

U/314

Fisenko, V.V., Baranenko, V.I., Belov, L.A., Korenevskij, V.A.  
(Admiral S.O. Makarov-Schiffsbauinstitut in Nikolaev<sup>1)</sup>)

EINFLUSS EINES GELÖSTEN GASES AUF DAS BLASENSIEDEN UND  
DIE KRITISCHEN BELASTUNGEN

Deutsche Vollübersetzung aus:

Kipenie i kondensacija. Sbornik naučnych trudov. Riga,  
1985, S. 23 - 29.

Russ.: ВЛИЯНИЕ РАСТВОРЕННОГО ГАЗА НА ПУЗЫРЬКОВОЕ  
КИПЕНИЕ И КРИТИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ\*

Vlïjanie rastvorennogo gaza na puzыр'kovoe kipenie  
i kritičeskie nagruzki

The aim of this research is to make an experimental study of a dissolved gas influence on the boiling curve of water and critical heat load. The experiment was performed with and without a gas dissolved in liquid. The result shows the dissolved gas influence as well on boiling curve as on critical heat fluxes.

Fig. 4. Bill of lit. — 4 name.

---

<sup>1)</sup> Nikolaevskij korablestroitel'nyj institut im. admirala S.O. Makarova (Anm.d.Übers.)

Aus den in den letzten Jahren veröffentlichten Arbeiten folgt, daß ein in nichtmetallischen Wärmeträgern gelöstes Gas einen wesentlichen Einfluß auf die Intensität des Wärmeübergangs beim Sieden von Flüssigkeiten und auf die kritische Wärmestromdichte besitzt /1, 2/. Das Interesse an diesen Untersuchungen hat in den letzten Jahren deshalb zugenommen, weil das gelöste Gas im Wärmeträger des ersten Kreislaufs von Kernkraftwerken enthalten sein und Auswirkungen auf den sicheren Betriebsablauf haben kann /3/. Viele Fragen, die mit dem Einfluß eines gelösten Gases auf die Bedingungen der Wärmeentnahme und auf die kritische Wärmestromdichte zusammenhängen, sind jedoch unzureichend untersucht. So fehlen praktisch Versuchsangaben zum Einfluß eines gelösten Gases auf die inneren Charakteristiken des Siedevorgangs, auf den Wärmeübergang beim Blasensieden bei Drücken über dem Umgebungsdruck.

Zweck dieser vorliegenden Arbeit ist deshalb die Untersuchung des Einflusses eines gelösten Gases auf das Behältersieden von Flüssigkeiten bei Umgebungs- und bei Hochdruck.

Die Versuche wurden an horizontalen und vertikalen Platin-  
drähten mit 0,07 und 0,15 mm Durchmesser bei veränderlicher  
Erwärmung bis zur Sättigungstemperatur von 0 bis 80 K und  
Drücken von 1 bis 11 bar durchgeführt. In den Versuchen wurde  
der Einfluß eines gelösten Gases auf die Intensität des Wärme-  
übergangs im Verlauf der gesamten Siedekurve und auf die kri-  
tische Wärmestromdichte untersucht. Als Versuchsflüssigkeit  
wurde Wasser benutzt, als gelöstes Gas Luft, dessen Menge nach  
der Maximalkonzentration bemessen wurde. In den Versuchen wurde  
die Temperaturgrenzschicht sichtbar gemacht, indem Zeitlupen-  
aufnahmen mit oszillographischer Synchrondarstellung der  
durchschnittlich integralen Erwärmungstemperatur benutzt wurden.  
Die Versuche erfolgten an der in Arbeit /4/ beschriebenen Ver-  
suchsanlage.

Die Analyse des Versuchsmaterials weist auf eine komplizierte  
Abhängigkeit der Intensität des Wärmeübergangs und der kriti-  
schen Wärmestromdichte von dem vorhandenen gelösten Gas hin.

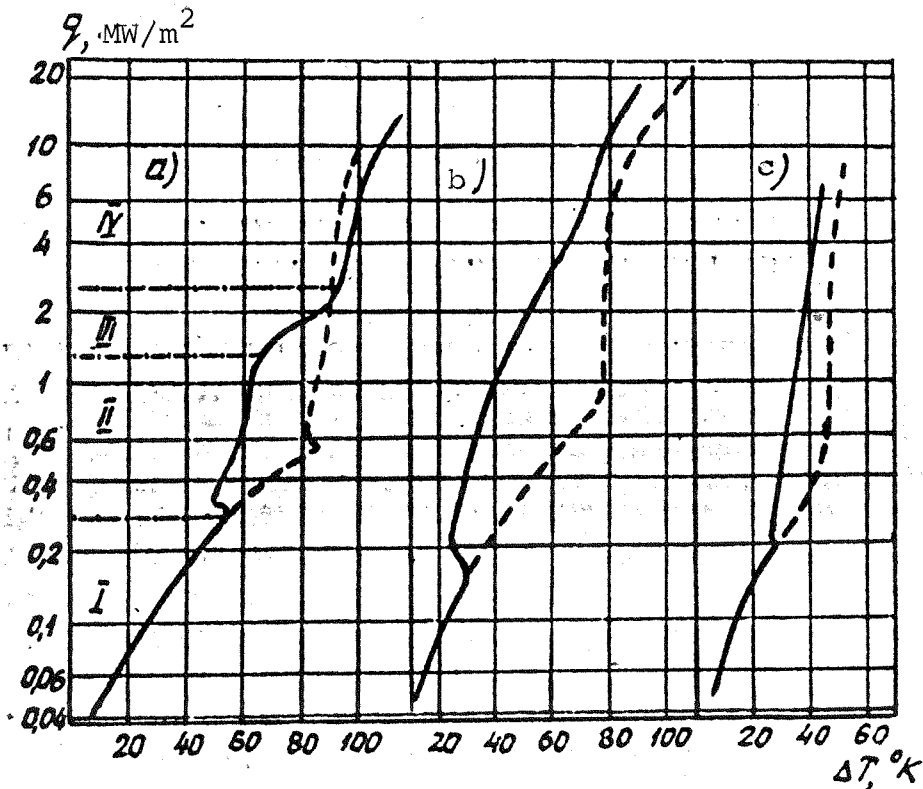


Abb. 1. Siedekurven von entgastem (gestrichelte Linie) und nichtentgastem Wasser (durchgehende Linie):

a)  $p = 1$  bar; b) und c)  $p = 11$  bar.

In Abb. 1a) sind die Siedekurven von entgastem und nichtentgastem Wasser bei Luftdruck an einem senkrechten Platindraht mit 0,15 mm Durchmesser und bei Unterkühlung  $\Delta T = 40$  K dargestellt. Die Siedekurve kann man in vier Abschnitte zerlegen. Abschnitt I entspricht der freien Konvektion, wo das gelöste Gas keinen Einfluß auf den Wärmeübergang hat. Der Zustand der freien Konvektion in der entgasten Flüssigkeit wird bis zum Beginn des Blasensiedens (Temperaturgefälle 80 - 120 K) verzögert, im nichtentgasten Wasser beginnt die Gasentwicklung bereits bei Temperaturdifferenzen von 20 - 40 K. Im Zustand der Gasentwicklung nimmt der Wärmeübergang um 30 - 50 % zu und wird durch die Einwirkung der Kapillarkräfte bestimmt. Der Gasentwicklung entspricht in Abb. 1a) der Abschnitt II. Abschnitt III ist der Zustand des nicht voll ausgebildeten Blasensiedens, zu dessen Beginn das gelöste Gas den Wärmeüber-

gang verstärkt, abschließend aber verschlechtert. Abschnitt IV ist der Zustand des voll ausgebildeten Siedens, wo das gelöste Gas den Wärmeübergang verschlechtert. In Abb. 1b) sind die Siedekurven von entgastem und nichtentgastem Wasser bei 11 bar Druck und Unterkühlung  $\Delta T = 40$  K an einem horizontalen Platindraht mit 0,07 mm Durchmesser dargestellt. Aus Abb. 1b) folgt, daß man auch in diesem Fall vier Abschnitte auf der Siedekurve unterscheiden kann.

Abschnitt I ist kleiner als in Abb. 1a), Abschnitt II ist dafür wesentlich größer. Im Unterschied zur Abb. 1a) verstärkt das gelöste Gas den Wärmeübergang im Verlauf der gesamten Siedekurve. In Abb. 1c) sind die Siedekurven bei 11 bar Druck und Unterkühlung  $\Delta T = 10$  K dargestellt. Vergleicht man die Abb. 1b) und 1c), ergibt sich, daß geringere Unterkühlung mit einem geringeren Einfluß des gelösten Gases auf die Intensität des Wärmeübergangs beim Sieden einhergeht. Der Verlauf der Siedekurven in den Abb. 1b) und 1c) ist jedoch identisch, d.h. bei einer Unterkühlung von  $\Delta T = 10$  K fördert das vorhandene gelöste Gas die Intensität des Wärmeübergangs nur in geringerem Maße als bei einer Unterkühlung von  $\Delta T = 40$  K.

Um den Einfluß des gelösten Gases auf die inneren Charakteristiken des Wärmeübergangs aufzeigen zu können, wurde der Siedevorgang mit oszillographischer Synchrondarstellung der Heiztemperaturschwankungen kinematographisch untersucht. Die oszillographische Darstellung erfolgte beim Sieden von Wasser unter Umgebungsdruck. Es stellte sich heraus, daß oszillographische Darstellungsversuche bei 11 bar Druck nicht erfolgreich durchgeführt werden konnten, weil der Durchmesser der Dampfblasen bei höherem Druck stark abnimmt und dementsprechend auch die Werte der Temperaturschwankungen. Unter derartigen Bedingungen ist der Hintergrund der Oszillogramme stärker als das Amplitudensignal der Heiztemperaturschwankungen.

In Abb. 2a) ist die Abhängigkeit der durchschnittlichen maximalen Durchmesser der Dampfblasen bei unterkühltem Sieden  $\Delta T = 20$  K von entgastem und nichtentgastem Wasser an einem hori-

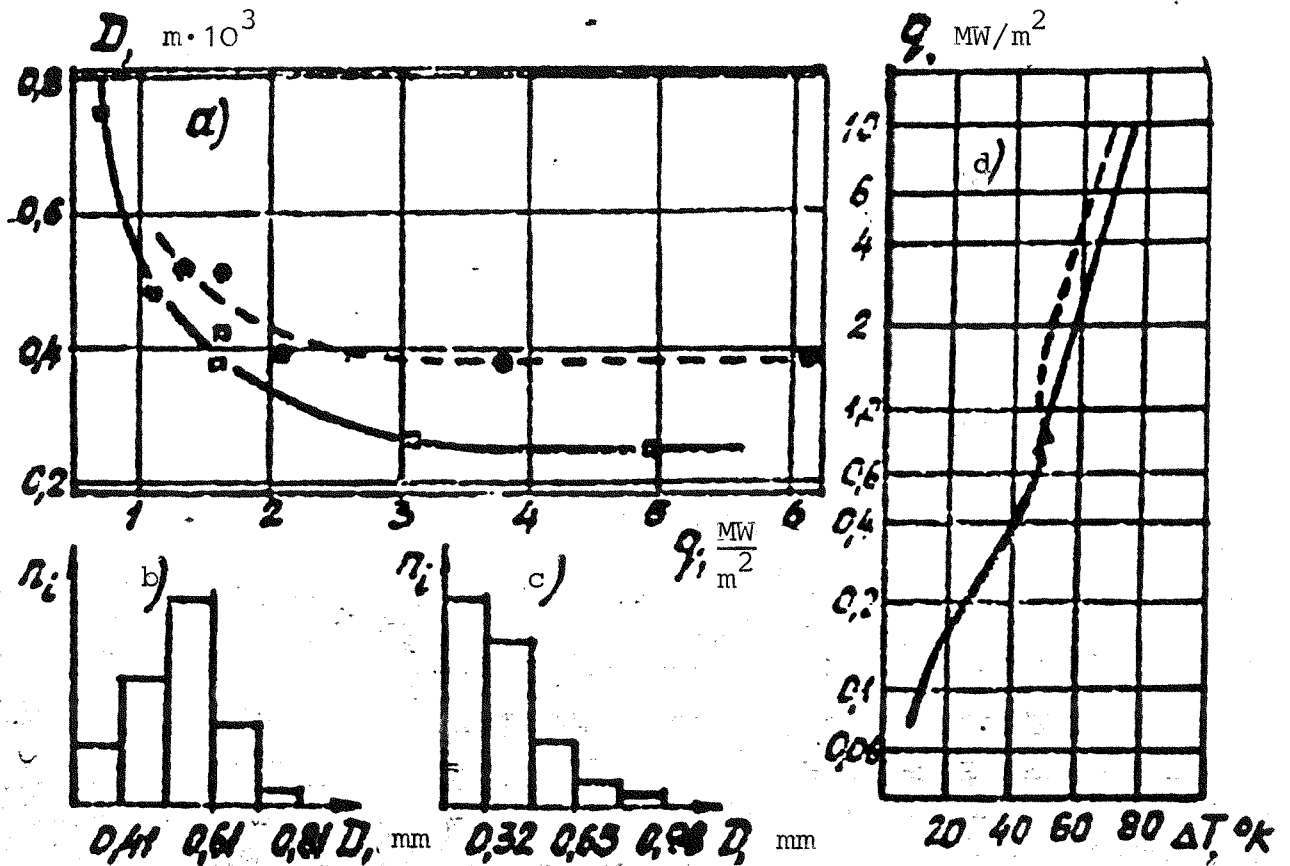


Abb. 2. Abhängigkeit des Blasendurchmessers von der Wärmestromdichte (a); Histogramme der Verteilung der Blasendurchmesser für nichtentgastes (durchgehende Linie) und entgastes Wasser (gestrichelte Linie) (b, c); Siedekurven für nichtentgastes (durchgehende Linie) und entgastes Wasser (gestrichelte Linie) (d).

zontalen Platindraht mit 0,07 mm Durchmesser bei Umgebungsdruck von der Wärmestromdichte graphisch dargestellt. Daraus folgt, daß die durchschnittlichen Blasendurchmesser in entgastem Wasser größer sind als in nichtentgastem. Abb. 2b) zeigt die typischen Histogramme der Verteilung der maximalen Blasendurchmesser, ausgehend von der Wärmestromdichte  $q = 1,6 \text{ mW/m}^2$ .

Aus Abb. 2c) geht hervor, daß in einer nichtentgasten Flüssigkeit die kleineren Blasen dominieren. Vorhandenes gelöstes Gas

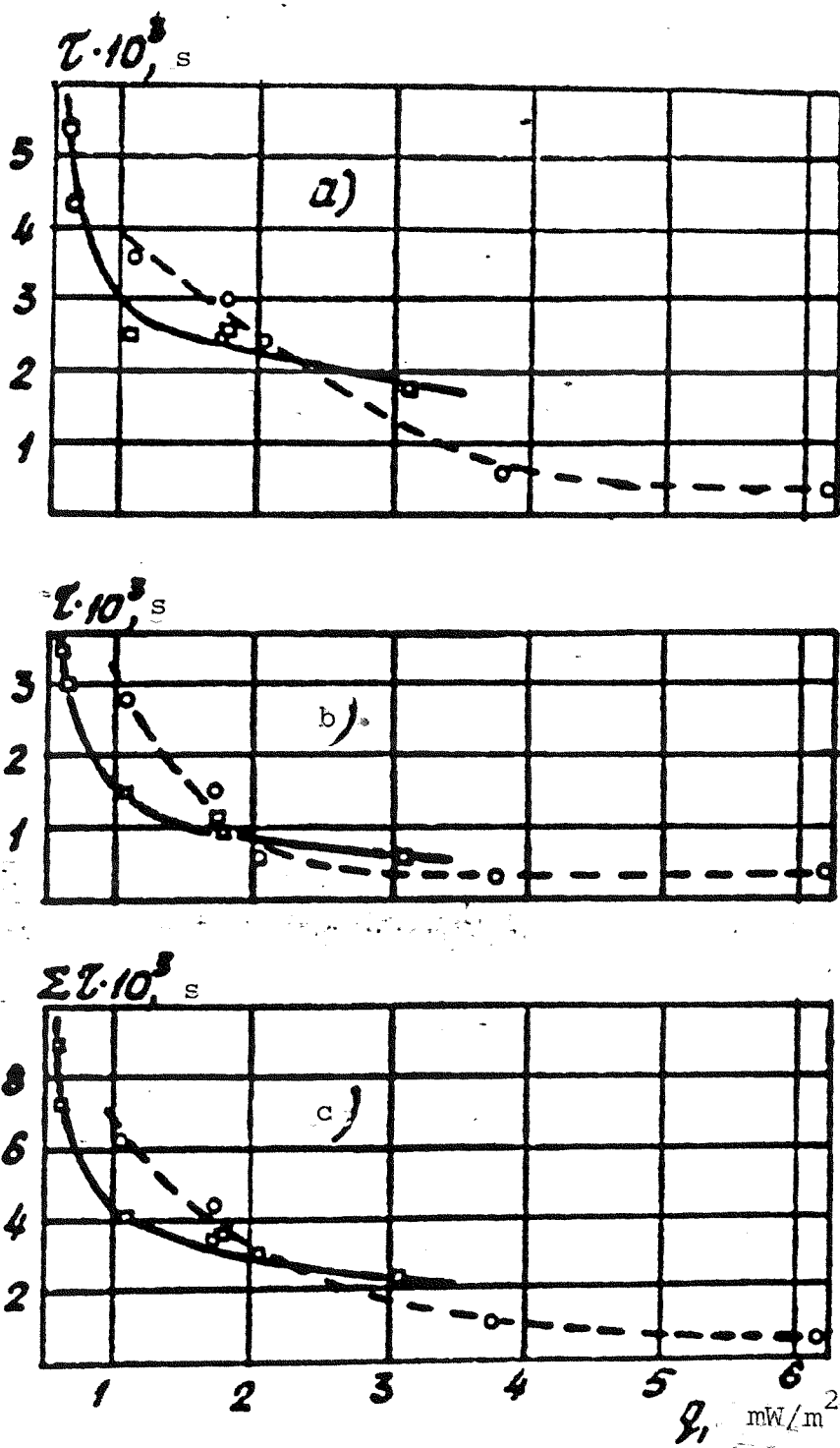


Abb. 3. Abfallzeit (a), Erholzeit (b) und Gesamtzeit (c) der Heiztemperatur für nichtentgastes (durchgehende Linie) und entgastes Wasser (gestrichelte Linie).

entspricht in diesem Fall einer Zunahme der durchschnittlichen Heiztemperatur im Bereich des voll ausgebildeten Blasensiedens (Abb. 2d). Der Einflußbereich der thermokapillaren Konvektion fehlt praktisch in den Siedekurven (Abb. 2d).

Aus den Abb. 3a), 3b) und 3c) sind die Zeiten für die Abnahme und Wiederherstellung sowie die Gesamtzeit aus Abnahme und Wiederherstellung der Heiztemperatur (Platindraht mit 0,07 mm Durchmesser) beim Wachsen und Abreißen der Blasen in entgaster und nichtentgaster Flüssigkeit graphisch dargestellt. Daraus folgt, daß bei nicht voll ausgebildetem Sieden und im Übergangsbereich vom nicht ausgebildeten zum voll ausgebildeten Sieden die Abfallzeit (Abb. 3a) und die Erholzeit (Abb. 3b) der Heiztemperatur und damit auch die Gesamtzeit (Abb. 3c) in einer nichtentgasten Flüssigkeit geringer ist als in einer entgasten. Ersichtlich ist auch, daß die Bildung der Dampfblasen in der nichtentgasten Flüssigkeit bei geringeren Wärmestromdichten beginnt als in der entgasten.

Beim voll ausgebildeten Sieden und  $q > 2 \text{ mW/m}^2$  sind die Abfall- und Erholzeiten in der entgasten Flüssigkeit geringer als in der nichtentgasten. Besonders stark ist der Einfluß eines gelösten Gases auf die Abfall- und Erholzeit der Heiztemperatur beim nicht voll ausgebildeten Sieden, wie Abb. 3 zeigt. Die Gesamtzeit (Abb. 3c) bestimmt die Häufigkeit der Blasenbildung. Somit geht aus den Abb. 2 und 3 hervor, daß ein in der Flüssigkeit vorhandenes Gas bei voll ausgebildetem Sieden zur Verringerung der maximalen durchschnittlichen Dampfblasendurchmesser beiträgt, ebenso die Häufigkeit ihrer Bildung zu einer höheren durchschnittlichen Heiztemperatur. Ein solcher Einfluß des gelösten Gases ist charakteristisch für das Sieden von Wasser unter Umgebungsdruck. Bei Hochdruck waren wegen schneller Trübung der Sichtgläser keine brauchbaren Filmaufnahmen möglich.

Durch die photographische Aufnahme des Siedevorgangs konnte jedoch eine interessante Gesetzmäßigkeit im Verhalten der Gasblasen festgehalten werden. Es zeigte sich, daß die Abmessungen der Gasblasen mit steigendem Druck und zunehmender Wärmestrom-

dichte größer werden, größer auch als die Blasendurchmesser bei Umgebungsdruck. In Abb. 4 sind Photographien des Siedevorgangs bei verschiedenen Wärmestromdichten wiedergegeben. Daraus geht hervor, daß einzelne Gasblasen bei  $q = 10 \text{ mW/m}^2$  einen Durchmesser von 1 mm erreichen. Die Zunahme der Blasenabmessungen kann mit dem steigenden Gasgehalt der Flüssigkeit bei steigendem Druck erklärt werden.

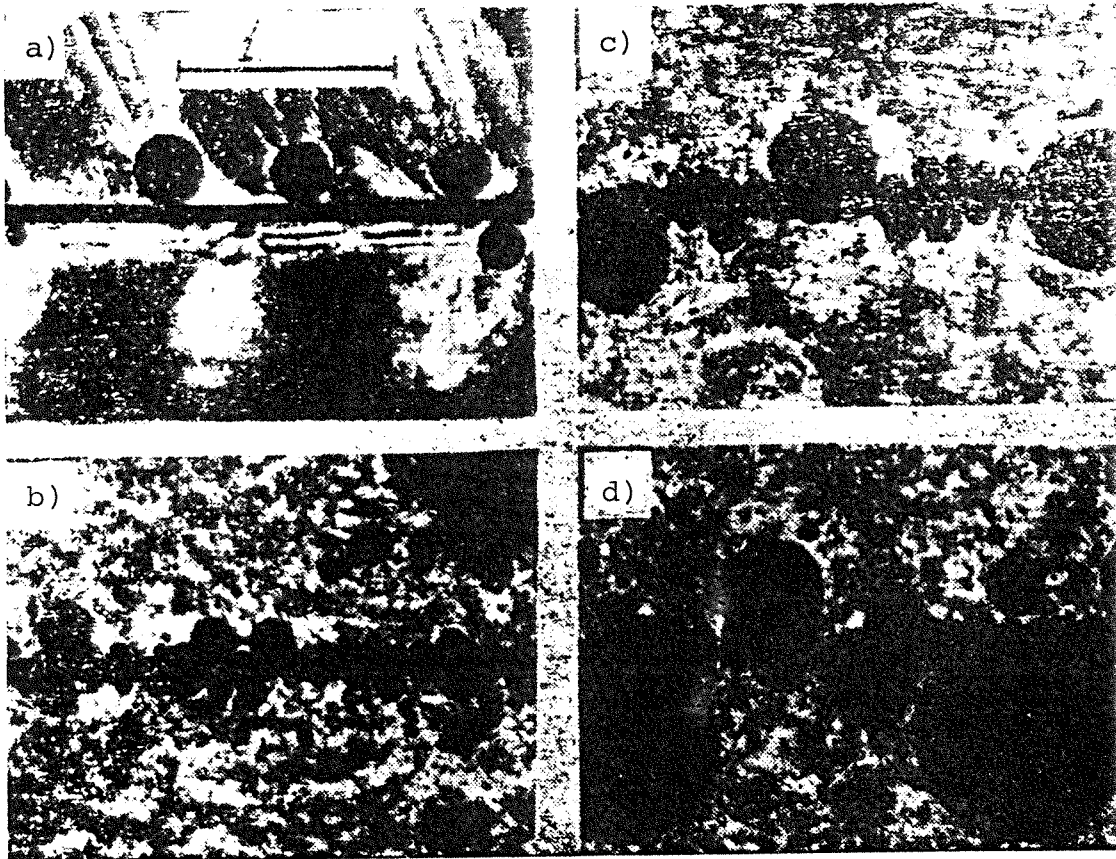


Abb. 4. Einfluß der Wärmestromdichte auf die Abmessungen der Gasblasen bei  $p = 11 \text{ bar}$ .

In den Versuchen wurde ein komplizierter Einfluß des gelösten Gases auf die kritische Wärmestromdichte in einem großen Behälter festgestellt. An senkrechten Heizdrähten trägt ein vorhandenes gelöstes Gas zu einer Zunahme der kritischen Wärmestromdichte um 15 - 20 % bei, an waagrechten Heizdrähten zu einer entsprechenden Verminderung.



L i t e r a t u r

1. Фисенко В. В., Максимов В. И., Катков Ю. Д. Влияние растворенного в воде газа на критические тепловые нагрузки в кольцевом канале. — Пром. теплотехника, 1980, № 5, с. 19—23.

Fisenko, V.V., Maksimov, V.I., Katkov, Ju.D.: Vlijanie rastvorenного v vode gaza na kritičeskie teplovyje nagruzki v kol'cevom kanale.

In: Promyšlennaja tehnika.

1980, Nr 5, S. 19 - 23.

/Einfluß eines in Wasser gelösten Gases auf die kritische Wärmestromdichte in einem ringförmigen Kanal; russ./

2. Созин Ю. А. О влиянии на теплоотдачу растворенного в жидкости газа. — В кн.: Прикладные вопросы тепломассообмена. Днепропетровск, 1977, с. 64—69.

Sozin, Ju.A.: O vlijanii na teplootdaču rastvorenного v židkosti gaza.

In: Prikladnye voprosy teplomassoobmena. Dnepropetrovsk:

1977, S. 64 - 69.

/Über den Einfluß eines in einer Flüssigkeit gelösten Gases auf den Wärmeübergang; russ./

3. Бондарь Ю. Ф. О газовыделении в первом контуре водо-водяного реактора с газовым компенсатором объема. — Атомная энергия, 1971, т. 31, вып. 2, с. 150—151.

Bondar', Ju.F.; O gazovydelenii v pervom konture vodo-vodjanogo reaktora s gazovym kompensatorom ob"ema.

In: Atomnaja énergija. Moskva, 31 (1971), Nr 2, S. 150 - 151.

Engl.: Gas evolution in the primary loop of a pressurized water-water reactor with gas volume compensators.

In: Soviet atomic energy. New York, 31 (1971), Nr 2, S. 864 bis 866.

4. Бараненко В. И., Чичкань Л. А., Смирнов Г. Ф. Исследование механизма теплообмена при кипении с помощью оптического метода. — В кн.: Теплообмен, 1974: Сов. исслед. М.: Наука, 1975, с. 214—220.

Baranenko, V.I., Čičkan', L.A., Smirnov, G.F.: Issledovanie mehanizma teploobmena pri kipenii s pomošč'ju optičeskogo metoda.

In: Teploobmen 1974. Sovremennye issledovanija. Moskva: Nauka, 1975, S. 214 - 220.

/Optische Untersuchung des Wärmeaustausch-Mechanismus beim Sieden; russ./

Stuttgart, den 12. Januar 1988

übersetzt von

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

Übersetzungsstelle  
der Universitätsbibliothek Stuttgart