

При выводе передаточной функции измерителя периода, на вход которого поступает сигнал, пропорциональный $\delta n/n$, приходится делать ограничение $\delta n \ll n$ [3]. В нашем случае на входную величину не накладывается никаких ограничений.

Поступило в Редакцию 2/IV 1964 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Шульц. Регулирование энергетических ядерных реакторов. М., Изд-во иностр. лит., 1957.
2. J. Franz, N. Simic. IRE Trans., Nucl. Sci., 4. No. 1, 11—14 (1957).
3. А. Р. Мирзоян, П. Н. Бриккер. «Атомная энергия», 15, 74 (1963).

УДК 621.034.553.3

Учет влияния давления на теплоотдачу при пузырьковом кипении жидких металлов

В. М. Боришанский, К. А. Жохов

Для изучения теплоотдачи при кипении жидкометаллических теплоносителей был проведен ряд экспериментов [1—7]. При этом установлено, что коэффициент теплоотдачи при кипении жидких металлов, так же как и для неметаллических жидкостей, зависит от физических свойств теплоносителей на линии насыщения, удельной тепловой нагрузки и давления (или температуры) насыщения. Учитывая, что физические свойства на линии насыщения являются однозначной функцией давления, можно написать

$$\alpha = Aq^n f(p). \quad (1)$$

Здесь α — коэффициент теплоотдачи; A — постоянный коэффициент для данного сочетания поверхности нагрева и теплоносителя; q — удельная тепловая нагрузка; p — давление насыщения; n — показатель степени.

На основании опубликованных опытных данных для пузырькового кипения жидких металлов при отсутствии на поверхности нагрева дополнительных термических сопротивлений (например, окалиний), так же как и для неметаллических жидкостей, можно в первом приближении принять $n = 0,7$. Сложнее выявить влияние давления на теплоотдачу. Сравнительно небольшое число и значительный разброс опытных точек не позволяют установить зависимость коэффициента теплоотдачи от давления непосредственно из экспериментальных данных, полученных различными авторами в узких диапазонах исследованных режимных параметров. Поэтому для установления более общей зависимости ниже дается обобщение опытов различных авторов на основе привлечения закона соответственных состояний.

Общие основы применения закона соответственных состояний в теплопередаче изложены в работах [8, 9]. В работе [9] одним из авторов статьи в критериях термодинамического подобия выполнено обобщение физических свойств различных веществ (не металлов) на линии насыщения, а также опытных данных по теплоотдаче и критическим нагрузкам при кипении неметаллических жидкостей в большом объеме. В работе [1] показана возможность обобщения физических свойств жидких металлов на основе термодинамического подобия физических свойств теплоносителей. Отсюда можно сделать вывод о практической целесообразности обобщения опытных данных по теплоотдаче при кипении жидкометаллических теплоносителей на основе присоединения к системе уравнений, описывающей явление кипения, уравнений закона соответственных состояний физических свойств.

В соответствии с работой [9] обобщение проводится в координатах

$$\frac{\alpha_p^*}{\alpha_{p_*}^*} = f(p/p_{кр}), \quad (2)$$

где $\alpha_p^* = \frac{\alpha}{q^n}$ — значение характеристики при рассматриваемом давлении p ; $\alpha_{p_*}^*$ — значение характеристики при реперном давлении $p_* = 0,003 p_{кр}$; $p_{кр}$ — критическое давление.

При такой обработке можно сопоставить данные по теплоотдаче при пузырьковом кипении металлических и неметаллических жидкостей.

На рисунке в координатах (2) сопоставлены опытные данные по теплоотдаче при кипении ртути [5], ртутно-магневых амальгам [3, 5] и натрия [4]. Здесь же для сравнения нанесены данные по теплоотдаче к кипящей воде [10—14]. Основные параметры использованных для обобщения опытных данных приведены в таблице.

Значение масштабной характеристики теплоотдачи $\alpha_{p_*}^*$ берется по опытной кривой $\alpha = f(q)$ при реперном давлении p_* .

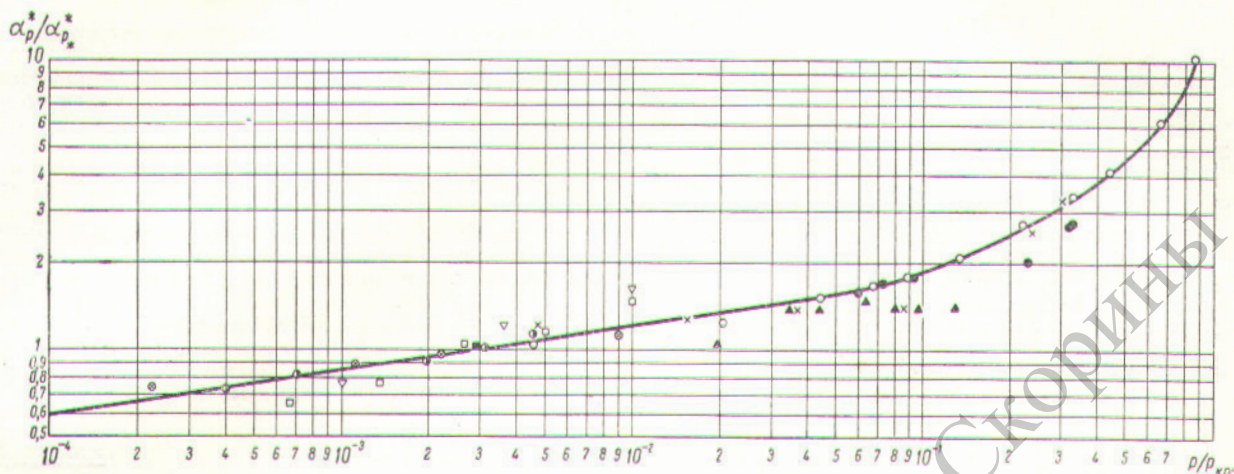
За масштаб давления в отличие от обобщения, сделанного в работе [9], выбрано значение $\frac{p_*}{p_{кр}} = 0,003$. Это вызвано тем, что опытные данные по кипению жидких металлов в основном получены для невысоких давлений насыщения.

Как видно из графика, во всей области относительных давлений $p/p_{кр}$ опытные данные для воды и металлических жидкостей согласуются. В интервале относительных давлений ($0,0004 \leq p/p_{кр} \leq 0,1$), охваченном экспериментом по изучению кипения жидких металлов, экспериментальные точки располагаются вблизи прямой линии (в логарифмических координатах) с наклоном 0,15. Разброс опытных точек не превышает $\pm 30\%$. Таким образом, зависимость теплоотдачи от давления для указанного интервала относительных давлений $p/p_{кр}$ в первом приближении можно принять близкой к степенной 0,15. В этом случае формула (2) примет вид

$$\frac{\alpha_p^*}{\alpha_{p_*}^*} = A_1 (p/p_{кр})^{0,15}. \quad (3)$$

Здесь коэффициент A_1 учитывает масштабное построение графика (см. рисунок):

$$A_1 = (p_*/p_{кр})^{-0,15} = 2,39.$$



Сопоставление опытных данных по теплоотдаче при кипении в критериях термодинамического подобия. Точки соответствуют номерам таблицы:

▲ - 1; □ - 2; ▽ - 3; ■ - 4; ○ - 5; ● - 6; ⊗ - 7; ⊙ - 8; × - 9.

Основные характеристики опытных данных, использованных для обобщения ($p_*/p_{KP} = 0,003$)

Номер	Рабочее тело	Давление, кг/см ²	Реперное давление p_* , кг/см ²	Реперная относительная теплоотдача α_{p_*}	Критическое давление p_{KP} , кг/см ²	Литература
1	Ртутно-магниева амальгама	2—14	0,321	4,1	107	[2, 3, 6]
2	Ртуть	0,068—3,1	0,321	1,1	107	[5]
3	Ртутно-магниева амальгама	0,113—1,08	0,321	2,5	107	[6]
4	Натрий	1,033	1,07	7	357	[4]
5	Вода	1,033—200	0,677	3,1	225,65	[10, 11]
6	»	1,033—74	0,677	3,1	225,65	[11]
7	»	0,05—2,02	0,677	3,1	225,65	[12]
8	»	0,09—1,082	0,677	3,1	225,65	[13]
9	»	1,033—71,4	0,677	3,1	225,65	[14]

Примечание. Показатель степени n при тепловой нагрузке q в зависимостях (1) и (4) для всех жидкостей принят равным 0,7.

Итак, в указанном интервале относительных давлений для коэффициента теплоотдачи можно принять зависимость

$$\alpha = A_1 \alpha_{p_*}^* q^n (p/p_{KP})^{0,15}, \quad (4)$$

где реперное значение относительной теплоотдачи $\alpha_{p_*}^*$ в общем случае является функцией комплекса физических свойств жидкости. Величина $\alpha_{p_*}^*$, соответствующая давлению p_* и постоянная для данной жидкости (при заданном значении $\frac{p_*}{p_{KP}} = \text{idem}$), как правило, определяется из опыта. В таблице приведены значения $\alpha_{p_*}^*$ и p_{KP} для некоторых жидкостей, рассматриваемых в настоящей работе. Если величина $\alpha_{p_*}^*$ не известна, но известно опытное значение относительного коэффициента теплоотдачи $\alpha_{p_0}^*$ при любом давлении p_0 (в интер-

вале относительных давлений $0,0001 \leq p_0/p_{KP} \leq 0,1$), то реперное значение $\alpha_{p_*}^*$ можно определить по формуле

$$\alpha_{p_*}^* = \frac{\alpha_{p_0}^*}{A_1} (p/p_{KP})^{-0,15}, \quad (5)$$

Проведенное сопоставление данных по теплоотдаче при кипении свидетельствует, по-видимому, об известной общности механизма пузырькового кипения металлических и неметаллических жидкостей, если поверхность нагрева смачивается жидкостью. Это обстоятельство делает закономерным обобщение опытных данных по кипению жидких металлов в системах, предложенных для обобщения данных по теплоотдаче обычных жидкостей, что согласуется с постановкой вопроса в работе [1].

Поступило в Редакцию 30/VI 1964 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. С. Кутателадзе и др. Жидкометаллические теплоносители. Приложение № 2 к журналу «Атомная энергия» за 1958 г. М., Атомиздат, 1958.
2. М. И. Корнеев. «Теплоэнергетика», № 4, 44 (1955).
3. М. И. Корнеев. «Теплоэнергетика», № 7, 25 (1955).
4. R. Lyon, A. Foust, D. Katz. Chem. Engng Progr. Sympos. Series., No. 17, 51 (1955).
5. C. Bonilla et al. Ibidem, 53, 51 (1957).
6. Сб. «Жидкие металлы». Под. ред. В. М. Боршанского и др. М., Госатомиздат, 1963.
7. П. А. Андреев, А. А. Канаев, Е. Д. Фе-

- дорович. Жидкометаллические теплоносители ядерных реакторов. Л., Судпромгиз, 1959.
8. И. И. Новиков. В сб. «Вопросы теплоотдачи и гидравлики двухфазных сред». М., Госэнергоиздат, 1961, стр. 7.
9. В. М. Боршанский. Там же, стр. 18.
10. В. М. Боршанский, Г. И. Бобрович, Ф. П. Минченко. Там же, стр. 75.
11. В. М. Боршанский. «Энергомашиностроение», № 7, 5 (1958); «Ж. техн. физ.», № 2 (1956); «Котлотурбостроение», № 4, 22 (1952).
12. Ф. П. Минченко, Э. В. Фирсова. См. [8], стр. 117.
13. W. Mc. Adams. Heat transmission. McGRAW-HILL BOOK COMPANY. INC. N. Y., 1954.
14. M. Cichelle, C. Bonilla. Trans. Amer. Inst. Chem. Engng, № 6, 41, 755 (1945).

УДК 543.52

Об измерении радиоактивности с поверхности водных растворов

М. А. Белокурова, Н. Е. Цветаева, М. Н. Куличенко, Л. А. Иванова

Измеряемая с поверхности водных растворов α - и β -радиоактивность [1—3] зависит не только от концентрации радиоизотопа в объеме раствора, но и от концентрации его на границе раздела фаз жидкость — воздух. Концентрация радиоактивных изотопов в поверхностном слое может значительно отличаться от концентрации в объеме раствора в зависимости от его физико-химического состояния [4—6]. Так, при измерениях α - и β -активности с мягким β -излучением ($\leq 0,2$ Мэв) величина активности определяется в основном концентрацией изотопа в поверхностных слоях, что приводит к неправильному определению радиоактивности раствора. В других случаях искажающее влияние на измерения с поверхности раствора оказывают различные растворимые примеси и взвешенные частицы.

Метод измерения радиоактивности с поверхности растворов очень чувствителен к поверхностным эффектам, поэтому он широко используется для исследования адсорбции с применением меченых атомов [5]. С помощью этого метода была обнаружена сорбция ионов кальция на поверхности раздела фаз в присутствии додецилсульфата натрия [6]. Позже [4] было установлено, что в поверхностном слое может сорбироваться до 50% кальция, введенного в щелочной раствор.

В настоящей работе излагаются результаты наблюдений за водными растворами солей Ce^{144} , Po^{210} и Pu^{239} . Ce^{144} . Из наблюдений за активностью растворов солей Ce^{144} , содержащих около 0,1 ммоль NaCl, следует, что в зависимости от кислотности раствора измеряемая с поверхности радиоактивность во времени менялась более чем на порядок (рис. 1). Установлено, что наблюдаемое во времени возрастание поверхностной радиоактивности растворов Ce^{144} при pH = 6 увеличивалось с повышением концентрации радиоизотопа в растворе. При наложении алюминиевой пластинки толщиной около 300 мг/см², полностью поглощавшей мягкие компоненты β -излучения Ce^{144} , этот эффект резко уменьшался (рис. 2).

Наблюдавшийся рост поверхностной радиоактивности является следствием сорбции церия на границе раздела воздух — вода. При этом для растворов солей

Ce^{144} $1 \cdot 10^{-4}$ кюри/л ($1 \cdot 10^{-10}$ атом/л) концентрация его в поверхностном мономолекулярном слое увеличи-

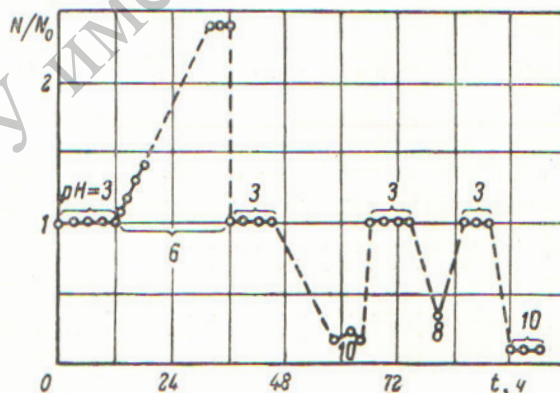


Рис. 1. Изменение во времени поверхностной радиоактивности растворов солей Ce^{144} разной кислотности.

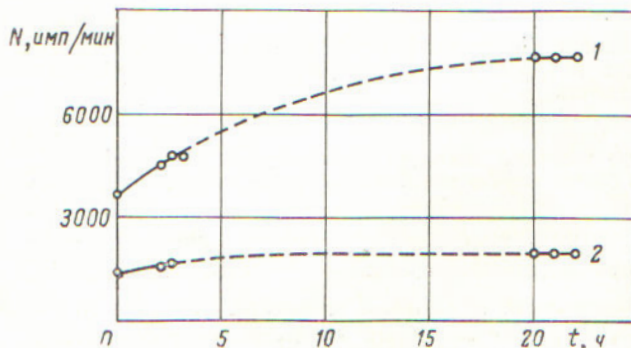


Рис. 2. Возрастание поверхностной радиоактивности растворов Ce^{144} при pH = 6 во времени: 1 — без поглотителя; 2 — с поглотителем.