

ЛИТЕРАТУРА

1. G. Goertzel. Nucl. Energy, **2**, 193 (1956).
2. Ф. Винтерберг. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958)». Избр. докл. иностр. ученых. Т. 3. М., Атомиздат, 1959, стр. 453.
3. Н. Н. Пономарев-Степной, Е. С. Глушков. «Атомная энергия», **11**, 19 (1961).
4. И. Ф. Жежерун и др. «Атомная энергия», **13**, 258 (1962).
5. Н. Н. Пономарев-Степной и др. «Атомная энергия», **15**, 259 (1963).
6. Д. Юз. Атлас эффективных нейтронных сечений. М., Изд-во иностр. лит., 1961.
7. Kloverstrom. Nucl. Sci. and Engng, **8**, 221 (1960).
8. А. К. Красин, Е. И. Пинютин. «Атомная энергия», **18**, 174 (1965).
9. Е. И. Пинютин. «Атомная энергия», **19**, 36 (1965).

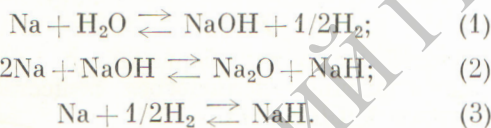
Обнаружение течи парогенератора типа натрий — вода

В. И. СУББОТИН, Ф. А. КОЗЛОВ,  
Н. Н. ИВАНОВСКИЙ, В. М. МАКАРОВ

УДК.621.039.534 6:621.039.534:44

Рассмотрен вопрос обнаружения малых течей парогенератора типа натрий - вода. Показано, что наиболее чувствительным является метод, основанный на диффузии водорода из натрия в вакуум. Сконструирован прибор и получены основные его характеристики в зависимости от температуры, концентрации водорода в натрии и скорости натрия.

При эксплуатации парогенератора типа натрий — вода необходимо контролировать его герметичность. Характерным признаком нарушения герметичности парогенератора является реакция натрия с водой:



Расчеты показывают, что равновесными продуктами этих реакций при повышенной температуре и избытке натрия являются гидрид и окись натрия, а также небольшое количество газообразного водорода в газовых полостях контура [1, 2].

Были рассмотрены следующие методы обнаружения течи парогенератора: 1) по повышению давления водорода в газовой полости парогенератора; 2) по анализу инертного газа в этой полости; 3) по повышению «температуры закипания», определяемой с помощью пробкового индикатора [3].

Недостатком двух первых методов является то, что с их помощью можно обнаружить лишь большую течь парогенератора. Недостатком пробкового индикатора является то, что он реагирует не только на водород, но и на другие примеси, а следовательно, может дать ложный сигнал о течи парогенератора.

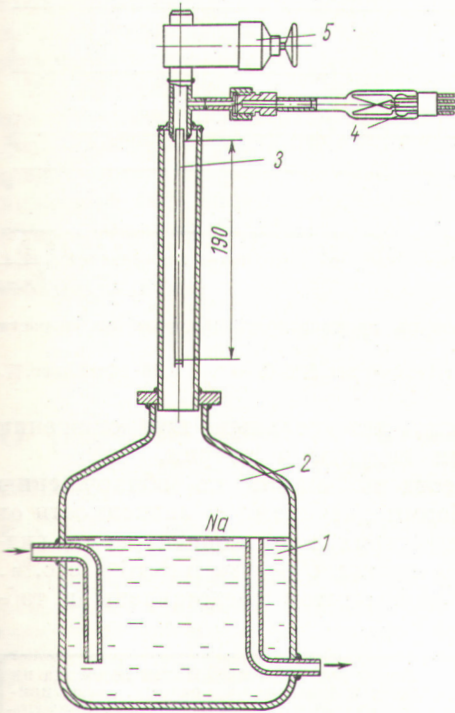
Заметим, что водород при повышенной температуре может диффундировать через конструкционный материал в вакуум не только из газовой фазы, но и непосредственно из натрия.

Конструкционными материалами, имеющими лучшую проницаемость для водорода при повышенной температуре, являются палладий, никель и железо армко [4]. Однако палладий несовместим с расплавленным натрием [5]. Никель имеет лучшую проницаемость для водорода, чем железо армко, поэтому он и был выбран в качестве материала датчиков. Конструкции датчиков, испытанных в потоке натрия и в газовой полости над циркулирующим натрием, представлены на рис. 1 и 2; схема установки с указанием мест врезки датчиков — на рис. 3.

Объем камеры, в которую поступал водород через никелевую мембрану, определялся тарировкой. Давление в камере измерялось с помощью вакуумной лампы ЛТ-2 в комплекте с вакуумметром ВТ-2. Зная объем камеры и измеряя время, за которое давление в ней возрастало на определенную величину, можно было рассчитать поток водорода через никелевую мембрану. При расчетах учитывалась неизотермичность камеры.

Предварительное разрежение в камере ( $\sim 5 \cdot 10^{-3}$  мм рт. ст.) создавалось вакуумным насосом РВН-20. Показания лампы ЛТ-2 на атмосферу водорода пересчитывались по данным работы [6].

После врезки датчиков контур вводился в работу и начиналось обезгаживание датчиков при температурах 450—500° С. Одновременно с этим с помощью холодной ловушки [7] концентрации гидрида натрия и окиси натрия

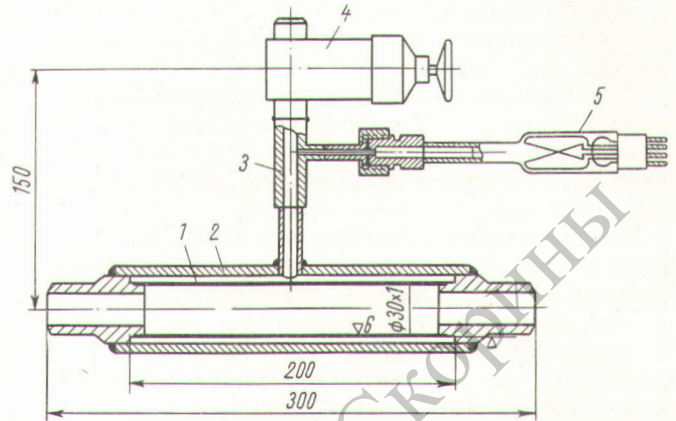


Р и с. 1. Никелевый датчик в газовой полости:  
1 — бак с натрием; 2 — газовая полость;  
3 — никелевая трубка размером  $8,5 \times 0,25$  мм;  
4 — вакуумная лампа; 5 — вакуумный вентиль.

в натрии снижались до величин, соответствующих «температуре закипания» по пробковому индикатору  $\leq 150^\circ \text{C}$ . Такая очистка натрия в процессе эксперимента производилась всегда, когда было необходимо снизить в нем концентрацию примесей. При минимальной концентрации гидрида натрия в натрии определялся фон датчиков, который составлял  $D < 0,05 \text{ см}^3/\text{ч}$ , приведенных к нормальному атмосферному давлению.

Загрязнение натрия водородом производилось введением в объем основного контура (см. рис. 3) через специальное устройство, установленное на баке насоса, известных количеств водорода или воды.

Чтобы избежать потерь гидрида натрия вследствие осаждения его в тупиковых линиях и на поверхностях в газовой полости бака насоса, были приняты специальные меры: основной контур отключался с помощью двух вентилях от вспомогательного контура; количество тупиков в основном контуре было сведено к минимуму и их гидродинамика была организована так, что они постоянно промывались

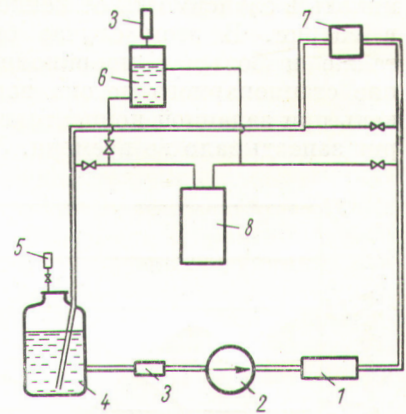


Р и с. 2. Никелевый датчик в натрии:

1 — никелевая трубка размером  $32 \times 1$  мм; 2 — трубка из сплава X18H10T размером  $48 \times 4$  мм; 3 — тройник;  
4 — вакуумный вентиль; 5 — лампа вакуумная.

потоком натрия; температура газовой полости бака насоса, а также емкости, где был установлен датчик в газе, была выше, чем температура циркулирующего натрия. Применение этих мер позволило рассчитывать концентрацию водорода (гидрида) после введения известного количества воды (водорода) в известное количество натрия, очищенного холодной ловушкой.

Специальные опыты показали, что проницаемость водорода при заданной концентрации его в натрии не зависит от того, что вводилось



Р и с. 3. Схема установки:

— основной контур; — — — вспомогательный контур; 1 — нагревательная петля низкого напряжения; 2 — центробежный насос ЦН-230; 3 — водородные датчики; 4 — бак насоса; 5 — устройство для подачи воды и водорода в газовую полость бака насоса; 6 — дополнительный бак с газовой полостью; 6 — пробковый индикатор окислов; 7 — холодная ловушка, охлаждаемая сплавом NaK.

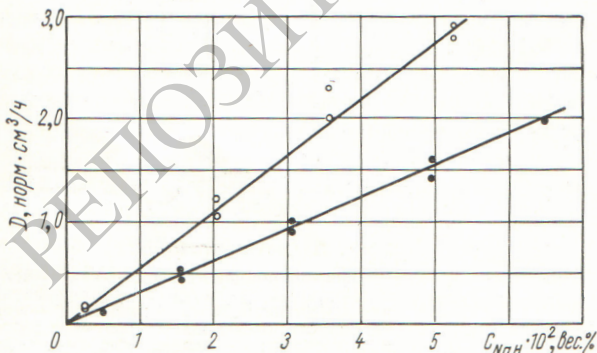
в натрий: вода или водород. Поэтому в основных опытах загрязнение натрия производилось водой.

При снятии характеристик никелевый датчик, установленный в газовой полости, во всех опытах имел температуру 450° С; датчик, омываемый натрием, — температуру циркулирующего натрия.

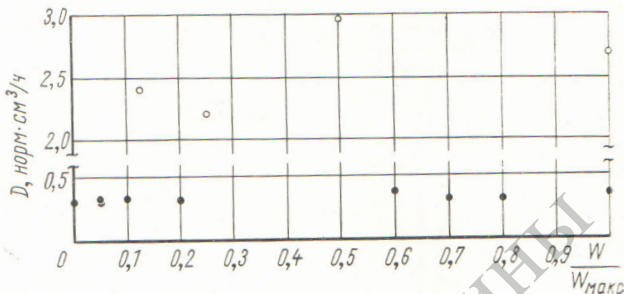
Проницаемость водорода через никель в вакуум изучалась в зависимости от концентрации гидрида натрия в натрии, температуры натрия и его скорости. Эти параметры измерялись в следующих пределах: температура натрия 270—450° С; концентрация гидрида натрия в натрии до 7·10<sup>-2</sup> вес.%; скорость натрия 0—1 м/сек.

Результаты опытов по определению проницаемости водорода в зависимости от концентрации гидрида в натрии для датчика, омываемого натрием, показаны на рис. 4. В исследованном интервале концентраций при температурах 400 и 450° С поток водорода через никель прямо пропорционален концентрации гидрида. Возможное объяснение этому заключается в том, что в случае проникновения водорода из натрия через никелевую стенку в вакуум переход водорода из натрия в никель не сопровождается реакцией Н<sub>2</sub> → 2Н, как это имеет место при диффузии из газовой фазы.

Опыты с датчиком, расположенным в газовой фазе над натрием, не дали однозначных результатов по проницаемости водорода через никель в зависимости от концентрации гидрида в натрии. В этом случае была обнаружена также и большая инерционность: установление стационарного потока водорода через никель при заданной концентрации гидрида в натрии запаздывало во времени. Это запаздывание



Р и с. 4. Зависимость проницаемости водорода  $D$  от концентрации его в натрии  $C_{NaH}$ :  
○ —  $t = 450^\circ \text{С}$ ; ● —  $400^\circ \text{С}$ .



Р и с. 5. Зависимость проницаемости водорода от скорости натрия:

○ —  $C_{NaH} = 11,1 \cdot 10^{-2}$  вес.%; ● —  $0,96 \cdot 10^{-2}$  вес.%.  
 \* Температура мембраны в газовой фазе составляла 450° С.

было особенно значительным при снижении концентрации гидрида в натрии.

Были проведены опыты по обнаружению водорода обоими датчиками в зависимости от температуры натрия при концентрации гидрида натрия в натрии  $C_{NaH} \approx 5,8 \cdot 10^{-2}$  вес.%. Результаты этих опытов представлены в таблице.

Температура натрия, °С	Поток водорода из газовой фазы, см <sup>3</sup> /ч, приведенных к нормальному атмосферному давлению *	Поток водорода из натрия, см <sup>3</sup> /ч, приведенных к нормальному атмосферному давлению
270	<0,05	<0,05
320	<0,05	<0,05
360	0,20	0,18
400	1,46	1,56

Из таблицы следует, что проницаемости водорода из газовой фазы и из натрия при определенной концентрации примерно равны, что оба датчика начинают чувствовать присутствие водорода при  $t_{Na} \geq 360^\circ \text{С}$ . Однако при анализе этих результатов следует учитывать, что температура никеля, который оказывал основное сопротивление потоку водорода, во всех опытах для датчика, омываемого натрием, была ниже температуры датчика, расположенного в газовой фазе.

При определении проницаемости водорода из натрия в вакуум в наших опытах не было обнаружено зависимости от скорости натрия (рис. 5). Это свидетельствует о том, что в данных условиях никель оказывает основное сопротивление переходу водорода из натрия в вакуум. Диффузия водорода в натрии протекает в несколько раз быстрее, чем в никеле,

поэтому интенсификация процесса массообмена за счет турбулизации потока натрия не дает ощутимого результата.

Из сказанного выше ясно, что, используя однозначную зависимость проницаемости водорода из натрия через никель в вакуум, можно создать прибор, позволяющий не только обнаруживать течь парогенератора типа натрий — вода, но и непрерывно и дистанционно определять содержание водорода в натрии и других теплоносителях.

Поступила в Редакцию 30/XII 1965 г.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Ивановский, Ф. А. Козлов. «Атомная энергия», 17, 406 (1964).
2. M. Vanus et al. J. Amer. Chem. Soc., No. 5, 2007 (1955).
3. П. Л. Кирilloв и др. «Атомная энергия», 8, 30 (1960).
4. Р. Беррер. Диффузия в твердых телах. М., Изд-во иностр. лит., 1948.
5. Жидкометаллические теплоносители. Перев. под ред. А. Е. Шейндлина. М., Изд-во иностр. лит., 1958.
6. Л. П. Ховкин. ЖТФ, XXV, 726 (1955).
7. В. И. Субботин и др. «Атомная энергия», 19, 298 (1965).

## О расчете производительности радиационно-химических аппаратов с плоским источником $\beta$ -излучения

Р. В. ДЖАГАЦПАНЯН, Ю. Г. ЛЯСКИН

УДК 541.15

Рассмотрены методы расчета производительности радиационно-химических аппаратов (р. х. а.) с плоским  $\alpha$ -источником конечной толщины в общем случае, когда скорость радиационно-химического процесса (р. х. п.) зависит от мощности дозы.

Получена формула для расчета производительности единицы поверхности источника, содержащая интеграл вида

$$\int_0^{vx} [f(vh, vx)]^{1-\varepsilon} d(vx).$$

Значения этого интеграла для различных  $vh$ ,  $vx$  и  $\varepsilon$ , полученные численным интегрированием на электронно-вычислительной машине, представлены в виде графиков.

Для сравнения указанного метода расчета производительности с методом расчета по средней поглощенной мощности дозы найдено отношение значений производительности, вычисленных этими двумя методами. Результаты вычислений показали, что в случае, когда скорость р. х. п. зависит от мощности дозы, метод расчета по средней мощности дозы для жидкофазных процессов дает большую погрешность.

Метод, предложенный в настоящей работе, может быть использован для расчета производительности различных р. х. а. с плоским источником  $\beta$ -излучения для жидко- и газофазных процессов.

Одним из наиболее интересных изотопов, получаемых из осколков деления, является  $Sr^{90}$ , который может использоваться в качестве источника  $\beta$ -излучения для различных радиационно-химических процессов в газовой и жидкой фазах. В самом деле, если учесть относительно большой период полураспада  $Sr^{90}$ , практически чистое  $\beta$ -излучение, то возможность использования его в качестве источника

излучения в различной радиационной аппаратуре становится весьма заманчивой [1]. В связи с этим в настоящей работе предпринята попытка рассмотреть метод расчета производительности р. х. а. с источником  $\beta$ -излучения. Разработанные методы расчета производительности р. х. а. применимы для тех случаев, когда в качестве источников ионизирующих излучений используются  $\gamma$ -излучатели [2, 3]. Недостатком аппаратов с источниками  $\gamma$ -излучения является то, что они нуждаются в громоздкой биологической защите. Кроме того, использование  $\gamma$ -источников для проведения р. х. п. в газовой фазе крайне неэффективно, так как  $\gamma$ -излучение очень плохо поглощается газами.

В настоящей работе рассматривается метод расчета производительности р. х. а. с плоским  $\beta$ -источником конечной толщины в общем случае, когда скорость р. х. п. зависит от мощности дозы. В литературе [4] имеются сведения об уравнениях дозовых функций для точечного, линейного и бесконечного тонкого плоского источника, а также для бесконечного плоского источника конечной толщины. Последнее из этих уравнений пригодно для практического использования при расчете р. х. а. Оно получено на основе уравнения дозовой функции от бесконечного бесконечно толстого источника:

$$\left. \begin{aligned} P &= 98,9 \cdot \bar{E} T [3 - vx(2 - \ln x)] \text{ рад/сек} \\ &\text{для } vx < 1; \\ P &= 98,9 \cdot \bar{E} T e^{1-vx} \text{ рад/сек для } vx > 1. \end{aligned} \right\} (1)$$