

РЕЦЕНЗИЯ

относно защита на дисертационен труд "Горивни клетки с екологична насоченост"

за придобиване на ОНС "Доктор"

по специалност 4.2. Химически науки (Процеси и апарати в химичната и биохимичната технология)

с кандидат **Стефан Мартинов Стефанов, химик**

Рецензент: **проф. д-р Йолина Валентинова Хубенова, дн**

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем.

Електрохимичната редукция на нитрати в катодното пространство се разглежда като перспективен подход за пречистване на нитратно замърсени води и едновременно оползотворяване на азота чрез получаване на продукти с добавена стойност. Въпреки значителния научен и практически интерес, ефективното приложение на технологията все още е свързано с редица предизвикателства, сред които е високата енергийна необходимост на конвенционалната анодна реакция на отделяне на кислород (OER), характеризираща се с бавна кинетика и високо свръхнапрежение. Поради това през последните години се разработват алтернативни анодни окислителни процеси, насочени към заместване на OER и повишаване на общата енергийна и електрохимична ефективност на интегрираната катодно-анодна система. Особен интерес представлява използването на сулфитни йони, образуващи се като вторичен замърсител при процесите на мокра десулфуризация на димни газове, както и на сулфидни йони, съдържащи се в промишлени отпадъчни води и други анаеробни среди, като анодни електронни донори. Тяхното електрохимично окисление протича при по-ниско свръхнапрежение и с по-благоприятна кинетика в сравнение с реакцията на отделяне на кислород, което намалява енергийните загуби в анодното пространство и създава предпоставки за по-ефективно протичане на катодната редукция на нитратите. По този начин едновременно се постига пречистване на два екологично значими замърсителя при по-нисък разход на електрическа енергия. В този контекст разработването на подобни интегрирани електрохимични системи с акцент върху анодната реакция, представлява актуално и перспективно направление в областта на екологичните и енергийните технологии.

2. Преглед на дисертационния труд и анализ на резултатите.

Дисертационният труд представя резултатите от задълбочено изследване на процесите в горивен елемент за очистване на серни съединения, както и възможността за разработване на интегрирана система за едновременно генериране на електрическа енергия и редукция на нитрати. Трудът е разработен в обем от 110 страници (без библиографска справка) и е структуриран по класическия за дисертационните

разработки модел, включващ: въведение, литературен обзор, цел и задачи, материали и методи, резултати и дискусия, изводи и приноси.

Докторантът демонстрира отлична осведоменост по разглежданата научна проблематика и задълбочено познаване на съществуващите научни разработки. Литературният обзор е изграден върху 225 литературни източника, което свидетелства за изчерпателно проучване на научната литература. Библиографската справка е представена в отделен раздел с общ обем 16 страници.

Спазено е оптималното съотношение между отделните раздели, като приблизително половината от обема на дисертацията е посветена на представянето и обсъждането на получените резултати. Те са логично организирани и последователно следват предварително формулираните цел и задачи на изследването, а интерпретацията им се отличава със задълбочен научен анализ и критично обсъждане.

Дисертационният труд е онагледен с 36 фигури и 10 таблици, които допринасят за ясното представяне и интерпретацията на експерименталните резултати.

Изследванията са прецизно планирани и последователно изпълнени. Те обхващат всички основни компоненти на горивната клетка – от конструктивните особености (едно- и двукамерна конфигурация), през избора на електродни материали и сепаратори (анион- и катионообменни мембрани), до детайлното изследване и оптимизация на анодната и катодната реакция. Оптимизационните изследвания не се ограничават единствено до определянето на подходящи работни параметри, като концентрация на субстратите, pH, температура и други експлоатационни условия, а оценяват и тяхното влияние върху цялостното функциониране и Фарадеевата ефективност на горивната клетка.

Съществено предимство на дисертационния труд е, че всеки експериментален цикъл е предшестван от ясна научна обосновка, аргументираща необходимостта от проведените изследвания, а след приключването му са формулирани задълбочени и логически обосновани изводи, базирани на получените експериментални резултати.

Разделът „Резултати и дискусия“ е структуриран в два основни подраздела, в които систематично са анализирани факторите, определящи Фарадеевата ефективност при използването на серни съединения, съдържащи сяра в различна степен на окисление. Допълнително е демонстрирано, че оптимизирането на състава на фоновия електролит води до съществено подобряване на работните характеристики на системата.

Особено ценен принос представлява изследването на възможността за разширяване приложението на електрохимичното окисление на сулфити под формата на CaSO_3 чрез интегрирането му със съвременните технологии за ограничаване на емисиите на въглероден диоксид. Този подход значително повишава практическата и екологичната значимост на разработката и очертава перспективни насоки за бъдещи научни изследвания. Представените резултати убедително показват задълбоченото познаване на тематиката и високата научна подготовка на докторанта.

Авторефератът отрязва вярно и изцяло представените в дисертационния труд резултати.

3. Основни научни и научно-приложни приноси. Анализ на личния принос на докторанта

След запознаване с представения дисертационен труд считам, че той съдържа оригинални научни и научно-приложни приноси, които са резултат от самостоятелно проведени експериментални изследвания и задълбочена интерпретация на получените резултати. Могат да бъдат обобщени както следва:

- Разширени са съществуващите знания относно възможностите за приложение на горивните клетки при едновременното третиране на потоци, замърсени със серни съединения, и генериране на електрическа енергия. Получените резултати доказват перспективността на този подход като екологично устойчива технология за оползотворяване на отпадъчни ресурси.
- Идентифицирани са основните фактори, ограничаващи работата на изследваната система, като е извършена оценка на тяхното влияние върху ефективността на процесите и са предложени научно обосновани подходи за ограничаване на неблагоприятното им въздействие.
- Експериментално е доказана възможността за комбинирано третиране на сулфидни и нитратни потоци в електрохимична система, като е установен синергичен ефект, водещ до подобряване на експлоатационните характеристики и повишаване на ефективността на горивната клетка.

Към научно-приложните приноси на дисертационния труд могат да бъдат отнесени:

- Разработването и експерименталната оценка на рециклиран материал (пиролизирана въглеродна тъкан) използван като модифициран анод, подобряващ работни характеристики в сравнение с графитни електроди.
- Извършената сравнителна оценка на мембраните CelGard®, Fumapem® и Nafion® при работа с горивна клетка, използваща серни съединения като анолит, въз основа на която са определени техните предимства, ограничения и приложимост при конкретните експериментални условия.
- Оценката на възможността за интегриране на разработената горивна клетка в процесите за почистване на серен диоксид чрез третиране на сулфитни йони в моделни абсорбционни разтвори. Определени са оптимални експлоатационни условия за едновременно постигане на висока степен на неутрализация на замърсителите и максимален енергиен добив, което придава на разработката отчетлив практически и екологичен потенциал.

Представените научни и научно-приложни приноси са предпоставка за бъдещо развитие и внедряване на подобни технологии в практиката.

4. Описание и оценка на представените материали

Наукометричните показатели на докторант Стефан Стефанов са впечатляващи и значително надхвърлят изискуемите минимални критерии. По база данни на Скопус, той има 18 публикации, цитирани над 120 пъти, с Хирш индекс 5. С удоволствие бих искала да отбележа, че индексът е по-висок от препоръчителния за процедурата „доцент“. За процедурата по защита на дисертационния си труд, той е представил 3 броя публикации, 2 от които са индексирани и реферирани (минимално изискуеми – 2 бр, от тях 1 в списание с импакт фактор), отпечатани в периодични научни списания, цитирани общо

26 пъти (по Скопус – 21). За процедура ОНС „д-р“ не съществуват изисквания за брой цитати в правилника на ИИХ. Резултати по дисертационния труд са представени на 4 научни конференции, една от които в чужбина. Стефан Стефанов е участвал в 14 броя научни проекта, което показва активността и заангижираността му в работата.

5. Критични бележки и препоръки към научните трудове на кандидата

Нямам критични бележки към представения дисертационен труд. Бих препоръчала в бъдещи изследвания резултатите да бъдат представяни не само като абсолютни стойности на генерирания ток и мощността, но и като плътност на тока и плътност на мощността, нормализирани спрямо геометричната повърхност на електродите, когато това е приложимо. Подобен подход би позволил по-коректно сравнение на експерименталните резултати, получени при използването на различни електродни материали и електроди с различна геометрична площ, например графитна пръчка с площ 3000 mm² и електрод от пиролизирана въглеродна тъкан с площ 5000 mm² (Фиг. 16).

6. Лични впечатления на рецензента за кандидата

Познавам докторанта Стефан Стефанов от съвместната научноизследователска работа между екипите на Института по инженерна химия (ИИХ) и Института по електрохимия и енергийни системи (ИЕЕС). Впечатленията ми от него са изключително положителни. Той е мотивиран и перспективен млад учен, отличаващ се с висока професионална подготовка, трудолюбие, отговорност и последователност при изпълнение на поставените научноизследователски задачи. Проявява инициативност, умения за работа в екип и коректно отношение към своите колеги, като същевременно демонстрира сериозно отношение към научната работа и стремеж към професионално развитие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеният дисертационен труд представлява завършено научно изследване, разработено на високо научно и методично ниво. Поставените цели и задачи са изпълнени в пълен обем, а получените резултати са оригинални и убедително аргументирани. Научните и научно-приложните приноси са ясно открити и имат безспорна стойност за опазване на околната среда и оползотворяване на енергийни ресурси.

Дисертационният труд отговаря на изискванията на Закона за развитието на академичния състав в Република България, Правилника за неговото прилагане, както и на действащите нормативни документи на Българската академия на науките и Института по инженерна химия за придобиване на образователната и научна степен „доктор“.

Въз основа на изложеното давам своята **положителна оценка** на дисертационния труд и убедено предлагам на уважаемото Научно жури да присъди на **Стефан Стефанов** образователната и научна степен „доктор“ по професионално направление 4.2. Химически науки (Процеси и апарати в химичната и биохимичната технология).

26.08.2026 г.

Дата

Проф. д-р Йолина Хубенова, дн

/Рецензент/