



Сборник докладов  
Четвертой Международной  
конференции и Шестой  
Международной Школы  
молодых ученых и  
специалистов  
ISHM'10  
Воронеж, 05–10 июля 2010 г.

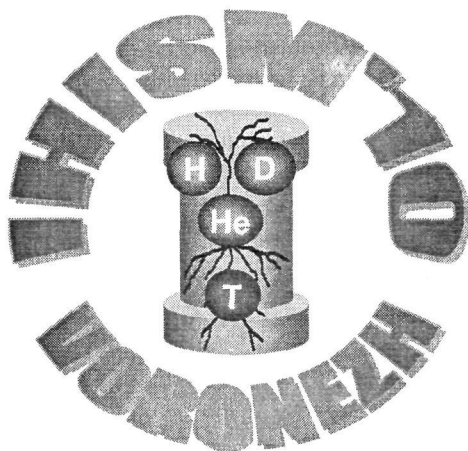
**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА  
С КОНСТРУКЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ  
(ISHM'10)**



ФГУП  
"РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР –  
ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ"

Сборник докладов Четвертой Международной конференции  
и Шестой Международной Школы молодых ученых  
и специалистов. IHISM'10

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА  
С КОНСТРУКЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ.  
IHISM'10**



г. Воронеж, 05–10 июля 2010 г.

Под редакцией доктора технических наук А. А. Юхимчука

Саров  
2011

ББК 24.121  
В-40  
УДК 564.11

**Взаимодействие изотопов водорода с конструкционными материалами. IHISM'10.** Сборник докладов Четвертой Международной конференции и Шестой Международной Школы молодых ученых и специалистов. IHISM'10. Под ред. д.т.н. А. А. Юхимчука – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2011.

ISBN 978-5-9515-0107-3

Сборник содержит доклады, представленные на Четвертую Международную конференцию и Шестую Международную Школу молодых ученых и специалистов «Взаимодействие изотопов водорода с конструкционными материалами. IHISM'10».

Материалы представлены по следующим темам: кинетика и термодинамика взаимодействия изотопов водорода с твердыми телами, включая эффекты накопления радиогенного гелия, влияние изотопов водорода на свойства конструкционных материалов, гидриды и гидридные превращения, аппаратура и методы исследования.

Рекомендовано в качестве учебного пособия для студентов технических ВУЗов и техникумов, изучающих взаимодействие водорода и его изотопов с конструкционными материалами.

Печатается с оригинальных текстов авторов

Составители:

*А. А. Юхимчук, А. В. Бучирин*

ISBN 978-5-9515-0107-3

© ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2011

<i>Чепель В. Е., Компаниец Т. Н., Юхимчук А. А.</i> Исследование теплопроводности прессованного порошка сплава $(Ti_{0,9}Zr_{0,1})_{1,1}CrMn$ в среде водорода высокого давления.....	226
<i>Любименко Е. Н., Гольцова М. В., Глухова Ж. Л.</i> Явление водородоупругости для палладиевой пластинки и формирование градиентного $PdH_x$ сплава.....	237
<i>Бушмин Б. В., Глаговский Э. М., Денисов Е. А., Дубровский Ю. В., Иванова С. В., Колпаков А. Я., Селезнева Л. В., Хазов И. А.</i> О результатах разработки защитных вакуумных ионно-плазменных покрытий, снижающих поглощение водорода циркониевыми изделиями.....	245
<b>Секция 4. Аппаратура и методы исследования</b>	
<i>Попов В. В.</i> Математическое моделирование физико-химических процессов в металлогидридном топливном баке.....	256
<i>Лобко В. Н.</i> Сравнительный анализ интегрального и дифференциального вариантов метода проницаемости. Математический аппарат. Эксперимент.....	270
<i>Волков А. Ф., Гольцов В. А.</i> Диффузионные фильтры изотопов водорода.....	283
<i>Изгородин В. М., Пепеляев А. П.</i> Применение метода регистрации вторичного излучения трития при исследованиях насыщенности и истечения изотопов водорода для некоторых сталей.....	287
<i>Стеньгач А. В., Тарасова А. И., Голубева В. Н., Миронова И. М.</i> Выбор оптимальных температурно-временных режимов перераспределения трития в титане для последующего его захоронения.....	299
<i>Стеньгач А. В., Казаковский Н. Т., Голубева В. Н., Тарасова А. И., Масленникова О. Б., Пурьева А. П.</i> Применение нанодисперсного пористого углерода и гидридообразующих металлов при детритировании конструкционных материалов.....	303
<i>Хапов А. С., Киселёв В. Г.</i> Особенности организации работ с тритием в ФГУП «ВНИИА им. Н. Л. Духова».....	306
<i>Порошин А. В.</i> Статистический метод оценки безвозвратных потерь ядерных материалов.....	315
<i>Лумтеева Т. П., Волков А. Ф., Гольцова М. В.</i> Организация «водородного» образования в ВУЗе.....	323
<b>Список участников</b> .....	327
<b>Авторский указатель</b> .....	337

## ДИФфуЗИОННЫЕ ФИЛЬТРЫ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА

А. Ф. Волков, В. А. Гольцов<sup>1</sup>

Донецкий национальный технический университет

afv@fizmet.dgtu.donetsk.ua,

<sup>1</sup>goltsov@physics.dgtu.donetsk.ua

*В работе описана конструкция диффузионного фильтра изотопов водорода с диффузионным элементом трубчатого типа. Производительность аппарата по протию в 1,5 раза выше, чем по дейтерию. Диффузионный фильтр очищает водород от примесей до уровня фоновых значений.*

Выделение сверхчистого водорода из водородсодержащих газовых смесей с помощью мембран (диффузионных фильтров) интенсивно изучалось во второй половине XX века и получило название «водородная мембранная технология» [1]. Водородная мембранная технология позволяет решать различные научные, технические и технологические задачи.

При конструировании и изготовлении аппаратов диффузионной очистки конструкторы и изготовители неизбежно сталкиваются с проблемами материаловедческого и сварочного характера. В диффузионных аппаратах приходится иметь дело как минимум с двумя различными классами материалов: мембранными и конструкционными. Достаточно хорошо разработанными и изученными являются мембранные материалы. Конструкционные материалы должны быть хорошо совместимы с мембранными сплавами по термическому расширению, электрохимическому потенциалу, отсутствию контактного плавления и многим другим признакам. Важно также чтобы эти сплавы имели сходные циклы термообработки.

Использование диффузионных фильтров для выделения водорода из газовых смесей основано на способности металлических мембран из сплавов палладия избирательно фильтровать изотопы водорода на атомном уровне. Разработанные сплавы типа В и водородная мембранная технология в 1988 году отмечены Золотой медалью Лейпцигской ярмарки. Мембраны могут быть выполнены либо в виде тонкой фольги, либо в виде тонкостенной трубки.

В статье обобщен опыт работы по изготовлению и эксплуатации аппаратов для диффузионной очистки изотопов водорода. Основным функциональным компонентом фильтра является диффузионный элемент. Его изготовление требует учета многих физико-механических свойств используемых сталей и сплавов, а также технологических приемов работы с ними. В работе рассмотрены вопросы изготовления диффузионного элемента трубчатого типа. В этом случае фильтрующий элемент представляет собой тонкостенную трубку из сплава палладия, вмонтированную в коллектор (рис. 1).

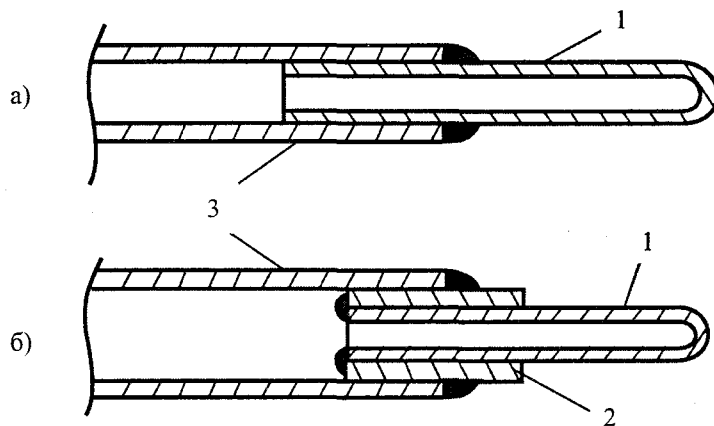


Рис. 1. Варианты изготовления диффузионного элемента: 1 – палладиевая трубка; 2, 3 – коллекторы из нержавеющей стали

В настоящей работе использовался палладиевый сплав В-2 [2], из которого изготовлена трубка диаметром 2,5 мм и толщиной стенки 0,12 мм. Крепление палладиевого элемента 1 к коллектору 3 (рис. 1) можно осуществить различными способами, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. На рис 1, а представлен вариант, в котором палладиевая трубка крепится в коллекторе пайкой на припой ПСР. Такой способ достаточно технологичен, прост, удобен в изготовлении. Однако использование припоя ПСР, содержащего серебро, приводит к изменению химического состава сплава, что сказывается на его эксплуатационных свойствах. Поэтому предпочтительнее вариант, представленный на рис. 1, б. В этом случае палладиевая трубка крепится в коллектор из нержавеющей стали с помощью сварки. Недостатком такого способа является плохая свариваемость этих материалов. Но при соответствующем подборе режимов и условий сварки удастся получить надежный элемент. Были изготовлены два варианта таких элементов. В первом случае сварку осуществляли непрерывной дугой в атмосфере аргона, а во втором – импульсной микроплазменной сваркой. Оба таких элемента показали достаточно высокую надежность при испытаниях работы фильтра. Однако длительность таких испытаний была небольшой. Для ответа на вопрос о надежности того или иного элемента необходимы дополнительные исследования с длительным ресурсом испытаний.

Сборочный чертеж диффузионного фильтра представлен на рис. 2. Принципиально аппарат для диффузионной очистки водорода состоит из корпуса, в котором расположен диффузионный элемент. Подача водородсодержащей газовой смеси и отвод очищенного водорода осуществляют по соответствующим каналам. Корпус диффузионного фильтра целесообразно изготавливать из стали Х18Н10Т. Выбор этого материала объясняется хорошими механическими и газодиффузионными свойствами при работе в водороде. Корпус диффузионного фильтра помещают в нагревательную печь таким образом, чтобы фильтрующий элемент находился в изотермической зоне.

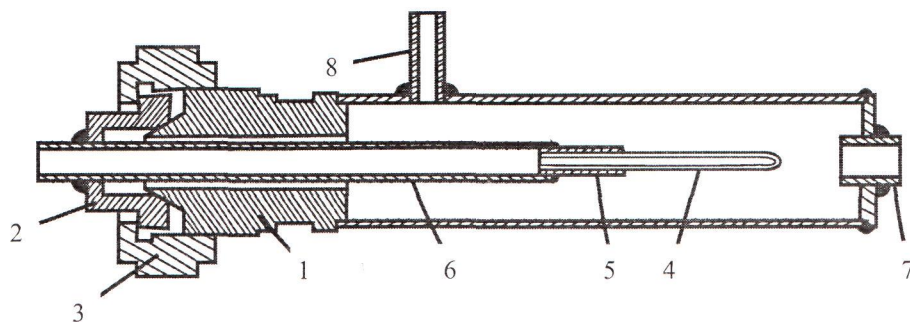


Рис. 2. Сборочный чертеж диффузионного фильтра изотопов водорода: 1 – штуцер; 2 – ниппель; 3 – гайка; 4 – диффузионный элемент; 5 – коллектор; 6 – отвод чистого водорода; 7 – патрубок подачи водородсодержащей газовой смеси; 8 – патрубок отвода примесей

Предлагаемая конструкция диффузионного фильтра имеет ряд преимуществ. Во-первых, все элементы конструкции соединены сваркой, что значительно повышает чистоту аппарата. Во-вторых, конструкция разборная, что позволяет, в случае необходимости, легко провести регламентное обслуживание или замену диффузионного элемента. Это значительно повышает его технологические и эксплуатационные свойства.

Были проведены измерения потока водорода через мембрану диффузионного фильтра при ступенчатом нагреве в интервале температур 640–950 К и при изменении давления водорода на входе от 0,02 до 0,25 МПа. Кроме того были произведены измерения производительности по протию и дейтерию. Исследования проводили таким образом, что при каждой температуре вначале подавали на вход протий и измеряли производительность. Затем протий удаляли с обеих сторон мембраны вакуумированием в течение 30 мин и после этого на вход подавали дейтерий. Давление газа на входной стороне в обоих случаях было 0,1 МПа. На рис. 3 представлены результаты испытаний диффузионного фильтра по очистки изотопов водорода (протия и дейтерия). Производительность аппарата определяется температурой мембраны и давлением газовой смеси, подаваемой на вход. В оптимальном режиме работы (температура 500 °С и давлении 0,1 МПа) производительность по протию в 1,5 раза выше производительности по дейтерию.

Масс-спектрометрическим методом определяли состав газа на входной и выходной стороне мембраны. Измерения были проведены после получения стабильного потока. Чистота получаемого водорода не хуже 99,9995 %. Как свидетельствуют результаты измерений, после диффузионной очистки содержание примесных компонентов соответствует фоновым значениям и определяется газоотделением трубопроводной арматуры испытательного стенда. Таким образом, диффузионный фильтр очищает водород от примесей до уровня фоновых значений.

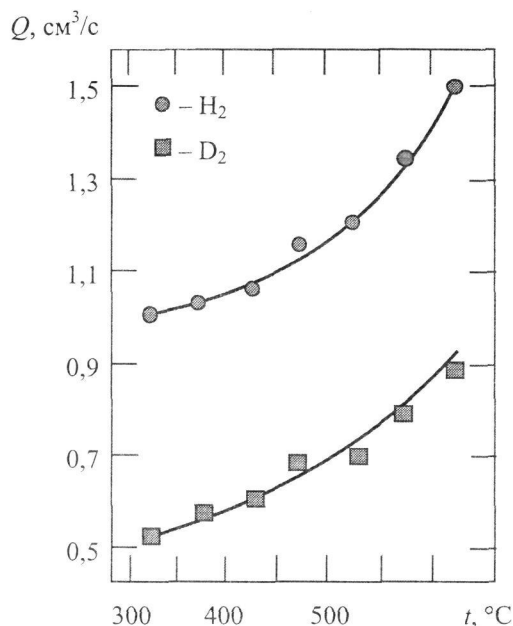


Рис. 3. Производительность диффузионного фильтра по протию и дейтерию.  
Давление газа н. входе 0,1 МПа

### Список литературы

1. Goltsov V. A. Hydrogen Membrane Technology: Principles, Exploitation and Prospects / V. A. Goltsov, N. I. Timofeev, A. F. Volkov e. a. // Hydrogen Energy Progress VII. Proc. 7<sup>th</sup> World Hydrogen Energy Conf. Moscow, USSR. 25–29 Sept. 1988. Pergamon Press. N. Y., 1988. Vol. 22. P. 1011–1024.
2. Гольцов В. А. Новый сплав В-2 на основе палладия для диффузионных фильтров водорода / В. А. Гольцов, Н. И. Тимофеев и др. // Изв. Вузов. Цветная металлургия. 1977, № 4. С. 117–120.

## HYDROGEN ISOTOPE DIFFUSION FILTERS

*A. F. Volkov, V. A. Goltsov*<sup>1</sup>

afv@fizmet.dgtu.donetsk.ua,  
<sup>1</sup>goltsov@physics.dgtu.donetsk.ua

*The construction of diffusion filter of hydrogen isotopes with the diffusion tube-type element is described in the article. Productivity of the apparatus by protium is 1,5 time higher than productivity by deuterium. Diffusion filter refines hydrogen from admixtures to the level of background values.*



**Взаимодействие изотопов водорода  
с конструкционными материалами. IHISM'10**

Сборник докладов Четвертой Международной конференции  
и Шестой Международной Школы молодых ученых  
и специалистов. IHISM'10

Компьютерная подготовка оригинала-макета *С. В. Макеева*

---

Подписано в печать 14.10.2011. Формат 70×108/16.  
Усл. печ. л. 27,6. Уч.-изд. л. 21,1. Тираж 120 экз.  
Зак. тип. 1040-2010

---

Отпечатано в ИПК ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»