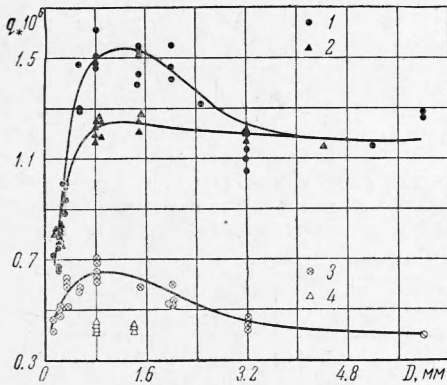


ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА НА КРИТИЧЕСКИЙ ТЕПЛОВОЙ ПОТОК ПРИ КИПЕНИИ В БОЛЬШОМ ОБЪЕМЕ ЖИДКОСТИ

*Г. И. Бобрович, И. И. Гогонин, С. С. Кутателадзе
(Новосибирск)*

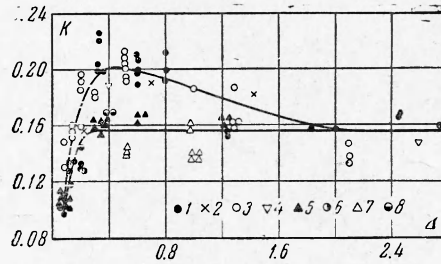
При достаточно больших размерах поверхности нагрева возникновение пленочного режима кипения равновероятно на любой ее части и величина q_* не зависит от линейного размера системы. В области же малых значений параметра $L((\gamma' - \gamma'')/\sigma)^{1/2}$ такого рода автомодельность процесса нарушается. Здесь L — характерный размер поверхности нагрева, а $(\sigma / (\gamma' - \gamma''))^{1/2}$ — масштаб размера возникающих паровых пузырей.

В настоящее время все чаще встречаются устройства с весьма малыми поперечными размерами каналов. Поэтому изучение области нарушения автомодельности величины q_* относительно L приобретает серьезное практическое значение.



Фиг. 1

Фиг. 1. Зависимость критической плотности теплового потока, при которой возникает пленочное кипение, от диаметра цилиндрического нагревателя: а — горизонтальные нагреватели: 1 — вода, $p = 1 \text{ ата}$; 2 — спирт, $p = 1 \text{ ата}$; б — вертикальные нагреватели: 3 — вода, $p = 1 \text{ ата}$; 4 — спирт, $p = 1 \text{ ата}$



Фиг. 2

Фиг. 2. Зависимость безразмерного комплекса k от параметра $\Delta = D \sqrt{(\gamma' - \gamma'')/\sigma}$ при кипении в большом объеме насыщенной жидкости: а — горизонтальные нагреватели: 1 — вода, $p = 1 \text{ ата}$; 2 — вода, $p = 11 \text{ ата}$; 3 — спирт, $p = 1 \text{ ата}$; 4 — спирт, $p = 11 \text{ ата}$; б — вертикальные нагреватели: 5 — вода, $p = 1 \text{ ата}$; 6 — вода, $p = 11 \text{ ата}$; 7 — спирт, $p = 1 \text{ ата}$; 8 — спирт, $p = 11 \text{ ата}$

На установке, описанной в [1], были проведены опыты по определению первой критической плотности теплового потока при кипении в большом объеме однородной жидкости. Поверхностью нагрева служили горизонтальные и вертикальные цилиндры диаметром от 0.1 до 6 мм.

На фиг. 1 показана зависимость q_* от диаметра цилиндра D по опытам с водой и этиловым спиртом при температурах насыщения, соответствующих давлению $p = 1 \text{ ата}$. Как видно, существует область, в которой величина критической плотности теплового потока не зависит от размера поверхности нагрева, и область, в которой существенно проявляется влияние геометрии этой поверхности.

В последней области величина q_* зависит как от поперечного размера нагревателя, так и от его ориентации относительно вектора силы тяжести.

Так, при горизонтальном расположении цилиндрических нагревателей наблюдается отчетливый максимум в зависимости q_* от L , а при вертикальном их расположении максимум отсутствует, и наблюдается только существенное снижение критической плотности теплового потока с уменьшением диаметра нагревателя при $D < 0.8 \text{ мм}$.

Очевидно, что это различие связано с неодинаковыми условиями эвакуации пара при вертикальном и горизонтальном расположении цилиндров небольшого диаметра.

На фиг. 2 рассматриваемая зависимость дана в обобщенных координатах

$$\left\{ k = \frac{q_* 1}{r (g \gamma'')^{1/2} (\sigma [\gamma' - \gamma''])^{1/4}}, \Delta = D \left(\frac{\gamma' - \gamma''}{\sigma} \right)^{1/2} \right\} \quad (1)$$

Как видно, весьма разнородные по исходным параметрам данные удовлетворительно описываются в этой системе координат одной кривой для данной геометрии нагревателей (включая в это понятие и ориентацию по отношению к вектору силы тяжести). По этим данным автомодельность комплекса k относительно линейного размера поверхности нагрева при кипении насыщенной жидкости в условиях свободной конвекции имеет место:

а) для горизонтальных цилиндров, когда

$$\Delta > 2 \quad (2)$$

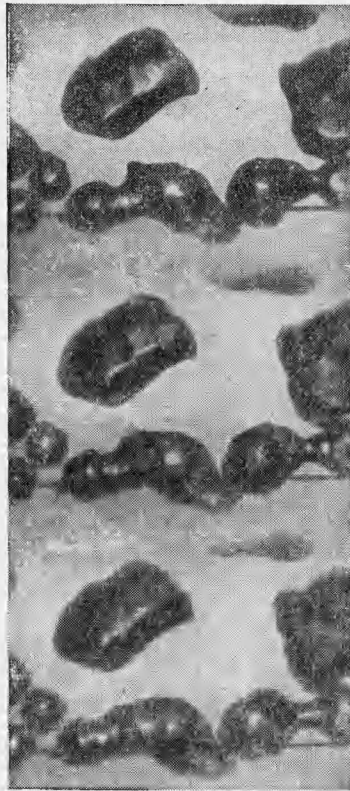
б) для вертикальных цилиндров, когда

$$\Delta > 0.5 \quad (3)$$

Максимальное значение комплекса k для горизонтально расположенных цилиндров имеет место при

$$0.2 < \Delta < 0.8 \quad (4)$$

На фиг. 3 показана фотография процесса кипения на тонкой проволоке. Как видно, в этом случае паровые пузыри обволакивают всю проволоку в месте своего возникновения, резко ухудшают локальную теплоотдачу и вызывают перегрев нагревателя.

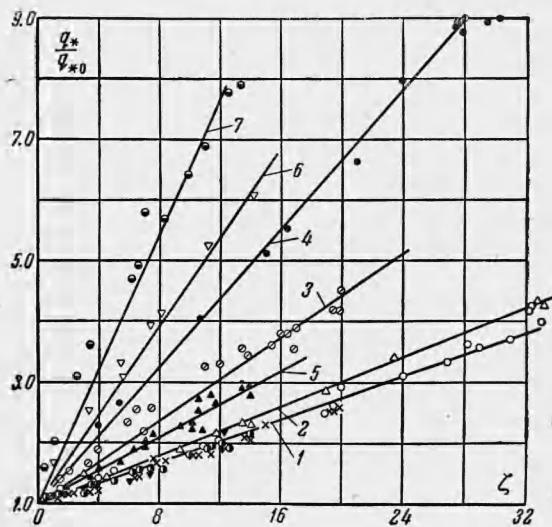


Фиг. 3

На фиг. 4 показано влияние диаметра нагревателя на величину q_{*1} при кипении в большом объеме жидкости, не догретой до температуры насыщения. При выполнении условия (2) для горизонтальных цилиндров и условия (3) для вертикальных цилиндров имеет место зависимость [2]

$$q = 1 + A \frac{c\vartheta}{r} \left(\frac{\gamma'}{\gamma''} \right)^{3/4} \quad (A \approx \text{const}) \quad (5)$$

При меньших значениях D наблюдается существенное расслоение по размерам поверхности нагрева и физическим свойствам жидкости. Последнее прояв-



Фиг. 4

Фиг. 3. Паровой пузырь на тонкой проволочке

Фиг. 4. Влияние недогрева массы жидкости до температуры насыщения (ζ — безразмерный комплекс правой части формулы (5)), диаметра и расположения нагревателя на критическую плотность теплового потока при кипении в большом объеме: 1 — спирт ($p = 1$ и 11 ата) и вода ($p = 1$ и 11 ата) при $D = 3.2 \text{ мм}$; 2 — вода, $p = 1 \text{ ата}$, $D = 0.5 \text{ мм}$; 3 — спирт, $p = 1 \text{ ата}$, $D = 0.2 \text{ мм}$; 4 — вода, $p = 1 \text{ ата}$, $D = 0.2 \text{ мм}$; 5 — спирт, $p = 11 \text{ ата}$, $D = 0.5 \text{ мм}$; 6 — вода, $p = 11 \text{ ата}$, $D = 0.5 \text{ мм}$; 7 — вода, $p = 11 \text{ ата}$, $D = 0.2 \text{ мм}$

ляется на этих графиках в зависимости коэффициента A не только от диаметра нагревателя, но и от рода жидкости и давления.

Очевидно, что это обстоятельство связано с влиянием диаметра нагревателя на условия теплоотдачи к холодному ядру массы жидкости.

Поступила 1 II 1964

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобрович Г. И., Гогонин И. И., Кутателадзе С. С., Москвичева В. Н. Критические тепловые потоки при кипении бинарных смесей. ПМТФ, 1962, № 4.
2. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена, 2-е изд. Машгиз, 1962.