

Относительная эффективность источника в условиях выбранной геометрии измерений количественно может быть оценена с учетом выхода квантов тормозного излучения цирконий-триниевого источника (по данным работы [10] она равна примерно $4 \cdot 10^{-5}$ квант/ β -частицу), а также с учетом телесных

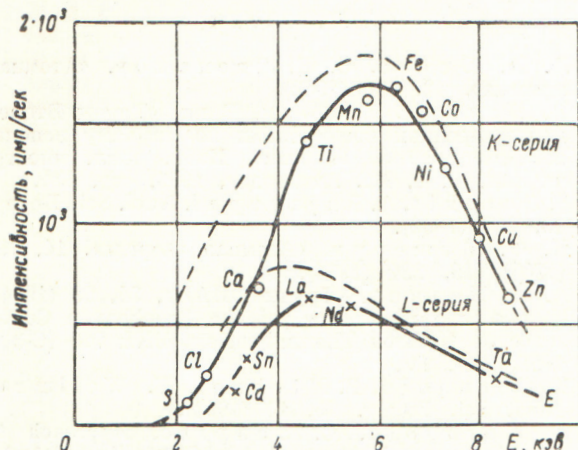


Рис. 2. Зависимость интенсивности K- и L-излучений от энергии квантов характеристического излучения (пунктир — данные с поправкой на эффективность детектора).

углов Ω_1 , под которым видна проба со стороны источника, и Ω_2 , под которым видно окно счетчика со стороны пробы. Для геометрии рис. 1 $\Omega_1 \approx 0,1$ стер и $\Omega_2 \approx 0,3$ стер. На рис. 2 приведены экспериментальные данные, полученные при выбранной геометрии для элементов с Z от 16 (сера) до 30 (цинк). Эти данные не учитывают изменений эффективности счетчика излучения в зависимости от энергии регистрируемых квантов. При расчете эффективности использованы данные о коэффициентах поглощения рентгеновского излучения для бериллия и ксенона, приведенные в работе [11].

Цирконий-триниевый источник может использоваться не только для возбуждения K-излучения элементов со средними атомными номерами, но и для возбуждения характеристического L-излучения более тяжелых элементов. На рис. 2 приведены экспериментальные данные, полученные в тех же геометрических условиях для возбуждения L-излучения ряда элементов от кадмия ($Z=48$, $E_L=3,15$ кэВ) до тантала ($Z=73$, $E_L=8,4$ кэВ). Видно, что при одинаковой энергии квантов K- и L-флуоресцентного излучения интенсивность L-излучения, регистрируемая пропорциональным счетчиком, приблизительно в два-три раза выше, чем интенсивность K-излучения.

Следует отметить, однако, что интенсивность L-излучения все же достаточно высока, поэтому цирконий-триниевые источники могут успешно использоваться для бездисперсионного рентгеноспектрального анализа по L-сериям характеристического излучения элементов в указанном выше диапазоне.

Поступило в Редакцию 15/VI 1964 г.
В окончательной редакции 13/IV 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Le Traon, G. Seibel. Internat. J. Appl. Rad. Isotopes, 14, 365 (1963).
2. Ю. П. Белин. «Атомная энергия», 18, 516 (1965).
3. C. Mellish. Research, 12, 212 (1959).
4. J. Cameron, J. Rhodes. Nucleonics, 19, № 6, 53 (1961).
5. G. Seibel, J. Le Traon, P. Martinelly. Rev. univers. Mines, 17, 260 (1961).
6. W. Kühn. Nucleonik, 4, 30 (1962).
7. T. Tanemura. Japan. J. Appl. Phys., 2, 347 (1963); 3, 208 (1964).
8. В. Н. Баронин и др. «Заводск. лаборатория», 30, 289 (1964).
9. К. И. Нарбутт и др. «Изв. АН СССР, сер. физич.», 27, 430 (1963).
10. Дж. Камерон, Дж. Роудс. В сб. «Получение и применение радиоактивных изотопов». М., Госатомиздат, 1962, стр. 63.
11. J. Taylor, W. Parrish. Rev. Sci. Instrum, 26, 367 (1955).

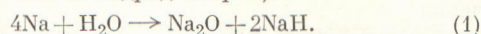
УДК 621.039.534.6

Очистка натрия от продуктов взаимодействия с водой в циркуляционном контуре

В. И. Субботин, П. Л. Кириллов, Ф. А. Козлов,
Н. Н. Ивановский, В. М. Макаров

В ядерных энергетических установках большой мощности перспективно использование парогенератора «натрий — вода» с одной теплопередающей стенкой. В этом случае улучшается его экономичность и упрощается конструкция. Однако в таком парогенераторе увеличивается опасность попадания воды в натрий. В связи с тем что в парогенераторе вода находится при значительно большем давлении, чем натрий, в результате течи парогенератора в натриевый контур может попасть значительное количество воды. Поэтому одна из важных проблем — очистка натрия от продуктов взаимодействия с водой.

В работе [1] методами химической термодинамики было показано, что при избытке натрия в результате его взаимодействия с водой образуются равновесные продукты (окись и гидрид натрия):

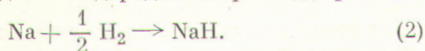


Следовательно, можно ожидать, что очистка натрия от продуктов взаимодействия с водой будет сводиться к улавливанию одновременно гидрида и окиси натрия. Очистка натрия от окиси с помощью холодных ловушек в достаточной степени отработана [2]. Об очистке натрия от гидрида и одновременно от гидрида и окиси

надежных данных нет. (В работе [3] указывается на возможность улавливания гидрида натрия с помощью холодных ловушек.) Поэтому настоящую работу проводили в два этапа: вначале изучали очистку натрия от гидрида, а затем — от продуктов реакции с водой.

Работа проводилась на обычном циркуляционном натриевом контуре. Водород или вода подавались в газовую полость бака насоса измеряемыми порциями. Для того чтобы избежать осаждения окиси и гидрида натрия на стенках газовой полости бака насоса, температура в газовой полости поддерживалась на 50—70° С выше температуры натрия. Работоспособность холодной ловушки контролировалась с помощью пробкового индикатора, описанного в работах [2, 3].

В случае попадания водорода в натрий идет реакция



Перед подачей водорода в систему путем фильтрации натрия через холодную ловушку достигали предельной степени очистки, что по пробковому индикатору соответствовало «температуре закипания» ~ 150° С. Затем холодную ловушку отключали и в бак насоса подавали определенную порцию водорода. После этого в течение нескольких часов периодически с помощью пробкового индикатора определяли температуру закипания. Спустя несколько часов после попадания водорода в натрий включали холодную ловушку и натрий фильтровали до первоначальной чистоты. Результаты измерения температуры закипания в одном из опытов приведены на рис. 1. Подобный опыт повторялся многократно и результаты наблюдались аналогичные.

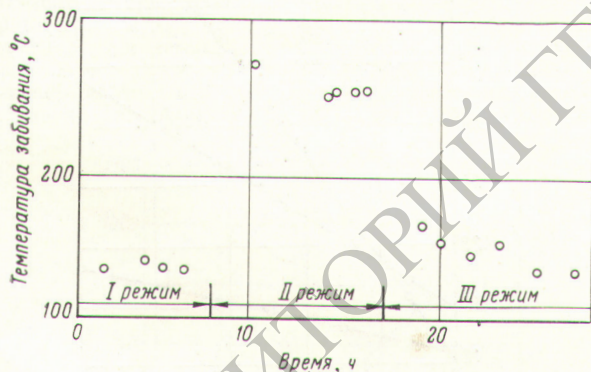


Рис. 1. Очистка натрия от водорода:

I режим — фильтрация холодной ловушкой; II режим — холодная ловушка отключена, в бак насоса подано 2,2 г водорода; III режим — фильтрация холодной ловушкой.

Опыты по очистке натрия от продуктов взаимодействия с водой [реакция (1)] проводились аналогично опытам по очистке от водорода. Результаты измерения температуры закипания в одном из опытов приведены на рис. 2. Такие же результаты получили и в других опытах. Полученные данные позволяют сделать вывод, что очистка натрия от водорода и продуктов взаимодействия с водой с помощью холодной ловушки и контроль за содержанием водорода и этих продуктов с помощью пробкового индикатора вполне эффективны.

В связи с тем что растворимость гидрида и окиси натрия в натрии различны (рис. 3), возникает вопрос о режимах работы пробкового индикатора. Из рис. 3 следует, что при температуре выше 220° С в натрий

растворяется больше гидрида натрия, чем окислов, а при температурах ниже 220° С — наоборот. Принимая во внимание, что при попадании определенной порции воды концентрация гидрида натрия составляет 0,775 от концентрации окиси натрия, можно сделать

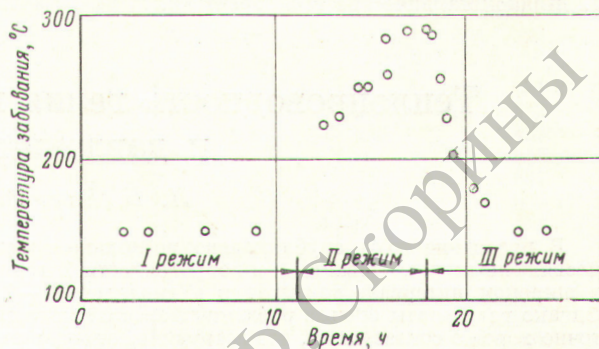


Рис. 2. Очистка натрия от продуктов взаимодействия с водой:

I режим — фильтрация холодной ловушкой; II режим — холодная ловушка отключена, подано 105 г воды; III режим — фильтрация холодной ловушкой.

вывод, что при концентрациях, соответствующих температуре закипания выше 220° С, пробковый индикатор будет реагировать на окись натрия, а при концентрациях, соответствующих температуре закипания ниже 220° С, — на гидрид натрия.

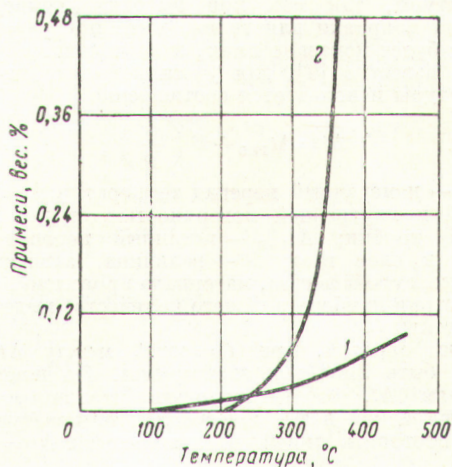


Рис. 3. Растворимость окиси (1) и гидрида (2) натрия в натрии [3].

На основании кривой растворимости гидрида натрия в натрии, а также факта закипания пробкового индикатора гидридом натрия можно заключить, что структура взвешенных гидридов натрия в натрии кристаллическая.

В заключение необходимо отметить, что особых признаков коррозионного воздействия продуктов взаимодействия натрия с водой на сталь 1X18N9T при температурах 400° С за 2000 ч замечено не было. Аналогичный результат был также получен в работе [4].

Поступило в Редакцию 1/III 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Ивановский, Ф. А. Козлов. «Атомная энергия», 17, 406 (1964).
2. П. Л. Кириллов и др. «Атомная энергия», 8, 30 (1960).
3. Жидкометаллические теплоносители. Перев. с англ.

Под ред. А. Е. Шейндлина. М., Изд-во иностр. лит., 1958.

4. А. Аморози, Дж. Евик. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии». Избр. докл. иностр. ученых. Т. 4. М., Атомиздат, 1959, стр. 477.

УДК 621.039.534.3

Теплопроводность гелия при температуре 0—1000° С и давлении 1—200 атм

Н. Б. Варгафтик, Н. Х. Зимина

В последние годы опубликовано несколько работ, посвященных исследованию теплопроводности λ гелия в широком интервале температур и давлений [1—7]. Однако результаты опытов различных авторов недостаточно хорошо согласуются, что затрудняет определение зависимости $\lambda = f(t, p)$.

Цель настоящей работы — экспериментальное изучение теплопроводности гелия в интервале температур 0—1000° С при давлении 1 атм, а также анализ опубликованных экспериментальных данных по теплопроводности этого газа при различных значениях t и p . Исследования проводились на установке, описанной в работе [8], с использованием метода нагретой нити. (Там же приводится методика расчета и обработки экспериментальных данных.)

Особое значение при обработке экспериментальных данных имеет правильность учета поправки на скачок температуры, так как при высоких температурах величина поправки для гелия, даже при $p = 1$ атм, как это будет показано ниже, значительна.

Как известно [9], для учета поправки на скачок температуры используется соотношение

$$\Delta t = \Delta t_{\text{газ}} + B \left(\frac{1}{p} \right), \quad (1)$$

где Δt — измеренный перепад температур между проволокой и внутренней поверхностью стенки измерительной трубки; $\Delta t_{\text{газ}}$ — истинный перепад температуры в слое газа; B — величина, зависящая от физических свойств газа, материала проволоки, а также от геометрии прибора и общего количества выделяемого нитью тепла Q .

Таким образом, при $Q = \text{const}$ между Δt и $1/p$ должна быть линейная зависимость. По измеренным значениям Δt , соответствующим различным давлениям при одной и той же средней температуре газа, можно построить линейную зависимость $\Delta t = f(1/p)$.

Экстраполяция Δt к величине $\frac{1}{p} = 0$ позволяет найти величину $\Delta t_{\text{газ}}$, входящую в основную формулу для определения теплопроводности газа λ методом нагретой нити:

$$\lambda = A \frac{Q}{\Delta t_{\text{газ}}}, \quad (2)$$

где A — постоянная прибора. Поправка на скачок температуры $\delta t_{\text{ск}}$ для данного давления газа при определенных температуре и геометрии прибора может быть найдена по формуле

$$(\delta t_{\text{ск}})_p = \frac{\Delta t_p - \Delta t_{\text{газ}}}{\Delta t_p}, \quad (3)$$

где индекс p соответствует давлению газа, при котором определяется величина поправки.

Для каждого значения температуры мы проводили опыты при четырех различных давлениях: 760, 360, 200 и 110 мм рт. ст. По этим значениям с целью определения $\Delta t_{\text{газ}}$ были построены зависимости $\Delta t = f\left(\frac{1}{p}\right)$ (рис. 1). В табл. 1 приведены полученные нами экспериментальные результаты. Максимальная погрешность опытов составляет 1,5% в диапазоне

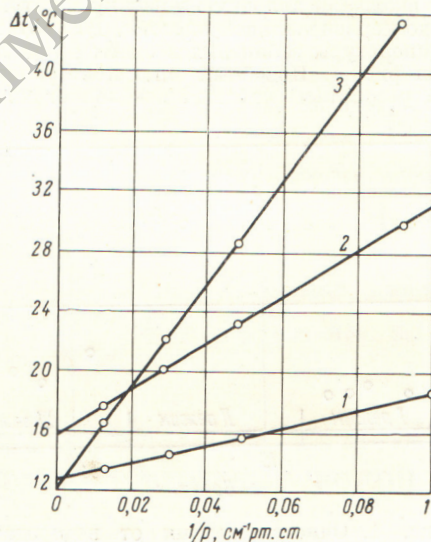


Рис. 1. Зависимость $\Delta t = f\left(\frac{1}{p}\right)$ при различных значениях температуры, °C: 1 — 355; 2 — 652; 3 — 962.

0—600° С и 2,0% в диапазоне 600—1000° С. На рис. 2 эти результаты сопоставлены с данными других авторов. Видно, что результаты настоящей работы хорошо согласуются с данными работ [2—4, 6]. На рис. 2 нет данных работы [1]. Авторы проводили опыты с одноатомными газами при $p = 350 \div 760$ мм рт. ст., и в этом диапазоне давлений они не учитывали поправку на температурный скачок, которая особенно велика для легкого газа (гелия). К сожалению, в этой работе не приведены точные значения давлений газа и, сле-