

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛОВУШКА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ТРИТИЯ

Л. Ф. Беловодский, А. С. Хапов, В. Г. Киселев, А. С. Рохманенков

ВНИИА им. Н. Л. Духова, Москва
vniia4@vniia.ru

При гидрировании мишеней отпаянных нейтронных трубок для нейтронных генераторов используется тритий. Гидрирование мишеней проводят на установках насыщения, прообразом которых является установка Сивертса. В качестве источника трития обычно используют ловушку с тритидом металла или сплава.

Во ФГУП «ВНИИА» создана технологическая ловушка для хранения трития, корпус которой изготовлен из алюмооксидной керамики методом изостатического прессования. Емкость ловушки – до 37 ТБк (1000 Ки) трития.

Для выделения трития из ловушки применяется высокочастотный индукционный нагрев.

Ловушка с корпусом из алюмооксидной керамики существенно снижает потери трития и нагрузку на систему очистки среды бокса от трития при гидрировании мишеней нейтронных трубок для портативных нейтронных генераторов.

Введение

Ранее для гидрирования мишеней нейтронных трубок использовалась установка, прообразом которой является установка Сивертса. Условная схема подобной установки представлена на рис. 1: в рабочую камеру с предварительно подготовленными для гидрирования заготовками мишеней напускали отмеренную при помощи калиброванного объема порцию трития. Между операциями гидрирования тритий хранился в ловушке в форме тритида урана. В зависимости от типа в мишени находилось (0,02 до 2) ТБк трития (от долей Кюри до 50 Ки), поэтому до полного израсходования трития ловушка претерпевала многократные циклы нагрева/охлаждения.

В настоящее время установка для гидрирования мишеней при полном сохранении идеологии установки Сивертса, претерпела существенные изменения, продиктованные, прежде всего, требованиями радиационной безопасности. Все детали и сборочные единицы установки изготовлены из металлов или сплавов (в подавляющем большинстве случаев – из нержавеющей стали). Сама установка размещается в герметичном перчаточном боксе с инертной газовой средой (аргона или азота) и непрерывной очисткой этой среды от трития. В качестве источника трития в такой установке используется специальная технологическая ловушка, которую заполняют тритием от транспортной ловушки с использованием специальной установки диспенсирования. Активность трития в технологической ловушке может быть от 4 до 11 ТБк (100–300 Ки), что определяется номенклатурой и количеством насыщаемых

мишеней. В отличие от транспортной ловушки предприятия-поставщика трития, технологическая металлическая ловушка имеет неразъемный корпус и не требует водяного охлаждения во время десорбции из нее трития.

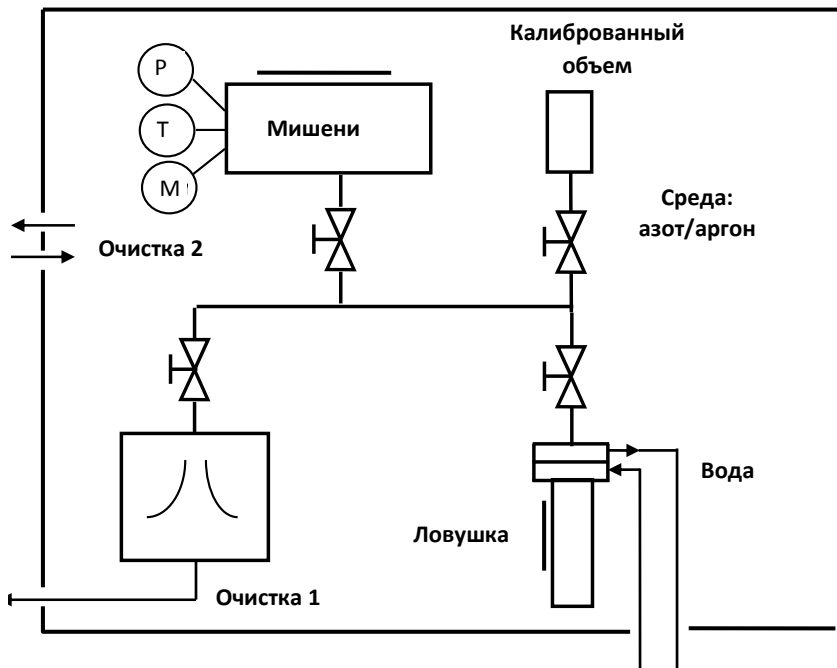


Рис. 1. Упрощенная схема установки для гидрирования мишеней

Так как корпус технологической ловушки изготовлен из нержавеющей стали, уже после нескольких операций гидрирования мишеней содержание трития на внешней поверхности ловушки становится таким, что приводит к ухудшению радиационной обстановки и в соответствии с санитарными правилами [1] требуются специальные меры для защиты персонала.

Во «ВНИИА» создана технологическая ловушка для хранения и десорбции трития с корпусом из алюмооксидной керамики. Ловушка предназначена для работы в установках гидрирования мишеней тритием.

Технологическая ловушка для хранения и десорбции трития с корпусом из алюмооксидной керамики

Возможность использования алюмооксидной керамики в качестве конструкционного материала для изготовления устройств, содержащих тритий при повышенной температуре, основана на результатах исследований, представленных в [2]. На основании этих результатов были запатентованы способ хранения и выделения изотопов водорода и устройство для его осуществления [3]. Конструкция ловушки описана в [4].

В качестве носителя трития в ловушке, предназначенной для гидрирования мишеней, традиционно использован обедненный уран, достоинства которого для данного применения описаны, например, в [5, 6]. Ловушка

(см. рис. 2) состоит из двух частей: капсулы, изготовленной из алюмооксидной керамики методом изостатического прессования, и подсоединенного к ней через фланцевое соединение вентиля. Внутри капсулы находится стальной контейнер с тритидом обедненного урана. Для предотвращения миграции мелкодисперсного порошка урана (гидрида урана) за пределы ловушки между вентилем и капсулой установлен фильтр из пористой стали. Для десорбции трития необходимо нагреть контейнер с тритидом урана. Это можно сделать двумя способами: нагревом керамической капсулы (и опосредованно – контейнера с тритидом урана), например, при помощи съемной печи сопротивления, либо индукционным нагревом непосредственно контейнера с тритидом урана.



Рис. 2. Фотография ловушки для хранения трития с корпусом, изготовленным из алюмооксидной керамики методом изостатического прессования

Упрощенная схема установки для диспенсирования (перепуска) трития из транспортной ловушки завода-изготовителя в технологические ловушки установки гидрирования мишеней приведена на рис. 3.

Установка предстает собой вакуумный коллектор, к которому через вакуумные вентили могут подсоединяться транспортная и технологические ловушки, а также калиброванные объемы. Установка оснащена средствами измерения вакуума, температуры и давления. Выхлоп из средств создания вакуума отправляется в установку очистки от трития. Сама установка диспенсирования размещается в герметичном перчаточном боксе с нейтральной газовой средой (азот или аргон), непрерывно очищаемой от трития.

Для выделения трития транспортную ловушку нагревают печью сопротивления. Требуемую порцию трития отмеряют при помощи одного из калиброванных объемов (по величине давления и температуры). Если необходимо, то перед заполнением тритием технологические ловушки активируют (нагревают) либо при помощи печи сопротивления, либо индукционным нагревом.

Выделяемые из ловушки газы направляют в установку очистки от трития («Очистка 1» на рис. 3).

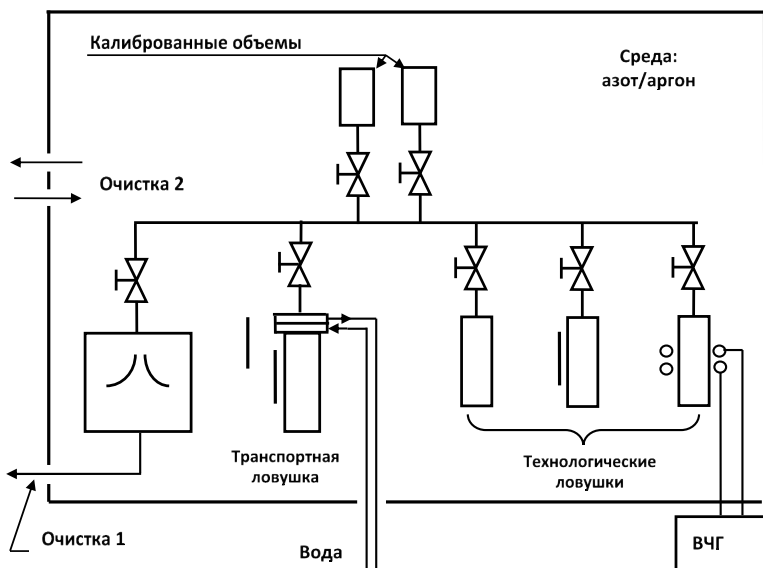


Рис. 3. Упрощенная схема установки диспенсирования трития

На рис. 4 представлены экспериментально полученные зависимости давления трития (P) в ловушке с подсоединенным к ней объемом $\sim 30 \text{ см}^3$ и температуры внешней поверхности керамического корпуса ловушки (T) от времени индукционного нагрева при потребляемой мощности $\sim 350 \text{ Вт}$.

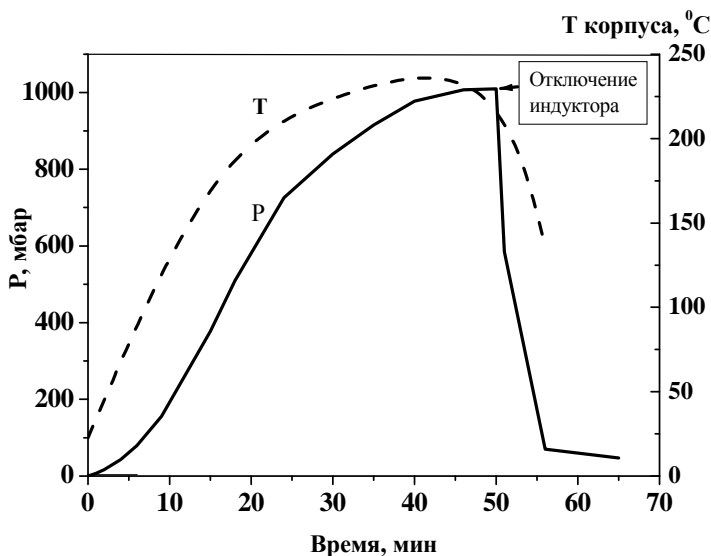


Рис. 4. Зависимости от времени индукционного нагрева давления трития и температуры внешней поверхности корпуса ловушки

Специалисты «ВНИИА» создали численную модель водородопроницаемости через стенки керамической ловушки при гидрировании мишеней. Модель учитывает диффузию водорода и теплопроводность материалов ловушки. Давление трития внутри ловушки полагалось равным 100 мбар, нагрев тритида урана – до 670 К. Расчет показал, что, хотя проникновение трития через керамику практически отсутствует, незначительная его диффузия происходит через металлическое соединение, при помощи которого осуществляется переход от керамического корпуса к герметизирующему стальному фланцу. На рис. 5 представлена зависимость активности трития, прошедшего через корпус ловушки, от количества циклов нагрева/охлаждения при содержании трития 37 ТБк (1000 Ки). Из графика видно, что даже после двухсотого цикла активность выхода трития меньше 0,24 ГБк (6,5 мКи) за цикл.

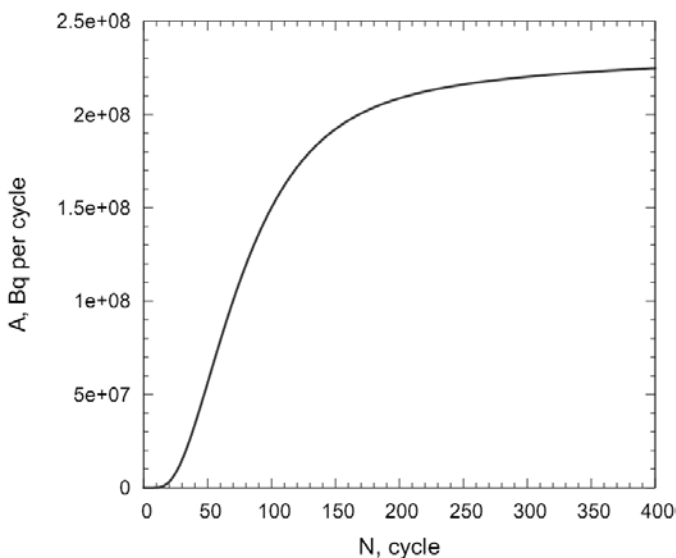


Рис. 5. Зависимость активности выхода трития через стенки ловушки от номера цикла нагрева/охлаждения

Заключение

Ловушка с корпусом из алюмооксидной керамики существенно снижает потери трития и нагрузку на систему очистки среды бокса от трития при гидрировании мишеней нейтронных трубок для портативных нейтронных генераторов.

Список литературы

1. Санитарные правила СП 2.6.1.05-04. Радиационная безопасность при работе с тритием и его соединениями (СП РБ-РТС-04).
2. Yukhimchuk A. A., Khapov A. S., Maksimkin I. P., Baluev V. V., Boitsov I. E., Vertey A. V., Grishechkin S. K., Kiselev V. G., Malkov I. L., Musyaev R. K., Popov V. V., Sitdikov D. T. Application of Nonporous Alumina

Based Ceramics as Structural Material for Devices Handling Tritium at Elevated Temperatures // *Fusion Science and Technology*. 2015. Vol. 67. P. 662–665.

3. Максимкин И. П., Баранов С. В., Валеев С. М.-А., Зайцев А. Б., Юхимчук А. А., Хапов А. С., Киселев В. Г., Целлер А. Р., Балувев В. В. Способ хранения и выделения изотопов водорода и устройство для его осуществления // Патент РФ № 2556110, зарегистрирован 15.06.2015.

4. Khapov A. S., Grishechkin S. K., Kiselev V. G. A Uranium Bed with Ceramic Body for Tritium Storage // *Fusion Science and Technology*. 2015. Vol. 67. P. 412–415.

5. Kolasinski R. D., Shugard A. D., Tewell C., Cowgill D. F. Uranium for hydrogen storage applications: A materials science perspective // SAND2010-5195. August 2010.

6. Tritium handling and safe storage // DOE-HDBK-1129-2008.