

Е. А. КАЗАКОВА

О МАКСИМАЛЬНОМ ТЕПЛОМ ПОТОКЕ ПРИ КИПЕНИИ ВОДЫ ПОД ВЫСОКИМ И СВЕРХВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЯМИ

(Представлено академиком Г. М. Кржижановским 21 XII 1949)

При кипении жидкости по мере повышения теплового напряжения поверхности нагрева число образующихся паровых пузырей становится настолько значительным, что обычная форма ядерного кипения уступает место так называемому пленочному режиму, характеризующемуся обволакиванием поверхности нагрева сплошным паровым слоем. С появлением такого парового слоя доступ жидкости к поверхности нагрева прекращается и интенсивность теплообмена резко снижается.

Опыты при атмосферном давлении показали, что с переходом от ядерного кипения к пленочному значению коэффициента теплоотдачи на стороне кипящей жидкости понижается в несколько десятков раз (рис. 1) (1). Такое снижение интенсивности теплообмена в ряде случаев может вызвать недопустимое возрастание температуры стенки.

Тепловой поток, соответствующий точке максимума на кривой рис. 1, получил условное название максимального или критического теплового потока (q_{\max}). Абсолютное значение q_{\max} существенно зависит от давления.

Экспериментальное исследование, проведенное при кипении воды до 115 атм (2), показало, что с повышением давления приблизительно до $\frac{1}{3}$ от критического наблюдается значительное (в 3–4 раза) возрастание величины q_{\max} .

Переход к котлам высокого и сверхвысокого давлений настоятельно требует изучения явления перехода от ядерного кипения к пленочному (q_{\max}) в области давлений от 100 до 200 атм.

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию влияния высоких давлений на величину q_{\max} при кипении воды в условиях свободной конвекции.

Опыты проводились в кипятыльнике высокого давления, представлявшем толстостенный стальной цилиндр с внутренним диаметром 50 мм и длиной 600 мм, снабженный конденсатором и визуальным участком. В качестве поверхности нагрева была использована горизонтально



Рис. 1. Зависимость коэффициента теплоотдачи от удельного теплового потока при кипении воды ($p = 1$ ата)

натянутая платиновая проволока диаметром 0,15 мм, через которую пропускался переменный электрический ток.

Электроводы, изолированные кварцевыми или фарфоровыми трубками, вводились в кипятильник через сальники, охлаждаемые водой.

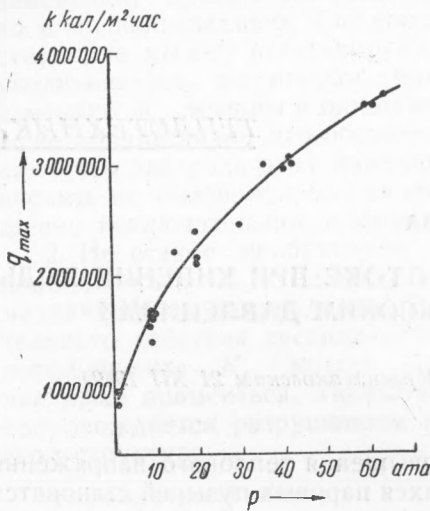


Рис. 2. Зависимость максимального теплового потока от давления при кипении воды на платиновой проволоке (чистой) $d = 0,15$ мм

Достижение q_{max} обнаруживалось по переплавлению платиновой проволоки.

Опыты были проведены при давлении от 1 до 200 атм, причем особое внимание было уделено диапазону от 170 до 200 атм, наиболее интересному с точки зрения работы котлов сверхвысокого давления.

В опытах до 64 атм поверхность платиновой проволоки оставалась чистой блестящей и полученные данные $q_{max} = f(p)$ удовлетворительно легли на кривую, показанную на рис. 2.

Начиная с давлений выше 90 атм на поверхности проволоки при высоких тепловых нагрузках стали осаждаться силикатные соединения, появившиеся в воде за счет некоторого растворения фарфоровых и кварцевых изоляторов в условиях высоких температур. Результаты, полученные под давлениями от 90 до 200 атм, показаны на рис. 3.

Вследствие изменения условий поверхности нагрева из-за отложения осадка абсолютная величина q_{max} резко возросла, причем более шероховатый осадок, имевший место при опытах с фарфоровыми

Для быстрого достижения необходимого давления и во избежание потери тепла в окружающую среду, наружная поверхность кипятильника была снабжена дополнительным электрическим нагревателем. Режим давления и температуры регулировался по показаниям термопар, заделанных в ряде точек в стенках кипятильника и конденсатора, и термопар, введенных внутрь аппарата.

Давление измерялось образцовым манометром. Тепловая нагрузка, снимаемая с платинового нагревателя, определялась по силе тока и сопротивлению платиновой проволоки. Сопротивление измерялось мостом, причем, во избежание проникновения переменного тока, питающего нагреватель, в приборы постоянного тока, была разработана схема, включавшая большую самоиндукцию в цепь измерительного тока.

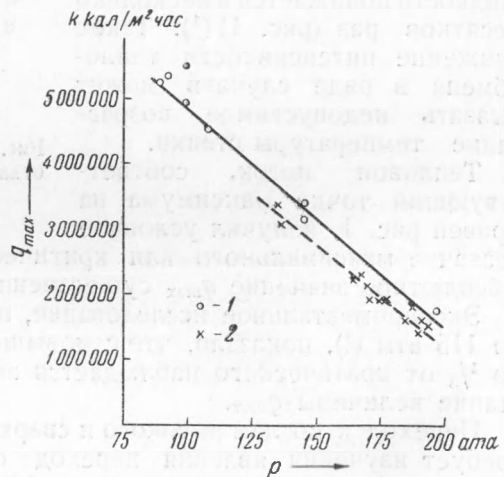


Рис. 3. Зависимость максимального теплового потока от давления при кипении воды на платиновой проволоке $d = 0,15$ мм, покрытой отложениями: 1 — алюмо-силикатных соединений, 2 — силикатных соединений

изоляторами, давал величину q_{\max} на $\sim 15\%$ выше, чем гладкий блестящий осадок, полученный при кварцевых изоляторах.

Для сопоставления результатов, представленных на рис. 2 и 3, были проведены опыты при атмосферном давлении на проволоках, покрытых осадками. Как видно из графика рис. 4, относительное изменение q_{\max} с ростом давления оказалось в области высоких давлений практически одинаковым как для чистой проволоки, так и для проволоки, покрытой отложениями обоих типов.

Из полученных результатов следует, что с ростом давления выше $1/3$ от критического

величина q_{\max} резко снижается и при давлениях около 200 атм становится ниже, чем при атмосферном давлении ($\sim 0,8 q_{\max p=1}$).

Пользуюсь случаем принести благодарность М. А. Стыриковичу за ценные советы и В. М. Дерюгину за помощь при проведении опытов.

Энергетический институт
им. Г. М. Кржижановского
Академии наук СССР

Поступило
21 XII 1949

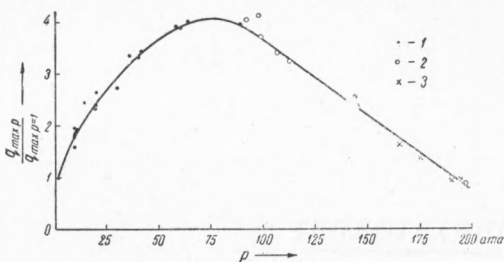


Рис. 4. Зависимость $q_{\max p} / q_{\max p=1}$ от давления при кипении воды: 1 — на чистой проволоке, 2 — на проволоке, покрытой отложениями алюмо-силикатных соединений, 3 — на проволоке, покрытой отложениями силикатных соединений

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ С. С. Кутателадзе, Котлотурбостроение, № 3 (1948). ² Е. А. Казакова, Изв. АН СССР, ОТН, № 1 (1949).