

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, Сергей Черных,
Татьяна Петрова

Заведующая научным отделом:
Сария Козлова, red@chemprom.org
Дизайн и верстка: Екатерина Громова

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
к.б.н., Д.А. Сахаров

Издается под эгидой Российского Союза
химиков и Российского химико-технологиче-
ского 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 (495) 970-21-90,
reklama@chemprom.org

Журнал “Химическая Промышленность сегодня”
включен в Перечень ведущих рецензируемых
научных изданий, в которых должны быть опубли-
кованы основные результаты диссертаций на со-
искание 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 Междуна-
родную реферативную базу Chemical Abstracts.

Редакция оставляет за собой право редакцион-
ной правки публикуемых материалов. Редакция
может опубликовать статьи в порядке обсуж-
дения, 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: +7 (495) 970-21-90
www.chemprom.org

Отпечатано в ООО “Интерпак”.
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

Номер сдан в печать 28.12.2020

СЛОВО РЕДАКТОРА



История с коронавирусом обострила разговоры про импортозамещение. После закрытия китайских производств в феврале-марте 2020 и индийского экспорта в марте-апреле производители лекарственных средств столкнулись с серьезным дефицитом фармсубстанций. Причем, не только в России, но и во всем мире. Встал вопрос – как заместить китайский импорт.

Как и во многих других отраслях, основная проблема импортозамещения – отсутствие отечественного химического сырья. В случае с производством активных действующих веществ в таблетках – это отсутствие интермедиатов. Это та самая малотоннажная химия, о важности которой уже столько было сказано. Правда, на этот раз заговорили настойчивее. В том числе и на совещании у Президента в начале декабря.

В этом номере собраны мнения основных представителей цепочки «биз-нес-власть-наука» о том, что было сделано с весны для решения сложившейся проблемы. Любопытно, что параллельно с российским импортозамещением крупнейшая фармкомпания Sanofi уже собрала мегахолдинг, состоящий из производителей действующих веществ, чтобы построить в Европе независи-
мые от Китая производства.

Национальная безопасность страны – это не только про оборону, но и про защищенность от внешних и внутренних угроз. Кризис на фармрынке весной этого года показал необходимость эту защищенность усиливать. Ведь корона-вирус рано или поздно уйдет, а проблема останется.

Дарья Ярцева
шеф-редактор

ИСПЫТАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ЭЛЕКТРОЛИТ-ПОДДЕРЖИВАЮЩИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ИННОВАЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОАВТОМОБИЛЕЙ

Аверина Ю.М., Сахаров Д.А.
Российский химико-
технологический университет
им. Д.И. Менделеева,
Москва, Россия
Трапезников А.Н.
Научно-технический центр
«КАМАЗ», Набережные
Челны, Россия
Федотов Ю.С., Матвеев Д.В.
Институт физики твердого
тела Российской академии
наук, Черноголовка, Россия

В РАБОТЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ЭЛЕКТРОЛИТ-ПОДДЕРЖИВАЮЩИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ ИХ ВНЕДРЕНИЯ В ИННОВАЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОАВТОМОБИЛИ «КАМАЗ». ТВЕРДООКСИДНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ (ТОТЭ) ЯВЛЯЮТСЯ НА СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ НАИБОЛЕЕ МНОГООБЕЩАЮЩИМИ ДЛЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ БАТАРЕЙ ЭЛЕКТРОАВТОМОБИЛЕЙ, В СВЯЗИ С НАЛИЧИЕМ РЯДА ПРЕИМУЩЕСТВ ПЕРЕД БЕНЗИНОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ, ОСНОВНЫЕ ИЗ КОТОРЫХ: ЭКОНОМИЯ НА ТОПЛИВЕ И ГОРЮЧЕМ, ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ЗА СЧЕТ ЗНАЧИТЕЛЬНОГО УМЕНЬШЕНИЯ ИЛИ ОТСУТСТВИЯ ВЫБРОСОВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ. В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЫЛО УСТАНОВЛЕНО, ЧТО БАТАРЕИ ЭЛЕКТРОЛИТ-ПОДДЕРЖИВАЮЩИХ ТОТЭ НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТЬЮ 700 Вт МОЖНО ИСПОЛЬЗОВАТЬ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ МОЩНОСТЬЮ ДО 15 кВт, ЧТО ПОЗВОЛИТ СДЕЛАТЬ ВЫБОР В ИХ ПОЛЬЗУ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, В ЧАСТНОСТИ ДЛЯ ГРУЗОВЫХ ЭЛЕКТРОАВТОМОБИЛЕЙ.



Введение

Использование альтернативных источников энергии является актуальной темой в течение уже достаточно долгого времени. Одним из вариантов развития альтернативной энергетики является использование топливных элементов для получения электрической энергии [1]. Топливные элементы (ТЭ) представляют собой электрохимические устройства, в которых вещества для электрохимической реакции подаются извне [2], что позволяет не ограничивать запас энергии как в аккумуляторе. Среди вариантов реализации ТЭ наиболее передовая технология – металл-поддерживающие ТОТЭ [3].

Основные преимущества металл-поддерживающих ТОТЭ:

- высокая плотность мощности,
- невысокая рабочая температура (как в анод-поддерживающих)
- повышенная устойчивость к градиентам температуры, и, как следствие, быстрый выход на рабочий режим [4].

Обратной стороной этих преимуществ, востребованных в автомобильной промышленности, является относительно небольшой ресурс. Заявляемое время жизни систем на металл-поддерживающих ТОТЭ не превышает 8000 часов против 40000 часов на базе анод- и электролит-поддерживающих ТОТЭ [5]. Основная причина ускоренной деградации связана с химическим взаимодействием металлической подложки с керамическим топливным элементом и вызванным этим ростом сопротивления подложка-анод [6-8]. Таким образом, для объективной оценки возможности внедрения необходимо провести испытания для сборок номинальной мощности не менее 700 Вт электролит-поддерживающих ТОТЭ. Ресурсные испытания батареи электролит-поддерживающих ТОТЭ. Работы по созданию и изучению экспериментальных сборок ТОТЭ были представлены авторами ранее [9-11]. Для проведения ресурсных испытаний батареи электролит-поддерживающей конструкции ТОТЭ готовилась сборка из 34 мембранно-электродных блоков (МЭБ). Количество МЭБ было выбрано, исходя из требования номинальной мощности 700 Вт на водороде и оптимального номинального напряжения 24 В (34 ТОТЭ по 0,7 В, соединённые последовательно, в сумме дают около 24 В). В конструкции батареи исполь-

зованы биполярные пластины новой, облегчённой конструкции, с оптимизированными размерами в плоскости и керамическими вкладышами, которые позволили снизить толщину до 2,3 мм. Конструкция также предусматривает уменьшенную фаску одного из углов пластины, выступающую за периметр соседних пластин, что позволяет использовать данный элемент для безопасного измерения электрического потенциала и/или температуры.

При установке батареи в испытательный стенд FuelCon Evaluator C1000-HT доукомплектованный высокотемпературными нагревателями воздуха и водорода была использована нижняя площадка с входом и выходом воздуха с одной стороны и Т-образной раздачей топлива. Моделирование показало, что для снижения неравномерности воздушного потока в батарее, вызванной инерционными эффектами, воздушные подводящие трубы должны быть развёрнуты в одну сторону. Площадка торцевалась после сварки. Габариты площадки 126x133 мм, в точности по размеру батареи. Для герметизации был использован Термикулит 870 толщиной 7 мм. Прокладка вырезана лазерным маркером (рисунок 1). После завершения сборки батарея была установлена в печь, выполнены подключения токосъёмных и потенциальных контактов и термопар (рисунок 2). С целью контроля состояния батареи и её однородности в процессе работы было сделано восемь потенциальных выводов, позволяющих измерять напряжения в семи каналах. С учётом ограничений стенда и конструкции батареи точки подключения потенциальных выводов были выбраны следующим образом. Отдельно измерялось напряжение на нижнем МЭБ, как потенциально самом холодном. Это позволяло ограничить ток, протекающий через батарею, во избежание повреждений электродов нижнего МЭБ, а также отслеживать влияние температуры МЭБ на его характеристики. Вторая секция снизу состояла из 4 МЭБ для оценки расстояния распространения области низкой температуры. Верхняя секция состояла из 5 МЭБ. Вся остальная, центральная часть батареи была разделена на 4 одинаковых секции по 6 МЭБ. Батарея прошла через стандартную процедуру спекания стеклокерамического герметика. Данная процедура включает медленный нагрев до 500°C с подачей воздуха в обе полости батареи, выдержку для

СРЕДИ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ТЭ НАИБОЛЕЕ ПЕРЕДОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ – МЕТАЛЛ-ПОДДЕРЖИВАЮЩИЕ ТОТЭ

РИС.1
КОМПРЕССИОННАЯ ПРОКЛАДКА ПОВЕРХ ОПОРНОЙ ПЛАСТИНЫ. КРАСНЫМ СХЕМАТИЧЕСКИ ПОКАЗАНЫ ТЕРМОПАРЫ В ОПОРНОЙ ПЛАСТИНЕ.

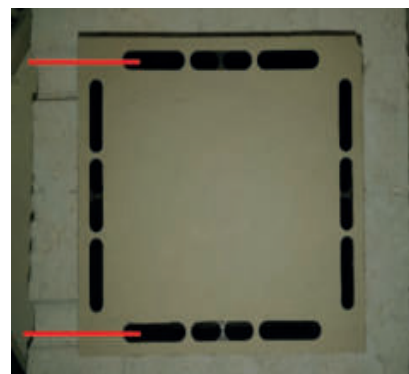
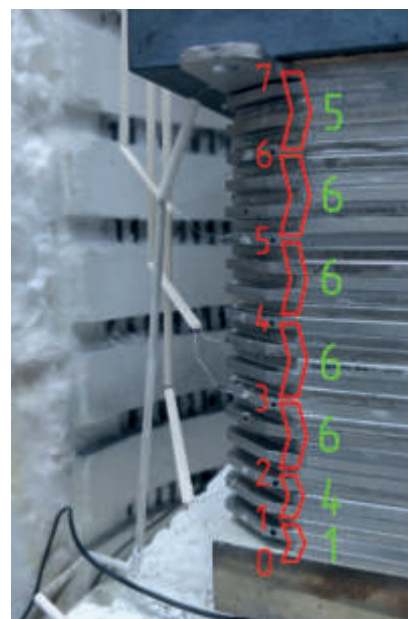
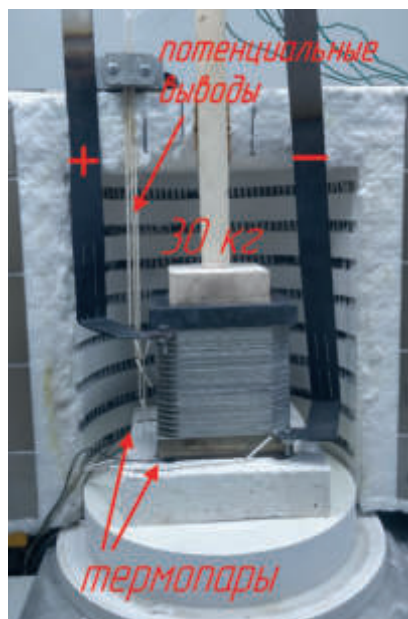


РИС.2

БАТАРЕЯ,
УСТАНОВЛЕННАЯ
В ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ
СТЕНД. СПРАВА
ПОКАЗАНО
ПОДКЛЮЧЕНИЕ
ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ
ВЫВОДОВ. КРАСНЫМИ
ЦИФРАМИ УКАЗАНЫ
НОМЕРА ВЫВОДОВ,
ЗЕЛЁНЫМИ –
КОЛИЧЕСТВО МЭБОВ
МЕЖДУ СОСЕДНИМИ
ВЫВОДАМИ.



выгорания органической связки, нагрев до 930°C и выдержку для консолидации и частичной кристаллизации стеклокерамики, восстановление анодов и охлаждение до рабочей температуры 850°C. Для достижения оптимальных характеристик, в рабочем режиме величина рабочего напряжения на одном электролит-поддерживающем ТОТЭ должна составлять 0,7 В и, следовательно, для экспериментальной батареи состоящей из 34 ТОТЭ величина рабочего напряжения должна быть равна 23,8 В. Таким образом, для обеспечения заданной мощности батареи в 700 Вт, через батарею должен проходить ток около 30 А. Согласно расчетам, для обеспечения такой токовой нагрузки требуется 6 нл/мин водорода в качестве топлива и 15 нл/мин воздуха в качестве окислителя. На основании вышеизложенных данных в ходе выполнения работ были определены номинальные значения определяемых показателей ресурсных характеристик батареи электролит-поддерживающих ТОТЭ мощностью 700 Вт. Значение рабочего напряжения было принято равным 24,0±0,875 В при токе 29,5 А. Экспериментальная батарея электролит-поддерживающих ТОТЭ мощностью 700 Вт, установленная в испытательный стенд, после достижения рабочей температуры 850±10°C и подачи в катодную камеру

воздуха, и в топливную камеру водорода и включение электронной нагрузки считаются выдержавшими испытания, если, напряжение превышает указанные выше значения 24,0±0,875 В при токе 29,5 А в течение не менее 30 дней.

Для проведения ресурсных испытаний испытательный стенд FuelCon Evaluator C1000-НТ доукомплектованный высокотемпературными нагревателями воздуха и водорода был выведен в рабочий режим:

- была установлена температура рабочей зоны стенда, с находящейся в ней батареи: 850±5°C;
- в воздушный канал батареи подавался поток воздуха со скоростью $V_0=15$ н.л./мин;
- в топливный канал батареи подавался водород со скоростью $V_H = 6$ н.л./мин.

После установки газовых потоков и температуры батареи, программируемая электронная нагрузка стенда, подключенная к батарее, была переведена в режим измерения напряжения при фиксированном постоянном токе в 29,5 А. Вывод электронной нагрузки в режим измерения напряжения осуществлялся последовательным увеличением каждые 15 секунд силы тока от 0 А с шагом в 1 А до значения 29,5 А.

Измерения проводились раз в сутки величины рабочего напряжения при фиксированном значении тока через батарею электролит-поддерживающих ТОТЭ мощностью 700 Вт. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Батарея электролит поддерживающих ТОТЭ мощностью 700 Вт полностью выдержала ресурсные испытания и может быть рассмотрена как батарея для сборки экспериментального образца энергетической установки мощностью 15 кВт – расширителя пробег.

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 г. 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. Месия Г.А., Прохоров М.Д. Водородная энергетика и топливные элементы // Вестник Российской академии наук. – 2004. – Т. 74. – №. 7. – С. 579-590. / 2. ГОСТ Р МЭК 60050-482-2011 / 3. U.S. Department of Energy "State of the States: Fuel Cells in America 2016" / 4. Бурмистров И.Н. Особенности переноса заряда в материалах со смешанной электронно-ионной проводимостью // ИФТТ РАН. – 2011. – 2010. / 5. Романов И.Д., Чернышов Е.А., Романова Е.А. Развитие энергетических установок на основе твердооксидных топливных элементов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – №. 10-1. – С. 38-42. / 6. Воротынецев М.А., Антипов А.Е., Конев Д.В., Толмачев Ю.В. Новый автокаталитический механизм электрохимических процессов и его применение для источников энергии // В книге: XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Тезисы докладов в 5 томах. Уральское отделение Российской академии наук. 2016. С. 343. / 7. Подловченко Б.И., Кузнецов В.В. Анод топливного элемента на основе молибденовых бронз и платины и способ его изготовления. Патент на изобретение RU 2564095 C1, 27.09.2015. Заявка № 2014115837/07 от 21.04.2014. / 8. Петров М.М., Конев Д.В., Антипов А.Е., Карташова Н.В., Кузнецов В.В., Воротынецев М.А. Теоретический анализ изменения состава раствора при анодном электролизе бромидов // Электрохимия. 2019. Т. 55. № 11. С. 1307-131 / 9. Сахаров Д.А. и др. Разработка и исследование электрохимических характеристик экспериментальных сборок металл-поддерживающих твердооксидных топливных элементов // Химическая промышленность сегодня. – 2019. – №. 4. – С. 16-18. / 10. Курицына И.Е. и др. Стабильность и функциональные свойства $\text{Sr}_0.7\text{Ce}_0.3\text{MnO}_3$ - как катодного материала твердооксидных топливных элементов // Электрохимия. – 2014. – Т. 50. – №. 8. – С. 795-795. / 11. Бурмистров И.Н. и др. Изготовление мембранно-электродных блоков твердооксидных топливных элементов методом совместного спекания электродов // Электрохимия. – 2016. – Т. 52. – №. 7. – С. 749-758.

ТАБЛИЦА 1

**РЕЗУЛЬТАТЫ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ БАТАРЕИ
ЭЛЕКТРОЛИТ-ПОДДЕРЖИВАЮЩИХ ТОТЭ МОЩНОСТЬЮ 700 ВТ.**

№	t, часы	Измеренное значение, В	Номинальное значение, В
1	0	24	24,0±0,875
2	24	24,1	24,0±0,875
3	48	24,15	24,0±0,875
4	72	24,17	24,0±0,875
5	96	24,21	24,0±0,875
6	120	24,25	24,0±0,875
7	144	24,24	24,0±0,875
8	168	24,27	24,0±0,875
9	192	24,28	24,0±0,875
10	216	24,21	24,0±0,875
11	240	24,22	24,0±0,875
12	264	24,24	24,0±0,875
13	288	24,18	24,0±0,875
14	312	24,21	24,0±0,875
15	336	24,19	24,0±0,875
16	360	24,19	24,0±0,875
17	384	24,18	24,0±0,875
18	406	24,17	24,0±0,875
19	430	24,18	24,0±0,875
20	454	24,1	24,0±0,875
21	480	24,15	24,0±0,875
22	504	24,09	24,0±0,875
23	528	24,05	24,0±0,875
24	552	24,11	24,0±0,875
25	576	24,08	24,0±0,875
26	600	24,08	24,0±0,875
27	624	24,07	24,0±0,875
28	648	23,98	24,0±0,875
29	672	24,05	24,0±0,875
30	696	24,05	24,0±0,875
31	720	24,08	24,0±0,875

Краткая информация об авторах.

**Сахаров
Дмитрий Андреевич**

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, проректор по экономике и инновациям, адрес: Российская Федерация, 125047, Москва, Миусская пл., д. 9, e-mail: sakharov@muctr.ru.

**Аверина
Юлия Михайловна**

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, 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.

**Трапезников
Алексей Николаевич**

Научно-технический центр «КАМАЗ», 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.

**Федотов
Юрий Сергеевич**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела Российской академии наук, канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник, адрес: Российская федерация, 142432, Московская обл., Черноголовка, ул. Академика Осипьяна д.2, e-mail: urfed@issp.ac.ru

**Матвеев
Данила Викторович**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики твердого тела Российской академии наук, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, адрес: Российская федерация, 142432, Московская обл., Черноголовка, ул. Академика Осипьяна д.2, e-mail: matveev@issp.ac.ru