**РЕЦЕНЗИЯ**

на дисертационен труд за получаване на научната и образователна степен **“доктор”**

по професионално направление

4.2 Химически науки (01.05.14 Електрохимия, вкл. Химични източници на тока)

Автор на дисертационния труд:

**Стефан Георгиев Аврамов**, Институт по Електрохимия и Енергийни Системи- БАН

Тема на дисертационния труд: **Модифицирани мембранни електродни пакети с**

**приложение във високотемпературни водородни генератори**

Рецензент:

**проф. дхн Мартин Славчев Божинов**, катедра Физикохимия,

Химико-технологичен и Металургичен Университет

**Кратки биографични данни**

Стефан Аврамов завършва Софийския университет „Св. Климент Охридски“ като бакалавър по Химия (2005) и магистър по Медицинска химия (2008). От 2008 до 2018 г. работи в Софарма АД, понастоящем в Хромасист ООД. В периода 2013-2018 е докторант в Института по електрохимия и енергийни системи на БАН. Стефан Аврамов е представил всички необходими документи по процедурата за присъждане на образователната и научна степен „доктор“.

**Актуалност на проблема**

През последното десетилетие парниковият ефект и замърсяването на атмосферата представляват реални проблеми пред развитието на човешката цивилизация. Това стимулира научните търсения на алтернативни екологични горива и източници на енергия. В последното десетилетие нарасна броят на изследванията и технологичните разработки в областта на водородните технологии като водеща стратегическа енергийна алтернатива на бъдещето. Едно от основните достойнства на водородните технологии е, че за гориво или непосредствен източник на енергия се използва водородът, при взаимодействието на който с кислорода се получава вода. В тази връзка, през последните десетилетия активно се разработват редица електрохимични устройства за преобразуване на електрична енергия в химична и обратно с медиатор водород. Едни от устройствата, за които нивото на научно познание и технологично развитие е в най-напреднал стадий, са водородните генератори с протон-проводяща мембрана (polymer electrolyte membrane, PEM). Този тип преобразуватели на енергия се използват вече не само за специални цели (в космическата и военната индустрия), но и в бита като компоненти на когенерационни системи и изравнителни станции. Стремежът на водещите в тази област изследователски организации е разширяването на температурния интервал на работа чрез разработване на нови типове термоустойчиви мембрани. Интензитетът на научни изследвания, свързани с високотемпературните PEM водородни генератори, се илюстрира ясно с факта, че търсене в Web of Science с ключови думи “high-temperature PEM electrolysis” дава над 590 резултата за последните 10 години.

Този кратък преглед на състоянието на изследователската и развойна дейност в областта на електрохимичните устройства за преобразуване на енергия с медиатор водород ясно показва, че проблемът, който е предмет на настоящия дисертационен труд – синтез и характеризиране на нови мембранни електродни пакети за високотемпературни PEM водородни генератори - е изключително актуален.

**Обща характеристика на дисертационния труд**

Дисертационният труд е написан на 91 страници, съдържа 52 фигури и схеми, както и 5 таблици. Цитирани са 74 литературни източника, значителна част от които са публикувани през последните 10 години. Дисертацията се състои от следните раздели: Увод, Теоретични аспекти, Видове електролиза, Получаване на водород чрез високотемпературна електролиза на вода – състояние на проблема, Цели и задачи, Експериментална част, Изводи и Основни приноси.

Уводът поставя рамките на изследваните проблеми в контекста на съвременните водородни технологии, като акцентира на значимостта на обектите на настоящия труд (термоустойчиви полимерни материали за мембранни електродни пакети на високотемпературни PEM водородни генератори) за развитието на химията и технологията на изследвания тип преобразуватели на електрична енергия. Литературният обзор (представляващ около 25% от обема на настоящия труд) успешно въвежда читателя в теоретичните основи на високотемпературната водна електролиза и генератори на водород. Основните компоненти на този тип преобразуватели на енергия са разгледани доста подробно, като специално внимание е обърнато на обобщението на съвременното ниво на познание за механизма на процесите в полимерните материали за мембранни електродни пакети. На основа на критичен поглед върху съществуващите проблеми на тези системи, са направени изводи за необходимите на този етап модификации, подобрения и оптимизации на полимерните материали и МЕП, както и системни изследвания на нови типове съединения с евентуално приложение като такива. Въз основа на тези изводи точно и ясно са формулирани целите и задачите на дисертационния труд – разработване на мембранни електродни пакети, подходящи за водородни генератори, опериращи при температури над 120 °С. Формулирани са и конкретни задачи, от чието изпълнение зависи постигането на поставените цели – избор на подходяща термоустойчива мембрана, разработване на методика за оптимално дотиране на мембраната, разработване на методика за синтероване на електроди за високотемпературна електролиза, разработване на метод за асемблиране на МЕП, модифициране на лабораторен ПЕМ електролизьор за работа при висока температура и определяне на работните характеристики на МЕП във високотемпературен ПЕМ електролизьор.

Следващият раздел на дисертацията е посветен на описание на използваните експериментални методи. Прави впечатление съвременният поглед към подбора на тези техники като методики за измерване на проводимост, изследване на лабораторни МЕП, изследване на каталитичните електроди, синтероване и асемблиране на МЕП, а така също и редица електрохимични методи, като волтамметрия, хроноамперометрия и електрохимична импедансна спектроскопия. Този набор от методи позволява един многостранен поглед върху процесите, протичащи в изучаваните мембранни пакети, и количествена оценка на електричните и електрохимични свойства на полимерните материали, а оттам върху електрохимичните и експлоатационни характеристики на съответните електродни пакети.

В главата Експериментална част са представени основните резултати за взаимовръзката между процедурите на подготовка и асемблиране на мембранни електродни пакети ит термоустойчиви полимерни материали и синтеровани каталитични електроди, от една страна, и техните електрохимични и експлоатационни характеристики, от друга. Направен е подробен сравнителен анализ на електрохимичните характеристики на синтезираните МЕП. Обобщената информация е обещаващо начало за последващи изследвания в областта на високотемпературните водородни генератори и електролизни клетки. Получените МЕП работят ефективно в условията на висока температура и силно кисела среда, като изтичането на основния протонпроводящ носител е предотвратено. Това постижение води след себе си не само достигането на по-високи токови плътности в сравнение с перфлуорсулфоновите мембрани при 80 ºС, но и предпазва работната установка от деградация на основните ѝ компоненти. Резултатите показват, че оптимизираният мембранен електроден пакет е достатъчно стабилен, за да бъде тестван за по-продължителен период от време. Независимо, че в литературата има данни за МЕП с по-високи плътности на тока, те имат значително по-кратък живот в сравнение с разработените в настоящия труд. Основните изводи са добре систематизирани в едноименната глава.

**Наукометрични данни**

Резултатите от дисертационния труд са обобщени в 2 научни труда, които са публикувани в международнo списаниe с импакт-фактор - Bulgarian Chemical Communications. Резултатите са докладвани на 5 национални и международни научни форума. Според мен, тези резултати представляват значим принос в отразяването на динамичния изследователски процес в световната научна периодика по тематиката на дисертационния труд. В резултат на посочените данни може да се заключи, че наукометричните показатели на дисертационния труд на Стефан Аврамов отговарят на критериите на ЗРАС и правилника на ИЕЕС-БАН за претендираната научна и образователна степен.

**Основни приноси**

Основните приноси на представения дисертационен труд могат да бъдат резюмирани както следва:

* Постигнат е значителен напредък както в експериментално, така и в методологично отношение, в една модерна научна и технологична област – получаване на водород чрез електролиза в устройства с полимерна протон-проводяща мембрана при температури, по-високи от 120 ºС.
* Разработени са прости и възпроизводими методи за оценка на протонната проводимост на ново поколение протонпроводящи мембрани, както и за асемблиране на мембранни електродни пакети за високотемпературна ПЕМ електролиза на вода.
* Класическият Pt газодифузионен електрод е оптимизиран за работа при повишени температури (> 130 ºС), в силно кисела среда, без загуба на протонпроводящ носител.
* Асемблиран е МЕП с оптимизирания синтерован при висока температура Pt електрод и ново поколение полибенимидазолова мембрана поли[2,2-(p-фенилен)-5,5-бисбензимидазол], който е подходящ за работа във високотемпературен водороден генератор, изработен в ИЕЕС за целите на дисертационния труд.

Като обобщение може да се отбележи, че приносите на дисертационния труд са съществени както в научно, така и в научно-приложно отношение и представляват по-нататъшно развитие и обогатяване на знанията в областта на синтеза и характеризирането на мембранни електродни пакети за високотемпературни водородни генератори с протон-проводяща мембрана.

**Роля на дисертанта в проведените изследвания**

Стефан Аврамов притежава значителен опит в областта на научните изследвания, технологичните разработки и внедрявания в областта на електрохимичните преобразуватели на енергия, както и в други припокриващи се области на фундаменталната електрохимия и електрохимичните технологии. Това ми дава основание да заключа, че в голяма степен представените в настоящия дисертационен труд изследвания са лично дело на докторанта, особено що се касае до разработването на нови технологични решения, видоизменение и усъвършенстване на методите на синтез и характеризиране на компонентите на мембранните електродни пакети. Авторефератът отразява ясно и точно основните резултати и приноси на дисертацията.

**Критични забележки, въпроси, препоръки**

Основните ми забележки към дисертационния труд са от технически характер. При представяне на кривите ток-потенциал, измервани в потенциодинамичен режим, е методически правилно управляващата променлива – потенциалът – да се нанася по абсцисната ос, а не обратното, както е напр. на Фиг.30 и 51. Заслужава да се отбележи, че цикличните волтаммограми (а не волтграми, както се чете в подфигурните текстове) са представени по коректния начин. Легендите на фигурите не се съгласуват езиково с подфигурните текстове. Методът за измерване на проводимост на мембраната обикновено се нарича импедансна спектроскопия, а не спектрометрия. Разбира се, тези технически недостатъци не омаловажават получените в дисертацията резултати и не влияят съществено на тяхната интерпретация.

**Заключение**

**В заключение считам, че представеният ми за рецензиране дисертационен труд по обем, методично ниво, научни приноси и наукометрични данни отговаря на ЗРАС и Правилника за приложението му в ИЕЕС-БАН в частта присъждане на научната и образователна степен “ДОКТОР”. Като имам предвид всичко гореизложено и изхождам преди всичко от научните приноси на дисертационния труд и достигнатото ниво на квалификация на кандидата, препоръчвам на почитаемото научно жури да гласува за присъждане на научната и образователна степен “ДОКТОР” на Стефан Георгиев Аврамов.**

18.03.2019 г. Рецензент:..............................

София (проф. дхн Мартин Божинов)