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 1972, Nr 10, S. 52 - 54.
<Experimentelle Untersuchung des Wärmeübergangs im Element eines Kältemittel-Plattenverdampfers>
5. Хьют Дж., Холл-Тейлор Н. Кольцевые двухфазные течения. М., «Энергия», 1974.
Ch'jut, Dž., Choll-Tejlor, N.: Kol'cevyje dvuchfaznye tečenija.
Moskva: Verlag "Energija", 1974.
Übersetzung aus dem Englischen von:
Hewitt, G.F., Hall-Taylor, N.S.: Annular Two-Phase Flow. Oxford (usw.); Braunschweig: Pergamon Press, 1970.
6. Малюгин Г. И. и др. Интенсификация внутреннего теплообмена в секционных десублиматорах водяного пара. — В кн.: Холодильные машины и установки, Л., 1974.
Maljugin, G.I. u.a.: Intensifikacija vnutrennego teploobmena v sekcionnych desublimatorach vodjanogo para.
In Sammelband: Cholodil'nye mašiny i ustanovki. Leningrad: Leningradskij Techničeskij Institut Cholodil'noj Promyšlennosti, Ministerstvo Vysšego i Srednego Special'nogo Obrazovanija RSFSR, 1974, S. 117 - 121.
<Intensivierung des inneren Wärmeübergangs in unterteilten Wasserdampfdesublimatoren>
7. Бельский В. К., Данилова Г. Н. Влияние расположения пластины на интенсивность теплообмена при кипении Ф-113. — ИФЖ, 1970, т. XIX, № 4, с. 87.
Bel'skij, V.K., Danilova, G.N.: Vlijanie raspoloženija plastiny na intensivnost' teploobmena pri kipenii F-113.
In: Inženerno-fizičeskij žurnal. Moskva, 19 (1970), Nr 4, S. 87.
<Der Einfluß der Lage der Platte auf die Intensität des Wärmeübergangs beim Sieden von Freon 113>
8. Cleis W. Die Wärmeübergangszahl, von Verdampfen des Ammoniaks im senkrechten Rohr. — «Kältetechnik», 1949, № 1, S. 37.
9. Wilke W., Chawla T. M. Wärmeübertragung an einen vereisenden Plattenverdampfer im Betriebszustand. — «Kältetechnik», 1963, № 8, с. 245—250.
10. Schwind H. Messung des Wärmeübergangs an verdampfendes Ammoniak. Abhandlungen des DKV, № 6, Karlsruhe, C. F. Müller, 1952.
11. Данилова Г. Н., Куприянова А. В. Обобщение данных по теплоотдаче при кипении аммиака. — «Холодильная техника», 1971, № 6, с. 39—41.
Danilova, G.N., Kuprianova, A.V.: Obobščenie dannyh po teplootdače pri kipenii ammiaka.
In: Cholodil'naja tehnika. Moskva, 1971, Nr 6, S. 39 - 41.
<Verallgemeinerung der Daten zum Wärmeübergang beim Sieden von Ammoniak>

Stuttgart, den 7. April 1978

übersetzt von
Ottmar Pertschi
(Ottmar Pertschi)
Dipl.-Übersetzer

Übersetzungsstelle
der Universitätsbibliothek Stuttgart