

Над номером работали:

Главный редактор: д.х.н., профессор
Роман Козловский, pauka@chemprom.org

Шеф-редактор: Дарья Ярцева,
chef@chemprom.org

Авторы: Денис Жилин, Ольга Хорева,
Наталья Дружинина, Галина Жигарева.

Заведующая научным отделом:
Сария Козлова, red@chemprom.org

Дизайн и верстка: Ксения Мельникова

Члены редколлегии:

д.т.н., проф. Т.Н. Гартман
д.т.н., проф. Г.Г. Каграманов
д.х.н., проф. В.А. Колесников
д.т.н., академик РАН В.П. Мешалкин
д.х.н., проф. А.И. Михайличенко
д.х.н., проф. Д.Ю. Мурзин
д.х.н., академик РАН И.А. Новаков
д.т.н., проф. А.С. Носков
д.т.н., проф. Д.Х. Сафин
д.т.н., проф. А.В. Тимошенко
д.х.н., чл.-корр. РАН А.М. Чекмарев
к.б.н., Д.А.Сахаров

Издается под эгидой Российского Союза химиков и Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева

По вопросам оформления подписки:

направьте в любом формате письмо с запросом по адресу:
podpiska@chemprom.org, Ксения Тимчик

По вопросам размещения рекламы:

Коммерческая служба: +7 (499) 978-49-47,
reklama@chemprom.org

Журнал «Химическая Промышленность сегодня» включен в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук и ученой степени доктора наук. Также журнал входит в базу данных Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science, и входит в Международную реферативную базу Chemical Abstracts.

Редакция оставляет за собой право редакционной правки публикуемых материалов. Редакция может опубликовать статьи в порядке обсуждения, не разделяя точку зрения автора. При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Адрес редакции:

Россия, 125047 Москва А-47, Миусская пл.,
9, РХТУ им. Д.И. Менделеева, ООО «Химпром
Сегодня». Тел./факс: 8 (499) 978 49 47
<http://www.chemprom.org>

Отпечатано в типографии ООО «ВИВА Стар»
6 выпусков в год.
Тираж 1000 экз.

Издание зарегистрировано Министерством
РФ по делам печати, телерадиовещания
и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации ПИ №77-13131

СЛОВО РЕДАКТОРА



По-настоящему новая, экологичная и экономная энергетика. В современном мире все более актуальными становятся альтернативные источники энергии, особо популярными становятся исследования в области накопителей энергии, а проще говоря батарей.

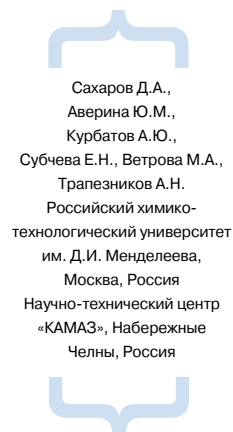
Возрастающий интерес к электрокарам доказывает, что ученые-химики движутся в правильном направлении, изучая свойства твердооксидных топливных элементов. Эти источники питания применимы во всех областях, где необходима электроэнергия без ограничений.

Все слышали об успехах Tesla и других коммерчески успешных проектах в области автономных источников питания. Как обстоят дела с твердооксидными топливными элементами в России? Чем в ближайшее время порадуют КАМАЗ и АвтоВаз и порадуют ли? Читайте в обзоре мирового и российского рынка твердооксидных источников питания на страницах номера 3 нашего журнала.

Теме высокотехнологичной химии посвящен и практически весь научный блок нашего журнала. Институт материалов современной энергетики и нанотехнологии отметил в этом году 70-летний юбилей. Сотрудники и аспиранты Института по случаю славной даты со дня основания представили свои последние научные исследования в области ядерно-химической и радиохимической технологии. Институту есть, чем гордиться. Поздравляем!

Дарья Ярцева
шеф-редактор

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СБОРОК МЕТАЛЛ-ПОДДЕРЖИВАЮЩИХ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ



Сахаров Д.А.,
Аверина Ю.М.,
Курбатов А.Ю.,
Субчева Е.Н., Ветрова М.А.,
Трапезников А.Н.
Российский химико-
технологический университет
им. Д.И. Менделеева,
Москва, Россия
Научно-технический центр
«КАМАЗ», Набережные
Челны, Россия

В РАБОТЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СБОРОК ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (ТОТЭ), ПРЕДСТАВЛЯЮЩИХ СОБОЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА, В КОТОРЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ГАЗООБРАЗНЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ТОПЛИВА ИЛИ ВОДОРОД И МОНООКСИД УГЛЕРОДА В СМЕСИ С КИСЛОРОДОМ ВОЗДУХА. ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ ТОТЭ ОПРЕДЕЛЯЛСЯ МЕТОДАМИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ГАЗОПЕРЕНОСА, МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКОВ. НА ОСНОВЕ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ ИЗГОТОВЛЕН ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ОБРАЗЕЦ БАТАРЕИ МОЩНОСТЬЮ 700 Вт ИЗ ЭЛЕКТРОЛИТ-ПОДДЕРЖИВАЮЩИХ ТОТЭ И ТОКОВЫХ КОЛЛЕКТОРОВ. ДЛЯ ПОЛУЧЕННОЙ СБОРКИ ПРОВЕДЕНЫ ИСПЫТАНИЯ ПО ТРЕМ ОСНОВНЫМ БЛОКАМ ИЗМЕРЕНИЙ: НАПРЯЖЕНИЯ ОТКРЫТОЙ ЦЕЛИ, УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ, А ТАКЖЕ ПЛОТНОСТИ РАБОЧЕГО ТОКА.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: БАТАРЕИ, ТВЕРДООКСИДНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ, МЕМБРАННО-ЭЛЕКТРОДНЫЕ БЛОКИ, ЭЛЕКТРОДЫ.

Введение

В связи с ростом энергопотребления одной из насущных проблем является повышение эффективности преобразования энергии первичных источников в электрическую, а также развитие альтернативных способов ее получения. Одним из вариантов решения проблемы является разработка электрохимического генератора тока на твердооксидных топливных элементах [1]. Существует ряд значительных преимуществ ТОТЭ перед другими видами топливных элементов в стационарных энергоустановках, в частности, высокая эффективность

преобразования энергии топлива в электрическую, возможность использования в гибридных и когенерационных энергоустановках, возможность использования в качестве топлива различных углеводородов и газовые смеси (природный газ, биогаз, керосин и т.д.), а также отсутствие необходимости использования благородных металлов [2].

Основной конструкции ТОТЭ является мембранно-электродный блок (МЭБ), который состоит из электролита и двух многослойных электродов: катода и анода. Для достижения необходимых электрохимических характеристик мембран-

но-электродные блоки, представляющие собой тонкие пластины, соединяются в батареи [3].

Несмотря на достаточно большую пространственность, на сегодняшний день существует необходимость в минимизации размеров конструкции батареи при условии простоты в организации газовых потоков для ее дальнейшего успешного использования и внедрения. Поэтому создание и использование плоских конструкции, позволяет реализовать потребности, а также улучшает эффективность использования топлива и позволяет сделать более равномер-

ным распределение температуры и тока является актуальной задачей для исследования и разработки на основе батарей ТОТЭ.

Изготовление экспериментальной сборки металл-поддерживающих ТОТЭ

Изготовление экспериментальной сборки осуществлялось следующим образом: на биполярные пластины (рис. 1, поз. 5) наносилось защитное покрытие для стабильного контакта с электродами МЭБ (рис. 1, поз. 3) и никелевой токосъемной сеткой (рис. 1, поз. 4) в рабочих условиях катодной и анодной камер ТОТЭ.

Прокладки, содержащие дисперсный порошок высокотемпературного стекло-керамического герметика, вырезались скальпелем и приклеивались к металлическим элементам методом смачивания растворителем.

Никелевые сетки (рис. 1, поз. 4) отжигались в вакууме при температуре 900°C в течение 1 часа и пропитывались контактным составом на основе нанопорошка никеля.

На биполярную пластину (рис. 1, поз. 5) с катодной стороны и катодную пластину наносился контактный состав нанопорошка манганита лантана стронция.

Далее элементы конструкции собирали как показано на рисунке 1 и проклеивали методом смачивания прокладок растворителем, после чего подвергали спеканию.

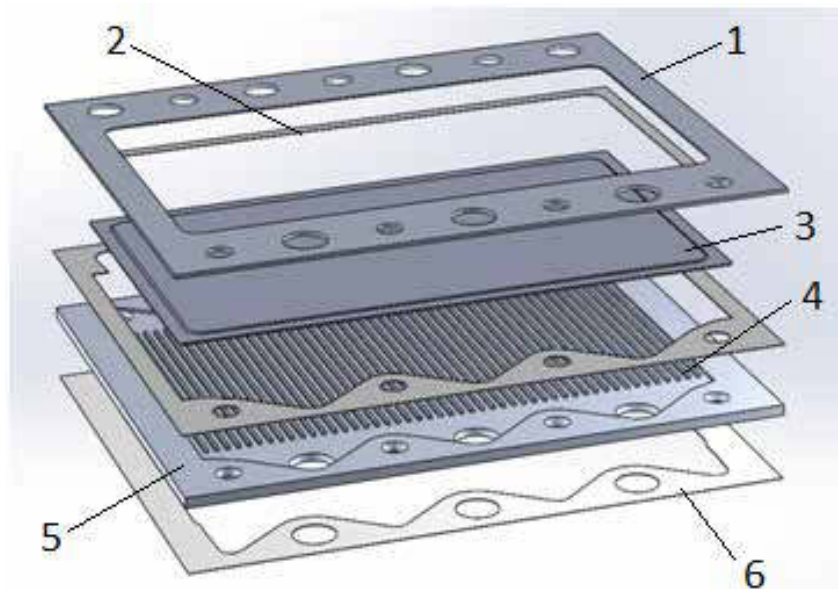
Определение электрохимических характеристик экспериментальной сборки Из литературы [4,5] известно, что по величине напряжения открытой цепи батареи можно судить о герметичном разделении анодного и катодного газовых пространств ТОТЭ. Было исследовано, что напряжение открытой цепи, превышающее 1 В (имеющее значение $1,05 \pm 0,1$ В), может свидетельствовать о газоплотности ТОТЭ, а также о герметичности топливной и воздушной камер. Испытания на герметичность конструкции были проведены при подаче водород-азотной смеси и синтез-газе при рабочей температуре $850 \pm 10^\circ\text{C}$.

Одним из ключевых параметров работы батареи ТОТЭ является удельная снимаемая мощность, ввиду того, что она

РИСУНОК 1.

ПОВТОРЯЕМЫЙ УЗЕЛ СБОРКИ:

- 1 – КАТОДНАЯ ПЛАСТИНА, 2 – РАМКА, 3 – ТОПЛИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ,
- 4 – НИКЕЛЕВАЯ СЕТКА, 5 – БИПОЛЯРНАЯ ПЛАСТИНА,
- 6 – АНОДНАЯ ПЛАСТИНА



характеризует качество изготовленного ТОТЭ и определяет полную мощность. Также за счет этого параметра можно влиять на массогабаритные характеристики энергетической установки, в частности, за счет снижения рабочей температуры или уменьшения количества единичных сборок. Из источников [6,7] известно, что уровень $0,2-0,3$ Вт/см² является приемлемым для коммерческих энергетических установок. Таким образом, минимально-допустимое значение можно принять равным $0,25$ Вт/см², а исследуемый диапазон рабочих температур металл-поддерживающих ТОТЭ $600-800^\circ\text{C}$. Полученные данные по значениям удельной мощности представлены в таблице 1.

Эффективность работы батарей на ТОТЭ можно оценить плотностью рабочего

тока, которая определяет интервал тока нагрузки, в котором батарея может быть использована.

Рабочее напряжение металл-поддерживающих ТОТЭ не должно быть меньше $0,7$ В. Показатели в исследуемом интервале температур представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 можно сделать вывод, что 700°C является нижней допустимой рабочей температурой (при которой достигается приемлемая мощность коммерческих установок).

Результаты получены при выполнении работ по договору № РХТУ-218-1/2017 на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ (НИОКТР) от 25.10.2017

ТАБЛИЦА #1

ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ СБОРКИ ТОТЭ В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР

Температура рабочей зоны, °C	Удельная мощность, не менее (Вт/см ²)	Плотность рабочего тока, не менее (А/см ²)
800	0,4	0,6
750	0,325	0,5
700	0,25	0,4
650	0,175	0,25



в рамках Соглашения № 074-11-2018-008 от «5» июня 2018 г. между МИНИСТЕРСТВОМ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ и Публичным акционерным обществом «КАМАЗ» о предоставлении субсидии из федерального бюджета на реализацию комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Библиография

1. Киселев И.В. Повышение энергетической эффективности твердооксидных топливных элементов и обоснование их применения для энергоснабжения потребителей малой мощности: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва: ФГБОУ ВПО «НИУ МЭИ». 2013. 20 с.
2. Плотников Н.С. Топливные элементы. Особенности использования // Энергетика и ЖКХ. 2013. С.26.
3. Стационарные энергетические установки с топливными элементами: материалы, технологии, рынки / С. И. Бредихин, А. Э. Голодницкий, О. А. Дрожжин и др. — НТФ «Энергопрогресс» Корпорации «ЕЭЭК» г. Москва, 2017. — 392 с.
4. Yan Jingwang High-Power SOFC Using La_{0.9}Sr_{0.1}Ga_{0.8}Mg_{0.2}O_{3-d}/Ce_{0.8}Sm_{0.2}O_{2-d} Composite Film // Jingwang Yan, Hiroshige Matsumoto, Makiko Enoki, and Tatsumi Ishihara //

Electrochemical and Solid-State Letters – 2005. – 8 (8). – A389-A391.

5. S. Masciandro Three-dimensional printed Yttria-stabilized Zirconia selfsupported electrolytes for Solid Oxide Fuel Cell applications //: S.Masciandro, M. Torrell, P. Leone, A. Tarancon – 2019. – 39 (1). – 9–16.

6. Sofcman [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.sofcman.com/700w.html>. (Дата обращения 01.08.2019)

7. Elcogen [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.elcogen.com/products/>. (Дата обращения 01.08.2019)

Сведения об авторах

Сахаров Дмитрий Андреевич – проректор по экономике и инновациям Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева, адрес: Российская Федерация, 125047, Москва, Миусская пл., д. 9, e-mail: sakharov@muctr.ru.

Аверина Юлия Михайловна – канд. техн. наук, доцент кафедры инновационных материалов и защиты от коррозии, председатель совета молодых ученых Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева, адрес: Российская Федерация, 125047, Москва, Миусская пл., д. 9, e-mail: averinajm@mail.ru.

Курбатов Андрей Юрьевич – канд. техн. наук, ассистент кафедры инновационных материалов и защиты от коррозии Российского химико-технологического университета им. Д.И. Мен-

делеева, адрес: Российская Федерация, 125047, Москва, Миусская пл., д. 9, e-mail: andreikurbatov@yandex.ru.

Субчева Елена Николаевна – ведущий инженер Испытательного центра «Химтест РХТУ» Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева, адрес: Российская Федерация, 125047, Москва, Миусская пл., д. 9, e-mail: subcheva.el@yandex.ru.

Ветрова Маргарита Александровна – магистр 2 года обучения кафедры инновационных материалов и защиты от коррозии, инженер Испытательного центра «Химтест РХТУ» Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева, адрес: Российская Федерация, 125047, Москва, Миусская пл., д. 9, e-mail: margo.vetrova@list.ru.

Трапезников Алексей Николаевич – Главный специалист, руководитель направления «Агрегаты и Узлы автомобиля» ПАО «НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «КАМАЗ» служба инновационных автомобилей, адрес: Российская Федерация, 423800, Набережные Челны, Транспортный пр-д, д. 70, e-mail: aleksey.trapeznikov@kamaz.ru.