

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Береки Владислава Олеговича «Електрофізичні процеси при обробці води в краплинно-плівковому стані імпульсним бар'єрним розрядом», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Актуальність теми дисертації та її зв'язок з науковими програмами, темами

На теперішній час однією з глобальних проблем є розробка енергоефективних методів очищення води. Стан джерел питної води постійно погіршується через збільшення застосування хімічних добрив в сільському господарстві та діяльність виробництв чорної металургії, двох великих бюджетоутворюючих галузей України, а також у зв'язку з надзвичайним станом, в якому зараз знаходиться Україна..

Вирішення проблеми енергоефективності для передових електророзрядних окислювальних технологій (advanced oxidation technologies - AOT's) є вельми актуальним завданням (задачею) у теперішній час. Саме таке завдання поставлено і вирішено в даній роботі, отже вона є безумовно актуальною.

Дисертаційна робота виконана в Інституті електродинаміки НАН України відповідно до планів Держбюджетних НДР, затверджених Президією НАН України, та пов'язана з наступними НДР «Розвиток теорії електрофізичних процесів в імпульсних системах електромагнітної обробки електропровідних середовищ («Бар'єр-2»)» № ДР 0117U007714, де автором проведені дослідження по встановленню закономірностей створення однорідного імпульсного бар'єрного розряду в гетерогенному середовищі і визначено сукупність факторів, які впливають на енергоефективність очищення води.

Зміст роботи

У *вступі* обґрунтовано актуальність та доцільність роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, викладено наукову новизну і практичне значення роботи, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, показано особистий внесок здобувача в друкованих працях, наведено дані про публікації та апробацію результатів роботи, обсяг і структуру дисертації.

У *першому розділі* проведено аналіз літературних джерел, з якого витікає, що для розкладання стійких органічних забруднювачів у воді перспективними при промисловому використанні є розвинені окисні технології (AOT's). Автор робить висновок, що серед усіх видів AOT's найбільш конкурентоздатними є електророзрядні технології на основі імпульсних коронних та бар'єрних розрядів. При цьому одним з факторів, що стримує використання імпульсних бар'єрних розрядів для обробки і подальшого очищення вод у промислових масштабах є відносно низька продуктивність цих процесів.

У другому розділі представлені результати досліджень впливу наявності в міжелектродному проміжку крапель і тонкої плівки води на електродах на розподіл напруженості електричного поля в цьому проміжку, а також виявлені умови, за яких імпульсний бар'єрний розряд є в найбільшому ступені однорідним.

У третьому розділі показано, що серед досліджуваних електродних систем, як показали експериментальні дані, найбільш ефективною є система з плоско-паралельною системою електродів. З точки зору енергоефективності найбільш оптимальною частотою повторення імпульсів бар'єрного розряду є частота ≈ 50 Гц, при якій енергетичний вихід для 90% розкладення забруднювача складає ≈ 60 г /квт•год. Дисертант робить висновок, що найбільш доцільним є проведення обробки води в крапельному стані при розмірі крапель субміліметрової величини, коли існує сумарний ефект від розвиненості поверхні води та значного підсилення напруженості електричного поля біля крапель.

У четвертому розділі показано як удосконалено джерело живлення та проведено аналіз втрат енергії при її передачі від зовнішньої електричної мережі до розрядної камери. Розроблено модель, що з прийнятною для практики точністю дозволяє проводити розрахунки перехідних процесів в вихідній ланці генератора імпульсів з навантаженням у вигляді робочої камери. Наведені результати про розроблений магнітний ключ, що стабілізує роботу генератора імпульсів та збільшує коефіцієнт передачі енергії в розрядну камеру (до 50%). Показано, що завдяки енергії, яка накопичується в діелектричному бар'єрі під час протікання прямого імпульсу струму, можна до 50 % підвищити величину енергії, що виділяється в розрядній камері під час дії імпульсного бар'єрного розряду.

У загальних висновках до дисертаційній роботі показано, що вирішено важливе наукове завдання подальшого розвитку теорії імпульсного бар'єрного розряду у водоповітряних сумішах та викладено основні наукові та практичні результати проведених досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Експериментально доведено можливість існування у високому ступені однорідного імпульсного бар'єрного розряду в гетерогенному середовищі з краплями води, поблизу яких збільшується напруженість поля, що дає змогу підвищити ефективність генерації радикалів, які використовують у процесі розкладання стійких хімічних сполук.

2. Отримано нові експериментальні результати, які обґрунтовують доцільність використовувати імпульсів напруги з тривалістю фронту у декілька десятків наносекунд, застосовувати водяну плівку на поверхні катоду та використовувати діелектричний бар'єр з відносною діелектричною проникністю, яка не перевершує значення $\varepsilon = 10$ для отримання стійкого у високому ступені однорідного бар'єрного розряду в камері з краплями води.

3. Експериментально встановлено, що обробку води імпульсним бар'єрним розрядом з метою розкладання розчинених хімічних сполук доцільно проводити в крапельному стані при субміліметровому розмірі

крапель (0,8 – 1,2 мм) в наступних умовах: при тривалості кожного імпульсу приблизно 100 нс, частоті повторення імпульсів до 300 Гц, довжині розрядного проміжку до 3,5 мм, за яких досягається найвища енергоефективність - до 60 г/кВт*год при 90 % розкладанні метиленової сині в модельному розчині.

Крім того, *науково обґрунтовано* та експериментально доведено можливість побудови розрядних камер для здійснення імпульсного бар'єрного розряду на поверхню води, що знаходиться у крапельному стані та у вигляді плівок на поверхні електродів, за модульним принципом шляхом узгодження вихідної ємності генератора імпульсів та сумарної ємності паралельно з'єднаних електродних систем, ємності яких співвідносяться як 2,6 до 1, що надає можливість проводити масштабування установки для очищення води.

Новизна здобутих результатів не викликає сумнівів, оскільки вони підтверджені експериментально.

Практична значущість роботи

В роботі визначено оптимальні параметри розряду, робочої камери, вихідної ланки генератора імпульсів та режим руху води при її обробці імпульсним бар'єрним розрядом. Встановлено умови створення найбільш однорідного імпульсного бар'єрного розряду в водоповітряній суміші. Розроблено комп'ютерну модель для вирішення практичних задач розрахунку перехідних процесів у вихідній ланці генератора імпульсів з навантаженням у вигляді робочої камери, в якій імпульсним бар'єрним розрядом обробляється вода в крапельно-плівковому стані.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій не викликає сумнівів, оскільки дисертантом застосовувалися атестовані засоби вимірювання електричних імпульсів, відомі програмні пакети для моделювання фізичних процесів. Оцінка ефективності запропонованих і реалізованих в роботі варіантів імпульсного бар'єрного розряду для очищення води проводилась з залученням загально визнаних в наукових лабораторіях методів.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

За темою дисертації опубліковано 8 наукових праць, з яких 5 статей у виданнях, що включені до міжнародної наукометричної бази SCOPUS.

Здобуті результати повністю викладені в фахових публікаціях, у кількості що відповідають вимогам МОН України.

Опубліковані роботи у повній мірі висвітлюють основний зміст, наукову новизну, результати, висновки і рекомендації дисертації.

Апробація результатів роботи

Результати роботи доповідались і обговорювались на науково-технічних конференціях

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

В роботі відсутні порушення академічної доброчесності, оскільки в ній викладені власні результати досліджень автора, а використані результати з інших джерел мають відповідні посилання.

Відповідність дисертаційної роботи спеціальності

Дисертація за змістом повністю відповідає спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, за якою вона представлена до захисту.

Мова, якою написана дисертація, є технічно грамотною, доступною для сприйняття фахівцями в даній галузі.

Зауваження по дисертаційній роботі

1. Ніде в дисертації не відмічено, що плазма наносекундного розряду, в тому числі бар'єрного, є нерівноважною, тобто має місце значний відрив електронної температури від температури важких мікрочастинок: атомів, іонів, молекул.

2. Не ясно як в неоднорідному середовищі розрядного проміжку бар'єрного реактору з багатьма краплинами води (з характерним розміром крапель ~1 мм) в газовому проміжку, де існує об'ємний розряд у газовій фазі, але не у краплях води, цей розряд може бути однорідним. Адже краплі води створюють гарантовану об'ємну неоднорідність в розрядному проміжку бар'єрного реактора як без розряду в газовій фазі, так і при його наявності, викривляючи напруженість електричного поля в проміжку. Тобто електричне поле в об'ємі газового розрядного проміжку з безліччю крапель води всередині є гарантовано неоднорідним. Можливо, висновок про однорідність розряду в об'ємі з неоднорідним електричним полем пов'язаний з недосконалістю використаної фотореєструючої апаратури. Можливо, треба було використовувати термін «більш однорідний розряд» замість терміну «однорідний розряд».

3. На с. 53 немає посилання на відповідне джерело, з якого автор дисертації використав співвідношення (2.1), і не дано визначення початковому співвідношенню $-(\sigma + j\omega\varepsilon)\nabla^2\varphi = 0$, (2.1). Можна вирішити, що саме дисертант є автором цього співвідношення.

4. На с. 68 написано: «Напруженість електричного поля на межах «плівка-повітря» також підвищена ($\approx 15\%$) в порівнянні з однорідним полем в газовому проміжку (коли вода відсутня), а в самих плівках та краплях води на $\approx 2,5$ порядки менша ніж в газі.» Чому так? Адже напруженість в цих умовах розподіляється зворотно-пропорційно діелектричним проникностям середовищ, тобто відмінність повинна бути у ≈ 81 раз, а «на $\approx 2,5$ порядки» - це приблизно у 300 раз.

5. На с.70 написано: «найсильнішими окисниками виявляються гідроксильний радикал OH , молекули O_3 , H_2O_2 ». А де ж у цьому переліку атомарний кисень O ? На цій же сторінці помилково написано, що час життя радикалів OH у воді становить близько 2 нс, а радіус дифузії — близько 20 Å (2 нм). З багатьох наукових джерел витікає, що час життя радикалів OH

знаходиться в мікросекундному діапазоні. Наприклад, у публікації SCIENTIFIC REPORTS | 5 : 9332 | DOI: 10.1038/srep09332 (Published 20 March 2015) під назвою «Generation mechanism of hydroxyl radical species and its lifetime prediction during the plasma-initiated ultraviolet (UV) photolysis» авторів Pankaj Attri 1, Yong Hee Kim 1, Dae Hoon Park 1, Ji Hoon Park 1, Young J. Hong 1, Han Sup Uhm 1, Kyoung-Nam Kim 2, Alexander Fridman 3 & Eun Ha Choi 1 (1 Plasma Bioscience Research Center, Kwangwoon University, Seoul, Korea, 2 Yonsei University, Seoul, Korea, 3 Drexel Plasma Institute, Drexel University, PA, USA) вказується, що час життя радикалів *OH* знаходиться в мікросекундному діапазоні, причому цей час життя тим більший, чим більша відстань від поверхні води у її середину. Ця відстань може складати декілька міліметрів.

Якщо гіпотетично припустити, що характерний час життя радикалів *OH* складає приблизно 2 нс, як стверджує дисертант, то вже одразу після завершення кожного з використаних їм в роботі розрядних імпульсів, характерна тривалість яких складає до 100 наносекунд, радикалів *OH* в розрядному проміжку не буде. А дисертант стверджує, що це найбільш дієвий фактор при обробці води імпульсними бар'єрними розрядами.

6. Чому (див. с. 79) час зростання імпульсу напруги до максимуму у випадку (рис. 3.4) більший за час зростання імпульсу струму до максимуму, адже навантаження у вигляді ІБР має ємнісний характер?

7. На рис. 3.11 (с. 85) приведено зміну ХСК (хімічне споживання кисню) залежно від питомої енергії W для розчинів. А яке було при цьому біохімічне споживання кисню (БСК) – показник, вкрай важливий для оцінки наявності стійких органічних забруднювачів (СОЗ), у тому числі з бензолом?

8. Рис. 3.18 (с. 95) показує, що енергоефективність запропонованого у даній дисертаційній роботі методу очищення води на частотах проходження імпульсів більше 50 Гц суттєво зменшується, тобто для великих продуктивностей запропонований здобувачем метод не дуже підходить.

9. Формули (4.2), (4.4), (4.5) на с. 128 помилково одночасно містять одиниці виміру поточного часу як у наносекундах, так і в секундах.

10. Здобувач не має одноосібних публікацій і патентів на винахід або корисну модель.

На с. 52 написано «Дослідження показали, що вода при її тиску на вході у трубки 200 Па витікає з них суцільними цівками...». Може все ж таки, 200 кПа?

На рис. 2.6 (с. 57) нема посилання на номери кривих.

Зроблені зауваження не впливають на загальну високу позитивну оцінку дисертаційної роботи В.О. Береки і науково-практичну цінність одержаних їм результатів.

Висновок

В дисертаційній роботі Береки Владислава Олеговича вирішено важливу науково-технічну задачу модернізації електрофізичних установок та їх практичної апробації для обробки води з метою її очищення. Дисертаційна робота Береки Владислава Олеговича «Електрофізичні процеси при обробці

води в краплинно-плівковому стані імпульсним бар'єрним розрядом» цілком відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, а її автор Берека Владислав Олегович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 14 – «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Офіційний опонент:

професор кафедри інженерної
електрофізики Національного
технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»
доктор технічних наук, професор



М.І. Бойко

Підпис *проф. Бойко М.І.*
ЗАСВІДЧУЮ:
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО-ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"
" " 20 р.

ЗАЙЦЕВ Ю.І.