

УСТАНОВКА ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ В ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ МАТЕРИАЛАХ

© 2022 г. В. П. Тарасиков^{а,*}

^а ГНЦ РФ «Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского»
Россия, 249033, Обнинск Калужской обл., пл. Бондаренко, 1

*e-mail: vptarasikov@mail.ru

Поступила в редакцию 13.03.2022 г.

После доработки 01.04.2022 г.

Принята к публикации 03.04.2022 г.

Описана установка для определения количества газообразных продуктов деления, образовавшихся в процессе облучения в делящихся материалах. Для определения количества газообразных продуктов деления, вышедших под оболочку, используется метод прокола герметичной ампулы, а накопившихся в закрытых порах — метод дробления (керамик). Кроме того, установка позволяет определять диффузионную подвижность продуктов деления при нагревах и полное их количество в материале путем плавления пробы. Чувствительность определения, например, гелия составляет 0.3 мм^3 при нормальных условиях, погрешность — $\pm 5\%$ от измеряемой величины.

DOI: 10.31857/S0032816222050093

ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЯ

Метод измерения количества газообразных продуктов деления, образовавшихся в процессе облучения нейтронами в делящихся материалах (Be, В, U, Pu и т.д.), основан на определении парциальных давлений с использованием омегатронного измерителя парциальных давлений (ИПДО-2А), являющегося масс-спектрометром ионно-резонансного типа [1]. Наибольшее рабочее давление в аналитическом объеме составляет 10^{-3} Па; наименьшее регистрируемое парциальное давление — 10^{-9} Па; диапазон регистрируемых масс — от 1 до 250 атомных единиц массы (а.е.м.).

Испытуемая проба или экспериментальная ампула помещалась в объем, откачиваемый до давления порядка 10^{-2} Па. Газообразный продукт деления, выделившийся из пробы или ампулы после соответствующего воздействия, как то: нагрев, дробление, плавление, прокол, передавался в аналитический объем и анализировался ИПДО-2А, настроенным на резонансную частоту ионов газообразного продукта деления. Количественное определение велось по величине ионного тока омегатрона. Установка настраивалась для количественного определения гелия, образованного после нейтронного облучения в карбиде бора по реакции $^{10}\text{B} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^7\text{Li} + ^4\text{He} + 2.78 \text{ МэВ}$ [2]. Чувствительность определения гелия составляет 0.3

мм^3 при нормальных условиях, погрешность — $\pm 5\%$ от измеряемой величины.

УСТРОЙСТВО УСТАНОВКИ

Принципиальная схема установки показана на рис. 1. Она состоит из четырех оперативных узлов: механизмов прокола и дробления, печей для отжига и плавления, которые смонтированы в тяжелом защитном боксе. Защитный бокс рассчитан на работу с активностями до 1 Ки (37 ГБк) и снабжен манипуляторами для проведения работ дистанционным способом. Остальное оборудование: система вакуумной откачки, коллекторы с вентилями, балластные емкости, а также аналитическое устройство с омегатронным измерителем парциальных давлений (ИПДО-2А) и дозатором — размещается в операторской.

ОПЕРАТИВНЫЕ УЗЛЫ

К оперативным узлам установки относятся механизмы прокола и дробления, а также печи для отжига и плавления.

Механизм прокола предназначен для прокола герметичных ампул с образцами, облученными в реакторах, и представляет собой вакуумную разъемную камеру. Прокол ампулы осуществляется иглой с помощью винтового механизма.

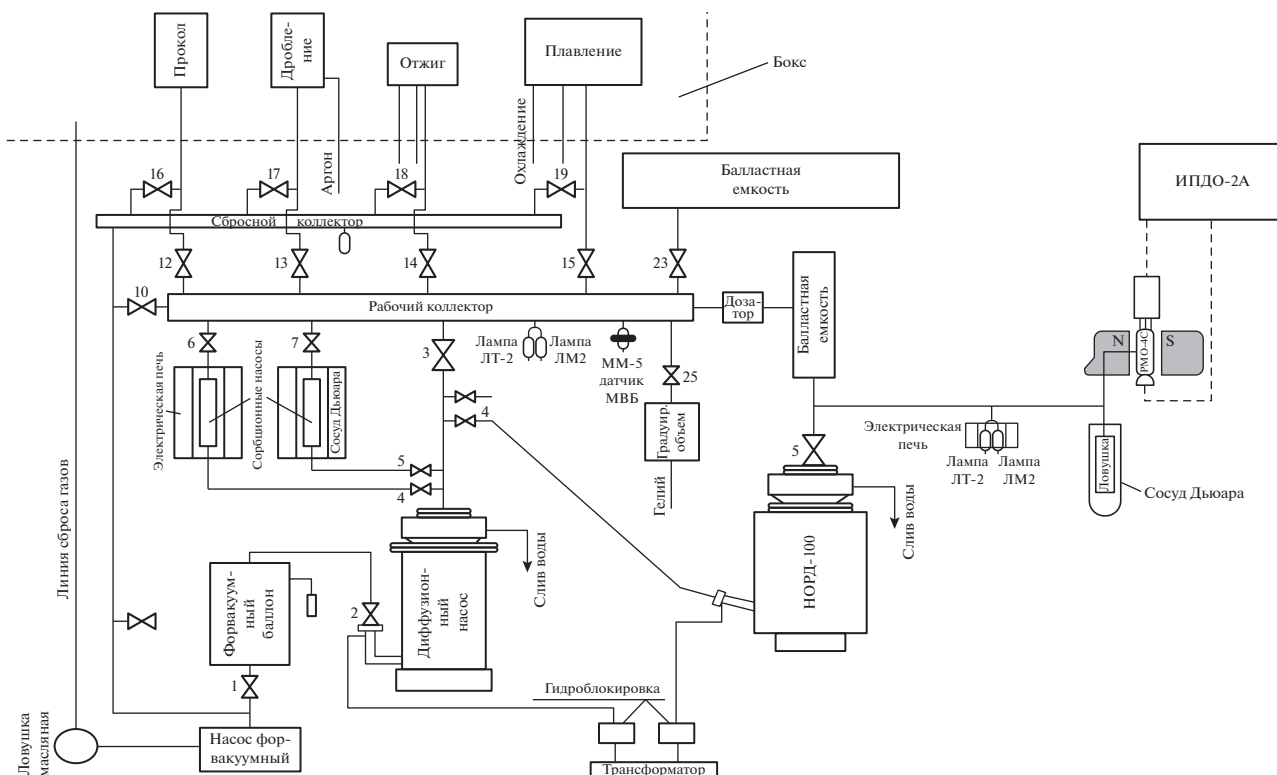


Рис. 1. Принципиальная схема установки.

Механизм дробления предназначен для измельчения керамической пробы на анализ газов, накапливающих в закрытых порах материала в процессе облучения. Механизм представляет собой стакан-матрицу и боек-пуансон, последний с помощью ударного механизма приводится в движение сжатым воздухом через резиновое вакуумное уплотнение – сальник.

Печь отжига предназначена для изучения кинетики выхода газов из облученных материалов при различных температурах. Облученный материал помещается в печь для исследования в разъемной вакуумной ампуле.

Печь плавления применяется для определения количества накопленного в материале газа при плавлении пробы.

Все оперативные узлы соединены вакуумпроводами с рабочим и сбросным коллекторами. Рабочий коллектор соединен через дозатор с аналитическим объемом. В сбросном коллекторе динамический вакуум поддерживается на уровне 10^{-1} Па, а в рабочем обеспечивается статический вакуум 10^{-2} Па.

В аналитическом объеме статический вакуум 10^{-5} Па поддерживается с помощью магниторазрядного (НОРД-100) [3] и сорбционного насосов.

Для расширения диапазона измерений в рабочий коллектор добавлена балластная емкость. Установка снабжена дозирующим приспособлением для градуировки по исследуемому газообразному продукту. Для этого используется баллонный газ высокой чистоты. В связи с тем, что сорбционные насосы, хотя и в очень незначительных количествах, могут поглощать исследуемый газ [4], систему перед градуировкой и анализом необходимо промывать исследуемым баллонным газом.

С помощью градуировочного объема определяется градуировочная кривая зависимости ионизационного тока от количества поданного из баллона газа. Градуировочные кривые по гелию приведены на рис. 2.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Установка позволяет проводить измерения поочередно на любом оперативном узле. При этом методика измерения количества газообразного продукта деления для всех узлов одинакова. В данной статье описывается методика на примере печи плавления при исследовании гелия, образованного в карбиде бора после облучения по реакции (n, He).

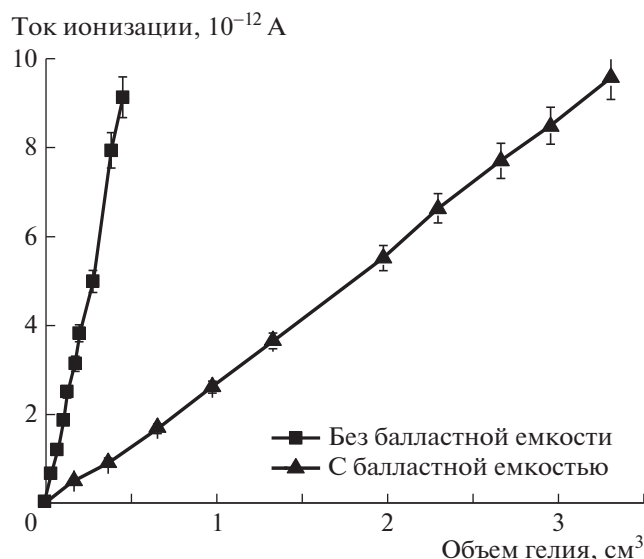


Рис. 2. Градуировочные зависимости тока ионизации от объема гелия.

В печь плавления загружается проба весом от 1 до 3 мг, после чего печь накрывается колпаком, и система через вентили откачивается насосами до давления 10^{-2} Па. Проводится отжиг и откачка сорбционных насосов рабочего коллектора, в аналитической части обеспечивается давление $\sim 10^{-5}$ Па. По достижении указанных давлений вентили закрываются и подключаются сорбционные насосы к рабочему коллектору. На печь подается напряжение, и после достижения температуры печи $\sim 3000^{\circ}\text{C}$ проба выдерживается 5–10 с. При этом материал пробы расплавляется с выделением газообразных продуктов. Затем печь выключается, а выделившиеся газообразные продукты выдерживаются в рабочем коллекторе примерно 1 ч, в течение которого гелий (в нашем эксперименте) очищается от возможных примесей, так как большинство из них поглощается сорбционными насосами с угольным сорбентом [5]. По истечении этого времени часть газа через дозатор из коллектора перепускается в аналитическую часть, и на приборе ИПДО-2А замеряется ток ионизации, а по градуировочным кривым определяется количество газа (гелия) в исследуемой пробе.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

На установке газового анализа проведено измерение распределения накопившегося гелия в таблетках карбида бора: по высоте и сечению всех исследованных поглощающих элементов и экспериментальных ампул после облучения, а также после высокотемпературных отжигов. Результаты

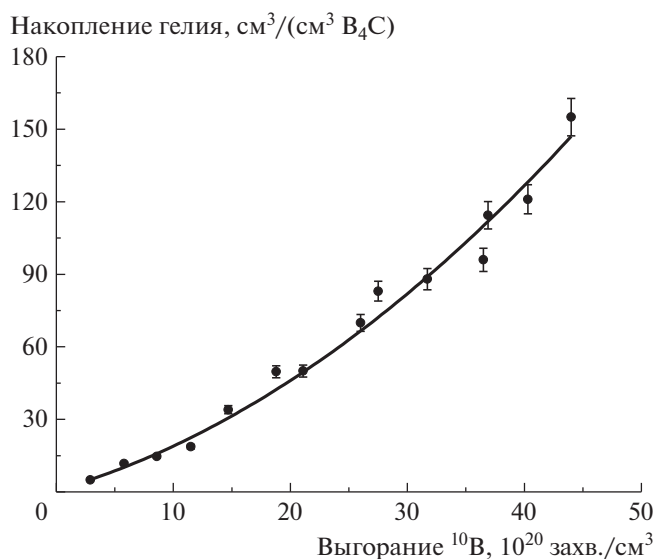


Рис. 3. Накопление гелия в карбиде бора, облученного в реакторах БН-350 и БН-600.

исследований использованы во многих работах и для наглядности приведены на рис. 3, 4 [2, 6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная установка позволяет с достаточно хорошей точностью определять количество гелия, вышедшего под оболочку и накопившегося в материале, а также изучать кинетику выхода гелия из облученного карбида бора в различных температурных режимах.

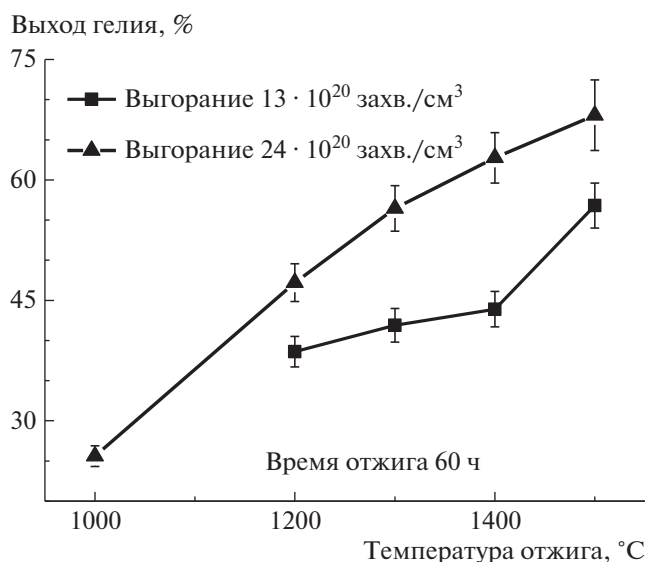


Рис. 4. Выход гелия из облученного карбида бора в зависимости от температуры отжига.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Измеритель парциальных давлений омегатронный (ИПДО –2А). Паспорт. Каунасский институт радиоизмерительной техники. 1974.
2. Бобков В.П., Блохин А.И., Румянцев В.Н., Соловьев В.А., Тарасиков В.П. Справочник по свойствам материалов для перспективных реакторных технологий. Т. 3. Свойства поглотителей нейтронов. Книга 1. Бор и его соединения / Под общей ред. д.т.н. профессора В.М. Поплавского. М.: Изд-во атомной техники (ИздАТ), 2013. ISBN: 978-5-86656-268-8.
3. Насос магниторазрядный диодный охлаждаемый НМДО-0,1.1 (НОРД-100). Техническая документация ГОСТ 5.413-70 Группа Г82.
4. Арефьев А.В., Максимов С.П. Сорбция воздуха цеолитами, силикагелями, алюмогелями и активированными углями при температуре жидкого азота и низких давлениях. М.: ИАЭ-840, 1965.
5. Фастовский В.Г., Ровинский А.Е., Петровский Ю.В. Инертные газы. М.: Атомиздат, 1964.
6. Тарасиков В.П. // Атомная энергия. 2009. Т. 106. Вып. 3. С. 173.