



Научный совет
по комплексным проблемам развития энергетики
при Президиуме РАН

*115412, Москва,
ул. Ижорская, 13, с. 2*

*Тел. (495)483-81-22, (499) 127-48-33
E-mail: volkov_ep@ihed.ras.ru
E-mail: ilyushin.pv@mail.ru*

ПРОТОКОЛ № 4

Место проведения заседания:

Москва, Ленинский проспект д. 32А, Президиум РАН, зеленый зал

Время проведения: 19 октября 2023 г., 14:00

Присутствовали:

Председатель Научного совета, академик РАН Э.П. Волков.

Члены Совета: академик РАН В.А. Стенников (зам. Председателя), академик РАН С.П. Филиппов (зам. Председателя), академик РАН, вице-президент РАН С.М. Алдошин, академик РАН Ю.Г. Драгунов, академик РАН Н.Н. Пономарев-Степной, академик РАН М.П. Федоров, чл.-корр. РАН А.Л. Максимов, д.т.н. П.В. Илюшин (ученый секретарь), д.т.н. О.В. Жданеев, д.т.н. А.В. Кейко, Л.Д. Рябев, д.э.н. Е.Л. Логинов (официальный представитель Е.П. Грабчака), А.В. Штегман (официальный представитель чл.-корр. РАН Г.Г. Ольховского).

Приглашенные: д.х.н. Ю.А. Добровольский, д.т.н. В.М. Самойлов, д.т.н. Н.В. Кулешов, д.ф.-м.н. В.В. Кузнецов, к.ф.-м.н. Д.О. Дуников, к.х.н. Е.А. Данилов, М.Б. Глазова, А.И. Голиней, А.С. Стихин.

Со вступительным словом выступил председатель Научного совета, академик РАН Э.П. Волков.

Научный совет рассмотрел:

На научную экспертизу в Научный совет по комплексным проблемам развития энергетики при Президиуме РАН были представлены материалы по пяти перспективным технологиям:

1. Технология промышленного производства электролизных установок блочно-модульного типа с анионпроводящей матрицей производительностью по водороду от 50 нм³/ч.

Докладчик: главный эксперт программы ООО «НПО «Центротех» А.С. Стихин.

Эксперты: д.т.н. Н.В. Кулешов, д.ф.-м.н. В.В. Кузнецов, к.ф.-м.н. Д.О. Дуников.

2. Технология промышленного производства металлгидридных систем хранения и очистки водорода до 99,9995% об.

Докладчик: генеральный директор ООО «Центр Водородных Технологий» АФК «Система», д.х.н. Ю.А. Добровольский.

Эксперты: д.т.н. Н.В. Кулешов, к.ф.-м.н. Д.О. Дуников.

3. Технология промышленного производства биполярных пластин для топливных элементов.

Докладчик: главный научный сотрудник АО «НИИГрафит», д.т.н. В.М. Самойлов.

Эксперты: д.ф.-м.н. В.В. Кузнецов, д.т.н. Н.В. Кулешов.

4. Технология промышленного производства газодиффузионных слоев для топливных элементов.

Докладчик: начальник лаборатории синтеза и исследования новых материалов АО «НИИГрафит», к.х.н. Е.А. Данилов.

Эксперты: д.ф.-м.н. В.В. Кузнецов, д.т.н. Н.В. Кулешов.

5. Технология промышленного производства комбинированных установок постоянного и резервного электропитания с накоплением энергии не менее 50 кВт·ч с системой получения, хранения и электрохимического преобразования водорода.

Докладчик: генеральный директор ООО «Центр Водородных Технологий» АФК «Система», д.х.н. Ю.А. Добровольский.

Эксперты: академик РАН В.А. Стенников, д.ф.-м.н. В.В. Кузнецов.

Отметили:

Заслушав и обсудив доклады по четырем перспективным технологиям (один доклад не был представлен на заседании), с учетом необходимости создания новых (прорывных) технологий по критическим направлениям (водородная энергетика), Научный совет отмечает, что ни один из представленных проектов не является основанием для создания в будущем новых (прорывных) технологий. Во всех проектах слабая научная составляющая, скорее – это технологии, которые позволят создать установки, некоторые из которых могут стать импортозамещающими.

1 проект – Технология промышленного производства электролизных установок блочно-модульного типа с анионпроводящей матрицей производительностью по водороду от 50 нм³/ч (около 40 т в год).

Данная технология разработана ООО «НПО «Центротех» на базе технологии «ФОТОН» с матричным электролитом для топливных элементов. Используется та же элементная база, что не вполне оправдано, так как требования к электролизеру другие, чем к топливным элементам: нужен высокий ресурс (не менее 50 000 часов) при низких капитальных затратах; низкое энергопотребление при низких весогабаритных характеристиках и др.

Название проекта не соответствует его содержанию. Название «Технология промышленного производства электролизных установок с анионопроводящей матрицей производительностью от 50 нм³/ч наводит на мысль, что разработана новая, неизвестная ранее, анионпроводящая матрица (это было бы серьезным событием), на основе которой осуществляется электролиз. Из названия следует, что создан новый тип электролизера – анионообменный. То есть разработчики никак не могут определиться, какого

типа электролизер они разрабатывают – анионпроводящий или анионообменный. Хочется современный. Из представленной на совете презентации следует, что используется традиционный для щелочного электролиза воды 30% водный раствор КОН. Значит вся «анионопроводимость» и «анионообменность» (которая может быть осуществлена только при низких концентрациях щелочи) сводится к процессу переноса аниона ОН- через раствор КОН, заполняющий пористую матрицу при некоторой извилистости пор. Таким образом, в названии должно быть уточнение, что это именно «Щелочной электролизер воды с пористой матрицей на основе модифицированного асбеста».

Вместе с тем, проблемы разработки таких электролизеров связаны с устойчивостью работы мембраны, которые в настоящее время не решены. Недостатком предлагаемого проекта является отсутствие описания способа решения данной проблемы, что не позволяет с достаточной степенью уверенности говорить о возможности его полной реализации. В настоящее время специалистами ООО «НПО «Центротех» завершена разработка линейки электролизных установок производительностью от 5 до 40 нормальных кубических метров в час ($\text{Нм}^3/\text{ч}$) для производства водорода и изготовлен опытный образец электролизной установки производительностью $5 \text{ Нм}^3/\text{ч}$, который прошел заводские испытания. Подтвержденными характеристиками является удельное энергопотребление электролизной батареи для производства 1 Нм^3 водорода с чистотой 99,9% и давлением 1,5 Мпа, которое составляет менее $4 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$.

В проекте предполагается использование пористого асбеста в качестве «анионопроводящей» матрицы. В результатах НИОКР в п. 9 «Поиск замены гидроксида магния на оксид магния и др.» планируется провести его модификацию. Это тупиковое направление. В мире был найден заменитель асбестовых пористых диафрагм – это полимерные пористые диафрагмы, например, Zirfon или его аналоги.

Из пункта «Адаптация технологии изготовления топливных элементов к изготовлению электролизного элемента» следует, что **будет** использована элементная база разработанных в 1970-е годы щелочных топливных элементов вплоть до размеров (видно по фотографиям на слайдах). Не совсем понятно, как можно адаптировать ячейку топливного элемента к электролизной ячейке, где идут совсем другие электрохимические процессы, другой теплообмен, другие температуры, давления. И требования к электролизеру другие, чем к топливным элементам: нужен высокий ресурс (не менее 50 000 часов) при низких капитальных затратах и энергопотреблении.

В материалах много неясностей: почему выбрано давление 15 атм., а не 10 атм., как это было на отечественных СЭУ, зачем заранее закладывать такую высокую чистоту газов (99,999%) из установки и др.?

Таким образом, ни о каких новых для нашей страны технологиях электролиза воды в данном проекте речи не идет, а «адаптированные» из щелочных топливных элементов очень сложные технологии заранее закладывают высокие стоимости установок щелочного электролиза воды даже для устаревшей элементной базы, содержащей асбест, который подвергается физической и химической деградации в течение нескольких тысяч часов.

Учитывая более чем полувековой опыт работы специалистов ООО «НПО «Центротех» в области создания электрохимических устройств и достаточно полную проработку проекта, можно рекомендовать данный проект для реализации в виде промышленной технологии (не промышленного производства), которая после устранения вышеприведенных замечаний может использоваться как импортозамещающая. До окончательного решения целесообразно запросить способы решения проблемы устойчивости работы мембраны, планируемый ресурс работы установки и решение проблемы масштабирования, которая возникает при увеличении размеров мембраны, а также обсудить полученные параметры со специалистами.

Итоги открытого голосования по проекту 1:

«ЗА» – 13,

«ПРОТИВ» – 0,

«ВОЗДЕРЖАЛСЯ» – 1.

Большинством голосов членов Научного совета проект поддержан, с учетом вышеприведенных замечаний и рекомендаций.

2 проект – Технология промышленного производства металлогидридных систем хранения и очистки водорода до 99,9995% об.

В представленных материалах указана особенность данного метода хранения водорода – его низкая массовая плотность. Заявленная массовая плотность хранения водорода (до 2% масс.) для металлогидридных систем относится к массовой емкости используемых материалов. Для рассматриваемых систем это значение ниже (1% масс). Если добавить к этому недостатку еще и высокую стоимость эффективных металлогидридов, то становится непонятным, почему предпочтение отдается металлогидридным системам, а не хранению и транспортировке водорода в сжатом виде в композитных баллонах – самых используемых в настоящее время, или в жидких органических носителях. **В представленных материалах нет данных о системах металлогидридной очистки.** Заявленный уровень готовности технологии – 8 (окончание разработки подлинной системы), предполагает отсутствие необходимости дальнейших разработок и является завышенным.

В описании данного проекта отсутствуют данные по системам очистки водорода, научная новизна не представлена (заявленный существующий уровень готовности – 8), поэтому проект в представленном виде не может быть рекомендован для выполнения.

Итоги открытого голосования по проекту 2:

«ЗА» – 3,

«ПРОТИВ» – 10,

«ВОЗДЕРЖАЛСЯ» – 1.

Большинством голосов членов Научного совета проект не поддержан.

3 проект – Технология промышленного производства биполярных пластин для топливных элементов.

Биполярные пластины из композитного материала на основе графита являются одним из основных элементов твердополимерного топливного элемента с протонопроводящей мембраной и служат для подвода исходных продуктов и отвода продуктов электрохимических реакций. Предлагаемая в проекте технология производства биполярных пластин позволит освоить производство биполярных пластин из графитонаполненных композиций с высокой стойкостью к коррозии, что существенно повысит ресурс топливного элемента. Работы проводились АО «НИИГрафит», которое является одним из ведущих производителей углерод-углеродных композиционных материалов, имеющих матрицу из углеродного волокна, и имеет большой опыт выполнения подобных работ. Недостатком проекта является то, что биполярные пластины являются одним из элементов твердополимерного топливного элемента, поэтому их конструкция и габариты должны быть увязаны с основным производством.

Критическим недостатком заявленного продукта проекта является толщина пластин. В целом ключевой проблемой именно композитных пластин является обеспечение высокой прочности при малой толщине пластин, поэтому в транспортных применениях все чаще используются металлические аналоги. Нетрудно заметить, что толщина пластин в 3-10 раз больше, чем у зарубежных аналогов. При схожей плотности материала это будет означать в 2-10 раз больший вес (при том, что авторы сами говорят о 70% вкладе биполярных пластин в массу энергоустановки). При этом выигрыш по плотности относительно металлических биполярных пластин не должен вводить в заблуждение – меньшая толщина металла (в 6-10 раз) компенсирует его большую плотность. Представленное в таблице изделие Shunk имеет приведенную к единице поверхности массу в $1,05 \text{ г/см}^2$, а металлический аналог от Impact Coatings Ceramic Macphase – $1,19 \text{ г/см}^2$. А прочность на излом при сдавливании в батарее при сборке будет несравнима. У отечественного изделия

даже в оптимистичном варианте (1,5 мм толщина при плотности 1,9 г/см³) этот показатель составит 2,85 г/см². Таким образом, предлагается изделие, по массе и габаритам в несколько раз хуже зарубежных аналогов, причем ключевым рынком заявляются именно транспортные применения (понятно почему – только там есть устойчивый и растущий спрос).

Поддержка данного проекта, учитывая его направленность на разработку технологии промышленного производства, была бы целесообразна совместно с разработкой технологии промышленного производства твердополимерного топливного элемента (мембранно-электронный блок, биполярные пластины, концевые пластины и др.). Однако, как промышленная технология важной составляющей топливного элемента – биполярной пластины, проект заслуживает поддержки с учетом вышеприведенных замечаний.

Итоги открытого голосования по проекту 3:

«ЗА» – 12,

«ПРОТИВ» – 1,

«ВОЗДЕРЖАЛСЯ» – 1.

Большинством голосов членов Научного совета проект поддержан, с учетом вышеприведенных замечаний и рекомендаций.

4 проект – Технология промышленного производства газодиффузионных слоев для топливных элементов.

Газодиффузионные слои являются одним из основных элементов твердополимерного топливного элемента с протонпроводящей мембраной. Предлагаемая в проекте технология изготовления газодиффузионного слоя из модифицированных углеродных волокон на основе отечественного сырья необходима для создания отечественных твердополимерных топливных элементов, которые уже сейчас применяются для снижения выбросов в зарубежных транспортных системах. Работы проводились АО «НИИГрафит», которое является одним из ведущих производителей углерод-углеродных

композиционных материалов, имеющих матрицу из углеродного волокна, и имеет большой опыт выполнения подобных работ. Недостатком проекта является то, что газодиффузионные слои являются одним из элементов твердополимерного топливного элемента, поэтому их конструкция и габариты должны быть увязаны с основным производством, чего в проекте не предусмотрено.

Сомнения вызывает также востребованность продукта проекта в выбранной нише. Для транспортных целей все зарубежные газодиффузионные слои имеют существенно меньшую толщину, чем предлагается в проекте. Поэтому при наборе последовательно батареи из 60-80 топливных элементов, каждый из которых включает два газодиффузионных слоя, массогабаритные характеристики имеют решающее значение. Характерная толщина тканевых подложек китайского производства составляет 300-360 мкм (HCP), нетканых материалов от 200 до 250 мкм (Sigracet, Freudenberg), толщину 140-262 мкм имеют картоноподобные материалы, полученные преимущественно методом мокрой выкладки (Toray). Канадский производитель газодиффузионных слоев AvCarb, тесно сотрудничающий с ведущим производителем батарей топливных элементов Ballard Power Systems и ранее работавший на тканых материалах, с недавнего времени выпускает только нетканые варианты газодиффузионных слоев на основе метода мокрой выкладки волокон. Основная причина – стремление к минимальной толщине слоя, связанная с требованиями разработки компактных электрохимических генераторов для транспорта. Некоторые зарубежные компании разрабатывают подходы, связанные с электроплетением (electrospinning) основы газодиффузионного слоя, что, по мнению ряда специалистов, на сегодняшний день является наиболее передовым подходом, который, тем не менее, серийно промышленностью пока не освоен.

Рекомендуется или переориентировать проект под нишу редокс-батарей, или провести сравнительные испытания отечественного материала с зарубежным в составе мембранно-электродного блока совместно с потенциальным потребителем данного продукта, чтобы добиться согласования

технических параметров отечественного газодиффузионного слоя.

Поддержка данного проекта, учитывая его направленность на разработку технологии промышленного производства, была бы целесообразна совместно с разработкой технологии промышленного производства твердополимерного топливного элемента. Как технология одного из элементов твердополимерного топливного элемента, проект заслуживает поддержки с учетом высказанных замечаний.

Итоги открытого голосования по проекту 4:

«ЗА» – 12,

«ПРОТИВ» – 0,

«ВОЗДЕРЖАЛСЯ» – 2.

Большинством голосов членов Научного совета проект поддержан, с учетом вышеприведенных замечаний и рекомендаций.

5 проект – Технология промышленного производства комбинированных установок постоянного и резервного электропитания с накоплением энергии не менее 50 кВт·ч с системой получения, хранения и электрохимического преобразования водорода.

На заседании доклад не был представлен. Обсуждение проекта не проводилось.

В обсуждении выступили:

По первому проекту: академик РАН А.Б. Ярославцев, академик РАН Ю.Г. Драгунов, академик РАН С.П. Филиппов, академик РАН Н.Н. Пономарев-Степной, академик РАН В.А. Стенников, д.т.н. Н.В. Кулешов, д.ф.-м.н. В.В. Кузнецов, к.ф.-м.н. Д.О. Дуников, д.т.н. О.В. Жданеев, академик РАН Э.П. Волков.

По второму проекту: академик РАН С.П. Филиппов, академик РАН Стенников В.А., д.т.н. Н.В. Кулешов, к.ф.-м.н. Д.О. Дуников, д.т.н. О.В. Жданеев, академик РАН Э.П. Волков.

По третьему проекту: академик РАН С.П. Филиппов, академик РАН Стенников В.А., чл.-корр. РАН А.Л. Максимов, д.ф.-м.н. В.В. Кузнецов, д.т.н. Н.В. Кулешов, д.т.н. О.В. Жданеев, академик РАН Э.П. Волков.

По четвертому проекту: академик РАН С.П. Филиппов, академик РАН Стенников В.А., д.ф.-м.н. В.В. Кузнецов, д.т.н. Н.В. Кулешов, академик РАН Э.П. Волков.

Решили:

По результатам проведенной научной экспертизы в Научном совете по комплексным проблемам развития энергетики при Президиуме РАН поддержано три из представленных на заседании четырех проектов, с учетом приведенных замечаний и рекомендаций. Один проект был отклонен большинством голосов.

Председатель Научного совета,
академик РАН



Э.П. Волков

Ученый секретарь
Научного совета, д.т.н.



П.В. Илюшин