



SEMENOV INSTITUTE OF CHEMICAL PHYSICS



ИНСТИТУТ КАТАЛИЗА  
им. Г.К. ВОРЕСКОВА



## Сборник тезисов

II Всероссийской  
научно-практической конференции  
с международным участием

# «Водород. Технологии. Будущее»

# 25-27

Октября

# 2021

г. Томск



ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

## **ВОДОРОД. ТЕХНОЛОГИИ. БУДУЩЕЕ**

Сборник тезисов докладов  
II Всероссийской конференции с международным участием

**25–27 октября 2021 г.**

УДК 620.92+661.96(063)

ББК 31.15+35.20л0

В62

**Водород. Технологии. Будущее** : сборник тезисов докладов II Всероссийской конференции с международным участием / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2021. – 93 с.

ISBN 978-5-4387-1046-2

В сборнике представлены материалы II Всероссийской конференции с международным участием «Водород. Технологии. Будущее» по следующим направлениям исследований: технологии получения водорода; транспортировка и хранение водорода; использование водорода; взаимодействие водорода с конструкционными материалами и безопасность водородных технологий.

**УДК 620.92+661.96(063)**

**ББК 31.15+35.20л0**

*Редакционная коллегия*

А.М. Лидер, д. т. н.; заведующий кафедрой – руководитель отделения экспериментальной физики на правах кафедры Инженерной школы ядерных технологий НИ ТПУ;

В.Е. Губин, к. т. н.; замдиректора по развитию Инженерной школы энергетики НИ ТПУ;

М.С. Сыртанов, к. т. н.; доцент отделения экспериментальной физики Инженерной школы ядерных технологий НИ ТПУ.

Материалы сборника представлены в авторской редакции.  
Авторы несут полную ответственность за достоверность информации  
и возможность её опубликования в открытой печати

ISBN 978-5-4387-1046-2

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2021

# Содержание

## Секция 1 – Технологии получения водорода ..... 8

|                                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <u>А.Ю. Алентьев, И.И. Пономарев, А.В. Волков, С.Д. Баженов</u><br>ПОЛИГЕТРОАРИЛЕНЬ С БЕНЗИМИДАЗОЛЬНЫМИ ФРАГМЕНТАМИ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ<br>МЕМБРАННЫХ ПРОЦЕССОВ ВЫДЕЛЕНИЯ И ОЧИСТКИ ВОДОРОДА .....                                                   | 9  |
| <u>И.А. Артюх, А.А. Регер, Л.Н. Скворцова</u><br>ПРОИЗВОДСТВО ВОДОРОДА ПУТЕМ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ<br>ВЕЩЕСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ<br>ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ УФ И ВИДИМОГО СВЕТА .....       | 10 |
| <u>В.С. Арутюнов</u><br>РОЛЬ ГАЗОХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОМЫШЛЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ВОДОРОДА .....                                                                                                                                                        | 11 |
| <u>С.В. Афанасьев, С.П. Сергеев</u><br>УНИФИЦИРОВАННЫЙ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ СПОСОБ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДОВ С<br>ПОЛУЧЕНИЕМ ВОДОРОДА .....                                                                                                                 | 12 |
| <u>А.В. Варежкин</u><br>МЕМБРАННОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ ВОДОРОДА ИЗ ПРОДУКТОВ РЕАКЦИИ ПАРОВОЙ КОНВЕРСИИ МЕТАНА                                                                                                                                                      | 13 |
| <u>А.А. Ведягин, И.В. Мишаков, Е.В. Шелепова, Ю.И. Бауман</u><br>ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРОДА ИЗ УГЛЕВОДОРОДОВ: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ .....                                                                                                              | 14 |
| <u>А.Л. Габов, Н.А. Медведева, Н.Е. Скрыбина</u><br>ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАГНИЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ В РЕАКЦИЯХ ВЫДЕЛЕНИЯ И<br>СОРБЦИИ ВОДОРОДА .....                                                                                                     | 15 |
| <u>М.А. Губанов, М.И. Иванцов, М.В. Куликова</u><br>ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРОДА В ПРОЦЕССЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ МЕТАНА НА<br>СТРУКТУРИРОВАННЫХ НИКЕЛЬСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРАХ .....                                                                         | 16 |
| <u>А.Ю. Зайченко, Д.Н. Подлесный, М.В. Цветков, Е.А. Салганский, М.В. Салганская</u><br>КОНВЕРСИЯ ИЗОПРОПАНОЛА В СИНГАЗ В РЕЖИМЕ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ГОРЕНИЯ .....                                                                                           | 17 |
| <u>Н.А. Иванова, А.А. Зазыпкина, В.В. Тишкин, О.К. Алексеева</u><br>АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ТИТАНА ДЛЯ ЭЛЕКТРОДОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ<br>УСТРОЙСТВ С ТВЕРДЫМ ПОЛИМЕРНЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ .....                                                     | 18 |
| <u>А.И. Низовский, А.В. Куликов, В.И. Бухтияров</u><br>МАТЕРИАЛ ДЛЯ ВОДОРОДНЫХ КАРТРИДЖЕЙ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ<br>СПЛАВОВ АКТИВИРОВАННЫХ Ga-In ЭВТЕКТИКОЙ .....                                                                         | 19 |
| <u>А.Г. Каренгин, А.А. Каренгин, А.А. Кузнецова, И.Ю. Новоселов</u><br>ПЛАЗОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ<br>ДИСПЕРСИОННОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ГАЗООХЛАЖДАЕМЫХ<br>РЕАКТОРОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА ..... | 20 |
| <u>Б.П. Адиев, Д.Р. Нурмухаметов, Н.В. Нелюбина, Г.М. Белокуров, Я.В. Крафт, З.Р. Исмагилов</u><br>ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРОДА ПРИ ОКИСЛЕНИИ НАНОЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ В ВОДЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ<br>ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ .....                                               | 21 |
| <u>И. В. Кудрин</u><br>СПОСОБ ПОИСКОВ В НЕДРАХ ЗЕМЛИ СКОПЛЕНИЙ ГАЗООБРАЗНЫХ ВОДОРОДА И ГЕЛИЯ .....                                                                                                                                                       | 22 |
| <u>Х.Б. Кушхов, М.Н. Лигидова</u><br>ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НАНОДИСПЕРСНЫХ<br>ПОРОШКОВ КАРБИДА ВОЛЬФРАМА И МОЛИБДЕНА И ИХ КОМПОЗИТОВ С УГЛЕРОДОМ И<br>ПЛАТИНОЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРОВ И ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ .....         | 24 |
| <u>М.Н. Ларичев, Н.С. Шайтура</u><br>ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЧИСТОГО ВОДОРОДА ПУТЕМ ОКИСЛЕНИЯ АЛЮМИНИЯ<br>ВОДОЙ .....                                                                                                                             | 25 |
| <u>А.А. Марков, О.В. Меркулов, И.А. Леонидов, М.В. Патракеев</u><br>РАЗРАБОТКА МЕМБРАННОГО РЕАКТОРА ДЛЯ СОВМЕСТНОГО ПРОИЗВОДСТВА ВОДОРОДА И<br>СИНТЕЗ-ГАЗА .....                                                                                         | 26 |
| <u>И.В. Мишаков, А.А. Ведягин, Ю.В. Шубин</u><br>ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРОДА ИЗ УГЛЕВОДОРОДОВ: КУДА ДЕВАТЬ УГЛЕРОД? .....                                                                                                                                         | 27 |
| <u>В.Ф. Мышкин, С.А. Сосновский, В.А. Хан, А.В. Лукин</u>                                                                                                                                                                                                |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| О ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ КОНДЕНСАЦИЕЙ УГЛЕРОДА В ЗОНЕ ЗАКАЛКИ<br>ВОДОРОД - УГЛЕРОДНОЙ СМЕСИ .....                                                                                                                                                                                                     | 28 |
| <b><u>А.В. Никитин, А.В. Озерский</u></b><br>ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА С НИЗКОЙ ЭМИССИЕЙ CO <sub>2</sub> .....                                                                                                                                                                      | 29 |
| <b><u>А.Я. Пак, Ю.З. Васильева, А.А. Гумовская, Ж.С. Болатова</u></b><br>СИНТЕЗ КАРБИДОВ МЕТАЛЛОВ БЕЗВАКУУМНЫМ ЭЛЕКТРОДУГОВЫМ МЕТОДОМ И ОЦЕНКА<br>ВОЗМОЖНОСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРОВ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ<br>ВОДОРОДА .....                                                            | 30 |
| <b><u>Д.Н. Подлесный, А.Ю. Зайченко, М.В. Цветков, Е.А. Салганский, М.В. Салганская</u></b><br>ПАРЦИАЛЬНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ОТРАБОТАННОГО МАСЛА В РЕАКТОРЕ С ПОДВИЖНЫМ СЛОЕМ<br>ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕЗ-ГАЗА .....                                                                                              | 31 |
| <b><u>А.И. Пушкарев, С.С. Полисадов, М.М. Анисимов, Ю. Струков</u></b><br>ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ ПИРОЛИЗ МЕТАНА В БАРБОТАЖНОМ РЕАКТОРЕ .....                                                                                                                                                                | 32 |
| <b><u>Е.А. Салганский, М.В. Цветков, А.Ю. Зайченко, Д.Н. Подлесный, И.В. Седов</u></b><br>ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЖИМОВ НЕКАТАЛИТИЧЕСКОЙ КОНВЕРСИИ<br>ПРИРОДНОГО ГАЗА С ПОЛУЧЕНИЕМ ВОДОРОДА .....                                                                                                  | 33 |
| <b><u>В.М. Скачков, Л.А. Пасечник, Н.А. Сабирзянов</u></b><br>ЖИДКИЕ ГАЛЛИЕВЫЕ СПЛАВЫ ДЛЯ АКТИВАЦИИ АЛЮМИНИЯ И ПОЛУЧЕНИЯ<br>ЧИСТОГО ВОДОРОДА РАЗЛОЖЕНИЕМ ВОДЫ .....                                                                                                                                   | 34 |
| <b><u>С.А. Сосновский, В.Ф. Мышкин, А.В. Лукин, Н.И. Головкин</u></b><br>РАЗРАБОТКА ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕССОВ НА АСИММЕТРИЧНОМ<br>ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ В УСЛОВИЯХ РЕЗОНАНСНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ .....                                                                                     | 35 |
| <b><u>А.Я. Столяревский</u></b><br>АДИАБАТИЧЕСКАЯ КОНВЕРСИЯ МЕТАНА В ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ .....                                                                                                                                                                                                      | 36 |
| <b><u>В.П. Толстой, М.В. Канева, Е.В. Батищева, Л.И. Кукло</u></b><br>НОВЫЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ РЕАКЦИЙ ВЫДЕЛЕНИЯ<br>ВОДОРОДА И КИСЛОРОДА ПРИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕ ВОДЫ, СИНТЕЗИРОВАННЫЕ МЕТОДОМ<br>ИОННОГО НАСЛАИВАНИЯ .....                                                            | 37 |
| <b><u>С. М. Фролов</u></b><br>ДЕТОНАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ИЗ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ .....                                                                                                                                                                                               | 38 |
| <b><u>М.В. Цветков, Е.А. Салганский, Д.Н. Подлесный, А.Ю. Зайченко, Ю.Ю. Цветкова, И.В. Седов</u></b><br>ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА НЕКАТАЛИТИЧЕСКОЙ<br>КОНВЕРСИЕЙ БИОГАЗА .....                                                                                                     | 39 |
| <b><u>Н.С. Шайтура, М.Н. Ларичев</u></b><br>СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ПУТЁМ ОКИСЛЕНИЯ<br>АЛЮМИНИЯ ВОДОЙ .....                                                                                                                                                                | 40 |
| <b><u>C. Goswami, B.J. Borah, I.P. Prosvirin, I.Z. Ismagilov, E.V. Matus, M.A. Kerzhentsev, P. Bharali</u></b><br>INTRIGUING ROLE OF CeO <sub>2</sub> IN ENHANCING ELECTROCATALYTIC ACTIVITY<br>OF Pd <sub>3</sub> M/C (M = Co, Ni, Cu) IN DIRECT FORMIC ACID OXIDATION FOR HYDROGEN PRODUCTION ..... | 41 |

## **Секция 2 – Транспортировка и хранение водорода ..... 42**

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b><u>Ю.С. Нечаев, Е.А. Денисов, А.О. Чертаев, С.Ю. Давыдов</u></b><br>О НЕОБЫЧНЫХ СОСТОЯНИЯХ ВОДОРОДА В ГРАФИТОВЫХ НАНОВОЛОКНАХ ..... | 43 |
| <b><u>S.P. Verevkin</u></b><br>HYDROGEN OR NOT(HING)!! DOMESTIC HYDROGEN: TECHNOLOGY FOR SAFE HYDROGEN<br>STORAGE AND RELIES .....     | 44 |
| <b><u>Е.В. Аникина, В.П. Бескачко</u></b><br>УГЛЕРОДНЫЕ МЕТА-НАНОТРУБКИ КАК МАТЕРИАЛ-НАКОПИТЕЛЬ ВОДОРОДА:<br>DFT МОДЕЛИРОВАНИЕ .....   | 45 |
| <b><u>Е.Ю. Аникина, В.Н. Вербецкий</u></b><br>ТЕРМОДИНАМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОДОРОДА С ИМС: МЕТОД КАЛОРИМЕТРИИ КАЛЬВЕ .....             | 46 |
| <b><u>А.А. Арбузов, С.А. Можжухин, Б.П. Тарасов</u></b><br>МАГНИЙ-ГРАФЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АККУМУЛИРОВАНИЯ И ГЕНЕРИРОВАНИЯ ВОДОРОДА .  | 47 |
| <b><u>Д.В. Блинов, В.И. Борзенко, А.В. Бездудный, А.Н. Казаков</u></b>                                                                 |    |

|                                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| СИСТЕМНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ УСТРОЙСТВ С ТВЕРДОПОЛИМЕРНЫМИ<br>ТОПЛИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ И ЭЛЕКТРОЛИЗЕРАМИ .....                                                                                                                                                 | 48 |
| <b><u>Д.Г. Видяев, Е.А. Борецкий, И.К. Зайцев, В.И. Иванов</u></b><br>АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК И УСЛОВИЙ ФАБРИКАЦИИ НА СОРБЦИОННУЮ<br>СПОСОБНОСТЬ К ВОДОРОДУ ТАБЛЕТОК НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДА .....                                                                         | 49 |
| <b><u>А.А. Володин, А.А. Арбузов, П.В. Фурсиков, Б.П. Тарасов</u></b><br>НИКЕЛЬ–МЕТАЛЛОГИДРИДНЫЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА .....                                                                                                                                                | 50 |
| <b><u>А.Ф. Дресвянников, М.Е. Колпаков, Л.Е. Калугин, Е.А. Ермолаева</u></b><br>ПОЛУЧЕНИЕ ПРЕКУРСОРОВ ВОДОРОДАККУМУЛИРУЮЩИХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ<br>СИСТЕМЫ Fe-Ti ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ.....                                                                       | 51 |
| <b><u>Д.О. Дуников, В.И. Борзенко</u></b><br>РАЗВИТИЕ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ POWER-TO-GAS И POWER-TO-X ...                                                                                                                                         | 52 |
| <b><u>С.Н. Клямкин, С.В. Чувиков</u></b><br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИХ КООРДИНАЦИОННЫХ ПОЛИМЕРОВ<br>В СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА АДСОРБЦИОННОГО ТИПА .....                                                                                                    | 53 |
| <b><u>М.П. Крикунова, А.С. Кротов, Я.В. Самохвалов, Е.А. Сизов</u></b><br>СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ОЖИЖЕНИЯ ВОДОРОДА .....                                                                                                                                                | 54 |
| <b><u>М.В. Лотоцкий</u></b><br>МЕТАЛЛОГИДРИДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВОДОРОДНОЙ ПРОГРАММЕ ЮАР .....                                                                                                                                                                          | 55 |
| <b><u>А.В. Лучкова, М.Е. Коннова</u></b><br>ИЗУЧЕНИЕ ТРАНСФЕРНОГО ГИДРИРОВАНИЯ – ДЕГИДРИРОВАНИЯ ПЕРЕНОСОМ<br>ВОДОРОДА В СИСТЕМЕ МЕТИЛЭТИЛКЕТОН – ДЕКАЛИН/БУТАНОЛ-2 – НАФТАЛИН.....                                                                                   | 56 |
| <b><u>Я.Ю. Малькова, А.А. Суворов, Н.Ю. Рубан</u></b><br>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ВОДОРОДНОГО НАКОПИТЕЛЯ .....                                                                                                                                               | 57 |
| <b><u>А.А. Миронова, Н.А. Медведева, Н.Е. Скрыбина, Д. Фрушар</u></b><br>ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДОБАВКИ $Zr_7Ni_{10}$ НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ<br>СПЛАВОВ $(TiCr_{1,8})_{20}V_{80}$ И $(TiCr_{1,8})_{20}V_{80}+Zr_7Ni_{10}$ В РЕАКЦИИ ВЫДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА ..... | 58 |
| <b><u>С.А. Можжухин, А.Р. Громов, А.А. Арбузов</u></b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГИДРИДА МАГНИЯ С ВОДОЙ И ЛИМОННОЙ КИСЛОТОЙ .....                                                                                                                               | 59 |
| <b><u>О.В. Нецкина, О.В. Комова</u></b><br>КАТАЛИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ АККУМУЛИРОВАНИЯ ВОДОРОДА<br>В ХИМИЧЕСКИ СВЯЗАННОМ СОСТОЯНИИ.....                                                                                                                            | 60 |
| <b><u>А.М. Озерова</u></b><br>КОБАЛЬТОВЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА ПУТЕМ ГИДРОЛИЗА<br>БОРГИДРИДА НАТРИЯ И АММИНБОРАНА .....                                                                                                                               | 61 |
| <b><u>П.С. Потураев, Н.А. Медведева</u></b><br>ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ AZ31 РАЗЛИЧНОЙ<br>СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ .....                                                                                                                           | 62 |
| <b><u>М.А. Прохоренков, С.В. Митрохин</u></b><br>ГИДРИДЫ ИМС ФАЗ ЛАВЕСА С ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ ДИССОЦИАЦИИ .....                                                                                                                                                        | 63 |
| <b><u>И.А. Романов, В.И. Борзенко, А.Н. Казаков</u></b><br>СРАВНЕНИЕ КИНЕТИКИ АБСОРБЦИИ ВОДОРОДА ОБРАЗЦАМИ СВОБОДНОЙ<br>ЗАСЫПКИ МЕТАЛЛОГИДРИДА И КОМПАКТА НА ЕГО ОСНОВЕ.....                                                                                         | 64 |
| <b><u>А.Ю. Сергеев, В.И. Солодилов, В.И. Демичев, Р.А. Турусов, К.В. Михайловский</u></b><br>СИСТЕМЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА ПОД ДАВЛЕНИЕМ .....                                                                                                                       | 65 |
| <b><u>М.В. Таланов, В.М. Таланов</u></b><br>УПОРЯДОЧЕННЫЕ ФАЗЫ ЛАВЕСА (C15) КАК МАТРИЦЫ ДЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ<br>И ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА .....                                                                                                                                  | 68 |
| <b><u>Б.П. Тарасов</u></b><br>АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ВОДОРОДА .....                                                                                                                                                                             | 69 |
| <b><u>Я. Филинчук</u></b><br>КОМПЛЕКСНЫЕ ГИДРИДЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА: НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ .....                                                                                                                                                               | 70 |
| <b><u>П.В. Фурсиков, А.А. Володин, А.А. Арбузов, С.А. Можжухин, В.Н. Фокин, Э.Э. Фокина, Б.П. Тарасов</u></b><br>МЕТАЛЛОГИДРИДНЫЕ КОМПОЗИТЫ ДЛЯ ОБРАТИМОГО ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА .....                                                                                   | 71 |
| <b><u>Д.А. Шляпин, В.А. Борисов, П.В. Снытников</u></b>                                                                                                                                                                                                              |    |

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| АММИАК КАК НОСИТЕЛЬ «ЧИСТОГО» ВОДОРОДА ..... | 72 |
|----------------------------------------------|----|

### **Секция 3 – Использование водорода ..... 73**

**С.В. Беленов, В.Е. Гутерман, А.А. Алексеенко**

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЛАТИНОСОДЕРЖАЩИЕ КАТАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ<br>ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ..... | 74 |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|

**Е.В. Герасимова, А.В. Левченко, Ю.А. Добровольский**

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПЛАТИНЫ В КАТАЛИТИЧЕСКОМ СЛОЕ КАТОДА<br>НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА ..... | 75 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

**С.Н. Журавлев, Д.В. Котяев**

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| ПРИМЕНЕНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ТОПЛИВА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ ..... | 76 |
|------------------------------------------------------------------------|----|

**С.Д. Замбалов**

|                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ НА<br>БАЗЕ РОТОРНО-ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДОРОДСОДЕРЖАЩЕГО<br>ТОПЛИВА ..... | 77 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

**Д.М. Кадилов, К.В. Холин, И.Р. Низамеев, М.К. Кадилов**

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| РАЗРАБОТКА БИОМИМЕТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРОВ<br>ДЛЯ ПРОТОНООБМЕННЫХ МЕМБРАННЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ..... | 78 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

**А.В. Кузьмин, О.В. Елькин, Д.А. Козулин**

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ..... | 79 |
|----------------------------------------------------------------|----|

**А.С. Мазной**

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА НА ПРИНЦИПЕ ФИЛЬТРАЦИОННОГО СЖИГАНИЯ<br>ВОДОРОД-СОДЕРЖАЩИХ ТОПЛИВ ..... | 80 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

**Р.Р. Назмутдинов, Д.В. Глухов, Т.Т. Зинкичева, Ш.А. Шермухамедов, М.Д. Бронштейн**

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| МЕХАНИЗМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВЫДЕЛЕНИЯ И ОКИСЛЕНИЯ ВОДОРОДА:<br>КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ И МОЛЕКУЛЯРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ..... | 81 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

**И.Л. Рагунова, А.Ю. Чеботов, И.А. Вораксо, Д.Д. Новрузова**

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| РАЗДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА В НОВЫХ МЕМБРАННЫХ КОНТАКТНЫХ<br>УСТРОЙСТВАХ МЕМБРАННОГО ТИПА ..... | 82 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

**А.А. Филимонова, А.В. Леонтьев, А.А. Чичилов, Н.Д. Чичирова**

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНЫХ ЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ В ТАТАРСТАНЕ ..... | 83 |
|------------------------------------------------------------------------|----|

### **Секция 4 – Взаимодействие водорода с конструкционными материалами и безопасность водородных технологий ..... 84**

**Ю.А. Абзаев**

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ, МЕХАНИЧЕСКИХ<br>СВОЙСТВ СОЕДИНЕНИЯ Ti-H ..... | 85 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|

**А.С. Буйновский, А.А. Клопотов, Е.К. Грачев, М.С. Сыртанов, Ю.А. Абзаев**

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ СПЛАВА РЗМ-Fe(Co), ПОЛУЧЕННОГО<br>КАЛЬЦЕТЕРМИЧЕСКИМ ВНЕПЕЧНЫМ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ ИХ ФТОРИДОВ ..... | 86 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

**Г.П. Грабовецкая**

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТИТАНОВЫХ<br>СПЛАВОВ С ВОДОРОДОМ В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ ..... | 87 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

**Д.Ю. Жапова, В.Н. Гришков, А.И. Лотков, Ю.П. Миронов, Р.С. Лаптев, Е.Г. Бармина, О.Н. Кашина**

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ НАВОДОРОЖИВАНИЯ В РАСТВОРЕ 0,9 NaCl<br>НА ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕШЕТКИ ОБРАЗЦОВ СПЛАВА $Ti_{49,4}Ni_{50,6}(at. \%)$ ..... | 88 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

**В.В. Ларионов, Ш. Сюй, А.А. Нерода**

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| ИССЛЕДОВАНИЕ МИРАЦИИ ВОДОРОДА В НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ ..... | 89 |
|-----------------------------------------------------------|----|

**А.И. Лотков, В.Н. Гришков, В.Н. Кудияров, Д.Ю. Жапова**

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДА НА МАРТЕНСИТНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ И НЕУПРУГИЕ СВОЙСТВА<br>СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛИДА ТИТАНА ..... | 90 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

**И.М. Молотов, А.И. Счастливец**

|                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРЕНИЯ<br>В ВОДОРОДОСЖИГАЮЩИХ УСТАНОВКАХ.....                                                                                                                                           | 91 |
| <b><u>М.С. Сыртанов, Г.В. Гаранин, Е.Б. Кашкаров, Т.Л. Мурашкина</u></b><br>МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ДИФРАКТОМЕТРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ СТРУКТУРНО-<br>ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛОВ В СРЕДЕ ВОДОРОДА ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ .. | 92 |

Е.Ю. Аникина, В.Н. Вербецкий  
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
Россия, г. Москва, Воробьевы горы, 119991  
E-mail: helena-anikina@yandex.ru

В современном мире люди сталкиваются с двумя серьезными проблемами. Первая связана с потреблением невозобновляемых энергетических углеводородных ресурсов и, как следствие, их истощением. Вторая связана с загрязнением окружающей среды, образованием парниковых газов и тем, что вызывает изменение климата. Эти две проблемы заставляют искать новые источники энергии. Использование водорода в качестве топлива могло бы решить обе вышеупомянутые проблемы, поскольку водород обладает высокой плотностью энергии на единицу массы, а при его сжигании образуется вода. В 1970-х годах ученые обнаружили большое количество интерметаллических соединений (ИМС) с общей формулой  $AB$ ,  $AB_2$ ,  $AB_3$ ,  $AB_5$  и т.д., способных обратимо поглощать и выделять водород в нормальных условиях. ИМС с общей формулой  $AB_2$  со структурой фазы Лавеса  $C14$  привлекают внимание многих исследователей, поскольку они обратимо поглощают значительное количество водорода при температуре окружающей среды и умеренном давлении водорода, обладают высокой скоростью реакции водорода с ИМС, легко активируются и могут использоваться в качестве эффективных материалов для хранения. В настоящей работе мы продолжаем наши исследования взаимодействия водорода с ИМС фазовой структурой Лавеса  $C14$  общей формулой  $(Ti,Zr)-Mn-V$  со стехиометрическими и нестехиометрическими составами с помощью калориметрии Кальве [1-3]. Этот метод непосредственно позволяет измерять две функциональные зависимости: 1) тепловые эффекты реакции в системе ИМС- $H_2$  с высокой точностью и одновременно 2) изотермы давление-состав.

Система  $Ti_{0.9}Zr_{0.1}Mn_{1.3}V_{0.6}-H_2$  была исследована с помощью калориметрии Кальве в диапазоне температур от 333 до 403 К и давления водорода до 50 атм. Были получены зависимости  $P_{eq.} = f(C)$ ,  $\Delta H_{абс.}(дес.) = f(C)$  и  $\Delta S_{дес.} = f(C)$ . Показано, что при 333, 353 и 373 К в системе  $Ti_{0.9}Zr_{0.1}Mn_{1.3}V_{0.6}-H_2$  существуют две области с постоянными значениями энтальпии реакции, то есть происходит образование двух гидридных фаз –  $Ti_{0.9}Zr_{0.1}Mn_{1.3}V_{0.6}H_{-2}$  и  $Ti_{0.9}Zr_{0.1}Mn_{1.3}V_{0.6}H_{-3}$  – и значения энтальпии образования три-гидрида больше, чем у ди-гидрида. Мы предполагаем, что поглощение водорода гидридной фазой  $Ti_{0.9}Zr_{0.1}Mn_{1.3}V_{0.6}H_{-2}$ , вероятно, приводит к некоторому искажению металлической подрешетки, что объясняется характером изменения энтальпии реакции. При экспериментальной температуре 403 К происходит образование одной гидридной фазы  $Ti_{0.9}Zr_{0.1}Mn_{1.3}V_{0.6}H_{-2}$ . Повышение экспериментальной температуры приводит к незначительному снижению абсолютных значений энтальпии реакции.

Таблица 1. Зависимость от температуры энтальпии реакции для системы  $Ti_{0.9}Zr_{0.1}Mn_{1.3}V_{0.6}-H_2$

| Температура, К | Диапазон (абсорбция) | $\Delta H_{абс.}, \text{кДж/моль } H_2$ | Диапазон (десорбция) | $\Delta H_{дес.}, \text{кДж/моль } H_2$ |
|----------------|----------------------|-----------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------|
| 333            | 0,7 – 1,4            | -30,3±0,2                               | 0,7 – 1,4            | 27,3±0,3                                |
|                | 1,5 – 2,5            | -31,8±0,2                               | 1,5 – 2,5            | 31,3±1,2                                |
| 353            | 0,8 – 1,4            | -32,2±0,2                               | 0,6 – 1,3            | 28,0±0,6                                |
|                | 1,5 – 2,5            | -34,6±0,3                               | 1,5 – 2,5            | 34,5±0,9                                |
| 373            | 0,7 – 1,2            | -32,1±0,7                               | 0,7 – 1,2            | 31,8±0,5                                |
|                | 1,6 – 2,5            | -34,8±0,4                               | 1,6 – 2,5            | 35,2±0,5                                |
| 403            | 0,7-2,2              | -31,6±0,3                               | 0,7 -2,2             | 31,5±0,4                                |

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. E.Yu. Anikina, V.N. Verbetsky. Calorimetric investigation of the hydrogen interaction with  $Ti_{0.9}Zr_{0.1}Mn_{1.1}V_{0.1}$ . J. Alloys Compd. – 2002. – Т. 330-332. – С. 45–47.
2. E.Yu. Anikina, V.N. Verbetsky. Calorimetric investigation of the hydrogen interaction with  $Ti_{0.9}Zr_{0.1}Mn_{1.2}V_{0.1}$ . Int. J Hydrogen Energy. – 2011. – Т. 36. – С. 1344–1348.
3. E.Yu. Anikina, V.N. Verbetsky. Investigation of hydrogen interaction with  $Ti_{0.9}Zr_{0.1}Mn_{1.3}V_{0.7}$  by means of calorimetric method. Int J Hydrogen Energy. – 2016. – Т. 41. С. 11520–11525.