

Результаты экспериментального определения $\beta_{эфф}$ реактора ПФ-4

Δ	\bar{J}	$S(0)$	$S(\infty)$	F , делений/сек	$\beta_{эфф}$
0,074	0,242	$0,1375 \cdot 10^{-6}$	$0,0442 \cdot 10^{-6}$	$1,623 \cdot 10^{10}$	$0,733 \cdot 10^{-2}$
0,085	0,209	$0,1190 \cdot 10^{-6}$	$0,0394 \cdot 10^{-6}$	$1,417 \cdot 10^{10}$	$0,716 \cdot 10^{-2}$
0,105	0,175	$0,0925 \cdot 10^{-6}$	$0,0324 \cdot 10^{-6}$	$1,160 \cdot 10^{10}$	$0,757 \cdot 10^{-2}$

тов отдельных измерений 1,6%. С учетом рассмотренных погрешностей

$$\beta_{эфф} = 0,74 \cdot 10^{-2} \pm 3,6\%.$$

Если принять $\beta = 0,64 \cdot 10^{-2} \pm 3,1\%$ [11], то относительная ценность запаздывающих нейтронов в исследуемом реакторе составит

$$\gamma = \frac{\beta_{эфф}}{\beta} = 1,16 \pm 4,8\%.$$

Таким образом, описанный способ определения $\beta_{эфф}$ представляется более универсальным, чем метод замещения делящегося вещества эквивалентным поглотителем. Поскольку статистические методы успешно применяются для измерения параметров широкого класса тепловых и быстрых реакторов, причем в большинстве случаев точная моноэнергетическая модель хорошо описывает эксперимент, можно ожидать, что данный метод найдет применение для реакторов различных типов. При этом в конкретных случаях вместо частотного может оказаться предпочтительным какой-либо другой статистический метод. Величину F можно опре-

делять любым независимым способом, не требующим знания $\beta_{эфф}$.

Поступило в Редакцию 20/VI 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Гофман. Научные и технические основы ядерной энергетики. Т. 2, М., Изд-во иностр. лит., 1950, стр. 106.
2. T. Raune et al. Trans. Amer. Nucl. Soc., 1, 142 (1958).
3. R. Perez-Belles et al. Nucl. Sci. and Engng, 12, 505 (1962).
4. T. Raune. Nucleonics, 20, 94 (1962).
5. R. Karam. Trans. Amer. Nucl. Soc., 7, 248 (1964).
6. А. И. Могильнер, Д. М. Швецов. «Атомная энергия», 20, 117 (1966).
7. C. Sohn. Nucl. Sci. and Engng, 7, 472 (1960).
8. R. Schtöder. Nukleonik, 4, 227 (1962).
9. J. Tarrel. Phys. Rev., 108, 783 (1957).
10. А. И. Лейпунский и др. Physics of fast and intermediate reactors. Vol. I. SM 18/80. IAEA, Vienna, 1962, p. 326.
11. G. Keerpin et al. Phys. Rev., 101, 1044 (1957).

Исследование теплоотдачи при кипении натрия в условиях свободной конвекции

В. И. ДЕЕВ, Г. П. ДУБРОВСКИЙ, Л. С. КОКОРЕВ,
И. И. НОВИКОВ, В. И. ПЕТРОВИЧЕВ

УДК 621.039.517

Результаты экспериментального изучения теплоотдачи при кипении натрия в большом объеме при давлениях порядка 10^5 н/м² и ниже описаны в работах [1—4]. В работах [3, 5] установлено, что кипение натрия при низких давлениях отличается специфическими особенностями. В частности, в опытах [3] обнаружена неустойчивость процесса кипения натрия. Недостаточность экспериментальных работ по теплоотдаче при кипении натрия в настоящее время еще не позволяет установить четких границ указанной неустойчивости, а также выявить степень влияния на теплоотдачу различных факторов (тепловой нагрузки, давления, состояния поверхности нагрева, ее формы, размеров, расположения, материала, граничных условий и т. д.). В связи с этим предложенные некоторыми авторами расчетные зависимости для теплоотдачи при кипении жидких металлов в условиях свободной конвекции [2—4, 6] следует рассматривать как первое приближение.

Цель настоящей работы — исследование теплоотдачи при кипении натрия в большом объеме в широком интервале изменения давления и тепловых нагрузок

и получение достаточно подробной информации о процессе кипения натрия.

Кипение натрия происходило на поверхности экспериментального участка в виде плоского горизонтального диска диаметром 28 мм из стали X18H10T, погруженного в большой объем жидкости. Экспериментальный участок нагревался методом электронной бомбардировки. В опытах измеряли мощность, подводимую к рабочему участку, температуру рабочего участка (в трех сечениях по высоте), температуру жидкости и пара, перепады температур между теплоотдающей стенкой и жидкостью и давление пара. Температуры определяли платино-родий-платиновыми термомпарами. Э. д. с. термопар записывалась на ленте быстродействующего автоматического потенциометра ЭПП-09 с верхним пределом шкалы 2 мВ, а также фиксировалась с помощью потенциометра ПМС-48. Давление паров натрия измеряли компенсационным методом. При определении коэффициента теплоотдачи поток рассчитывали по подводимой электрической мощности и контролировали по перепаду температур на рабочем участке.

Перед началом опытов с натрием были проведены измерения теплоотдачи при кипении дистиллированной воды. Результаты, полученные для воды, удовлетворительно согласуются с общепринятыми расчетными рекомендациями. В опытах с металлом использовался натрий, предварительно очищенный от окислов в циркуляционном контуре с холодной ловушкой.

Теплообмен при кипении натрия исследовался в диапазоне давлений $5 \cdot 10^2 - 7,5 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$ при изучении тепловой нагрузки от $9 \cdot 10^4$ до $2 \cdot 10^6 \text{ вт/м}^2$. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что в опытах наблюдались различные режимы теплоотдачи. При низких давлениях ($p \approx 6 \cdot 10^2 \text{ н/м}^2$) кипения натрия на поверхности нагрева не происходило и во всем исследованном диапазоне тепловых нагрузок ($1,4 \cdot 10^5 - 1,3 \cdot 10^6 \text{ вт/м}^2$) теплоотъем осуществлялся естественной конвекцией. При давлениях $4 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$ кипение натрия носило неустойчивый характер. В опытах наблюдались значительные пульсации температуры теплоотдающей стенки, величина которых в отдельных случаях достигала $\pm 25^\circ \text{C}$. Анализ записей температуры жидкости и теплоотдающей поверхности показал, что отмеченные пульсации вызваны взаимным чередованием режимов естественной конвекции и кипения, а также нерегулярностью самого процесса кипения. При $p \approx 2 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$ наблюдался переход к режимам устойчивого кипения на поверхности нагрева, которые характеризовались незначительными ($\pm 1 \div 2^\circ \text{C}$) пульсациями температуры стенки и устойчивостью теплообмена во времени.

На рис. 1 представлены данные по теплоотдаче при кипении натрия. Точки, соединенные пунктирными линиями, соответствуют двум предельным значениям коэффициента теплоотдачи для режимов, интенсивность теплообмена в которых изменялась с течением времени. При давлении $6,1 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$ коэффициент теплоотдачи непрерывно увеличивается с ростом теплового потока до $q \approx 9 \cdot 10^5 \text{ вт/м}^2$, причем зависимость коэффициента теплоотдачи от тепловой нагрузки можно выразить в виде $\alpha \sim q^{1/3}$. При $q > 9 \cdot 10^5 \text{ вт/м}^2$ рост коэффициента теплоотдачи заметно замедляется. Зависимость α от q имеет аналогичный характер при всех исследованных давлениях, больших $2 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$, и в области тепловых нагрузок $9 \cdot 10^4 - 9 \cdot 10^5 \text{ вт/м}^2$ удовлетворительно описывается уравнением

$$\alpha = 136 q^{1/3} p^{0,1},$$

где α , q и p выражены в единицах Международной системы единиц. При давлении $5 \cdot 10^3 \text{ н/м}^2$ интенсив-

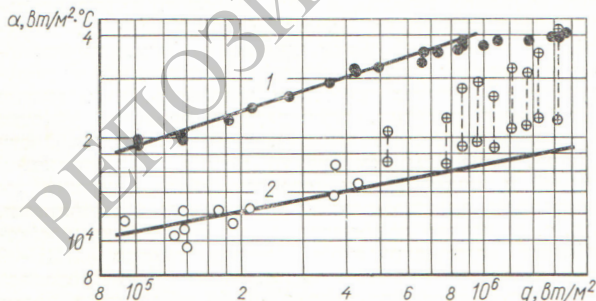


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплоотдачи от теплового потока (○, ⊕ — $p = 5 \cdot 10^3 \text{ н/м}^2$; ● — $p = 6,1 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$): 1 — $\alpha = 136 q^{1/3} p^{0,1}$; 2 — естественная конвекция (данные авторов).

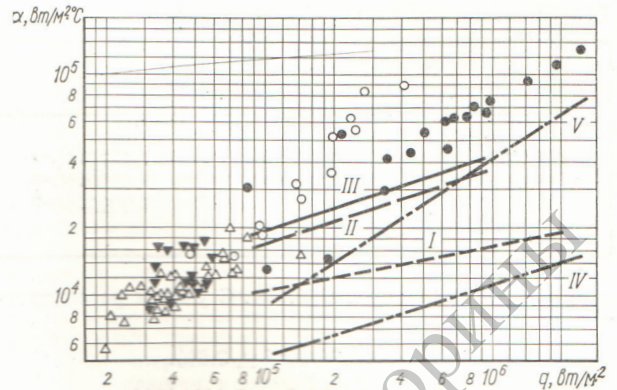


Рис. 2. Теплоотдача при кипении натрия в большом объеме:

○, ● — [1, 2] соответственно, горизонтальные трубы; △, ▼ — [4], горизонтальные и вертикальные трубы соответственно; II, III — данные авторов настоящей работы ($p = 2 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$, $p = 7,5 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$ соответственно); V — [3]; I, IV — данные авторов настоящей работы и работы [3] соответственно, естественная конвекция.

ность теплообмена уменьшается от уровня, соответствующего теплоотдаче при естественной конвекции (см. рис. 1, кривая 2), до уровня, соответствующего устойчивым режимам теплоотдачи. Данные по теплоотдаче для естественной конвекции натрия получены при избыточном давлении аргона над поверхностью металла и температурах до 840°C .

На рис. 2 полученные результаты сопоставлены с данными других авторов. Область возможных значений коэффициентов теплоотдачи (включая область неустойчивого теплообмена), найденная в наших опытах, ограничивается линиями I и III. При низких тепловых нагрузках ($q < 10^5 \text{ вт/м}^2$) указанная область включает в себя данные работ [1, 2, 4]. Существенное расхождение наблюдается между результатами настоящей работы и работы [1] при $q > 10^5 \text{ вт/м}^2$, а также настоящей и работы [2] при $q > 3 \cdot 10^5 \text{ вт/м}^2$. Результаты работы [3] при высоких тепловых нагрузках удовлетворительно согласуются с нашими экспериментальными данными, однако при низких тепловых потоках коэффициент теплообмена в работе [3] существенно занижен по сравнению с данными других исследований.

В опытах [3] получена зависимость коэффициента теплоотдачи от тепловой нагрузки $\alpha \sim q^{2/3}$, которая близка к зависимости для обычных немаetalлических жидкостей $\alpha \sim q^{0,7}$. Однако показатель степени у q при кипении натрия может иметь и другое значение, что может быть связано с особенностями процесса кипения натрия при низких давлениях, главным образом с распределением центров парообразования. Кроме того, в процессе теплообмена при кипении натрия существенную роль, по-видимому, должна играть естественная конвекция, уклад которой в теплообмен в случае кипения жидких металлов может быть значительным вследствие их высокой теплопроводности.

Поступило в Редакцию 13/VI 1966 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. Lyon et al. Chem. Engng Progr. Sympos. Series, 51, No. 17, 41 (1955).
2. R. Noyes. Trans. ASME, Ser. C., 85, 125 (1963).
3. В. И. Субботин и др. Доклад № 328, представленный СССР на Третью международную кон-

ференцию по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1964).
 4. В. М. Борисханский и др. «Атомная энергия», 19, 191 (1965).

5. В. И. Деев, А. Н. Соловьев, «Инж.-физ. ж.» VII, № 6, 8 (1964).
 6. Д. А. Лабунцов. «Теплоэнергетика», № 5 76 (1960).

Экспериментальное исследование разгонного движения стержня аварийной защиты

Р. Р. ИОНАЙТИС, Л. И. КОЛГАНОВА

УДК 621.039.566.8

Стержень АЗ, находящийся во время работы вне активной зоны, при возникновении аварийных условий в течение заданного времени вводится в активную зону.

В зависимости от вида кинематической схемы АЗ [1] стержень может двигаться в противотоке с жидкостью, в стоячей жидкости или по ее потоку (в замкнутом или разомкнутом контуре).

Опубликованных экспериментальных данных по разгонному движению стержня в канале почти нет, за исключением некоторых данных, приведенных в работах [2, 3].

Для исследования разгонного движения стержня был создан стенд, содержащий экспериментальный канал с головкой и амортизатором и гидравлический контур (рис. 1). Стержень 1 удерживается в верхнем положении при помощи электромагнитного захвата 2, а при смене стержня при помощи защелки 3 (с ручным управлением). Вставка 4 служит для плавного направления стержня в канал, внутренний диаметр которого составляет 33—68 мм. Вентили 5—7 предназначены для создания требуемого режима движения стержня. Штуцер 8 служит для продувки стенда. При помощи индуктивных датчиков 9 и фотоэлектрического датчика 10 определяется положение магнитного верхнего наконечника стержня при сбросе. В головке, амортизаторе и других местах канала и контура расположены датчики давления 11.

Внутренний диаметр исследованного канала 36 мм, высота 19 м. Стержень диаметром 30 мм и длиной 0,5—10 м составлялся из гладких алюминиевых или стальных вставок длиной 0,1—1,8 м и соединений четырех различных видов (рис. 2).

Положение вентиля, обеспечивающее определенный режим падения стержня, представлено в таблице. При помощи вентиля проводились не только качественные изменения (четыре указанных режима), но и количественные. Так, при помощи различных положений вентиля № 6 изменялось сопротивление замкнутого контура (см. кривые 1—7 на рис. 3).

Расстояния между индуктивными датчиками положения стержня выдерживались следующими (датчики 0 и 1 обозначены на рис. 1 под номером 9):

Номера датчиков	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	...	19—20
Расстояние, м	0,53	0,27	0,72	0,68	1,00	...	1,00

При каждом сбросе стержня измеряли время прохождения стержнем мерных участков (по регистрации импульсов от индуктивных датчиков положения на пленке шлейфового осциллографа МПО-2), а также рас-

ход жидкости через канал в обоих направлениях (по регистрации сигнала от датчика ДМ-6 на пленке осциллографа).

Кроме того, при помощи датчиков давления ДД-10 и преобразователя ИД-2И измеряли перепад давлений на стержне, а также температуру. Испытания про-

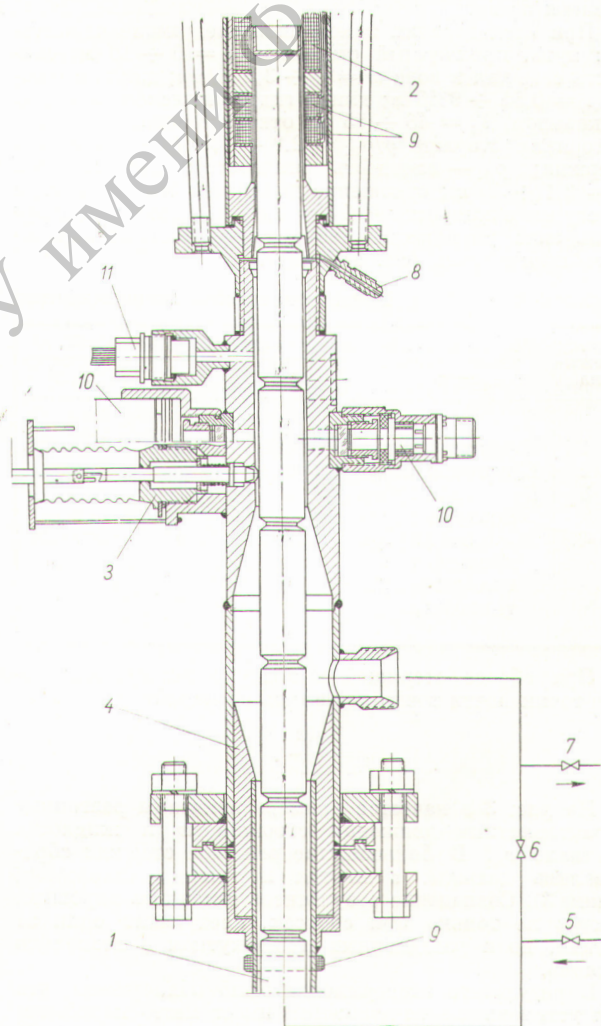


Рис. 1. Головка экспериментального канала и схема гидравлического контура.