

## РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора Шведчикової Ірини Олексіївни  
на дисертаційну роботу Патлуна Дмитра Володимировича  
на тему «Технологія одержання композитних матеріалів для  
електрохімічних конденсаторів систем резервного електроживлення»,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань  
16 «Хімічна та біоінженерія» за спеціальністю  
161 «Хімічні технології та інженерія»

### **Актуальність теми дисертації.**

Актуальність вибору теми дисертаційного дослідження не викликає сумніву, з огляду на те, що в умовах постійних обстрілів енергетичної інфраструктури України, розвиток альтернативної енергетики стає надзвичайно важливим завданням. Електрохімічні конденсатори відрізняються найбільшим терміном служби та швидким перезарядженням. Однак як накопичувачі енергії в резервних системах електроживлення вони не набули широкого використання. Після збільшення їхньої енергоємності електрохімічні конденсатори можуть ефективно використовуватися в системах резервного електроживлення. Ефективність роботи та термін служби електрохімічних конденсаторів значною мірою залежить від технології їх виготовлення. У зв'язку з цим дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального завдання – розробці технології отримання композитних матеріалів для електрохімічних конденсаторів, що можуть бути використані в системах резервного електроживлення. Підвищення енергоємності електрохімічних конденсаторів завдяки використанню інноваційних композитних матеріалів відкриває нові можливості для їх застосування в енергетичній сфері.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Проведені автором теоретичні та експериментальні дослідження ґрунтуються на основних принципах матеріалознавства, хімічних технологій та інженерії. У роботі враховано узагальнений досвід та наукові здобутки вітчизняних і закордонних вчених. Зміст дисертаційної роботи та наукових публікацій Патлуна Д. В. за темою дослідження підтверджує достатню обґрунтованість і достовірність отриманих наукових результатів, зроблених висновків та пропозицій. Вони перевірені та встановлені автором шляхом проведення великої кількості експериментальних досліджень. Наукова обґрунтованість забезпечується використанням стандартних методів досліджень, що доповнюють один одного.

## Основні результати дослідження, ступінь їх наукової новизни та значущості.

Отримані в процесі дослідження наукові результати в сукупності дозволили вирішити важливе науково-прикладне завдання зі створення нових вітчизняних композитних матеріалів для електрохімічних конденсаторів високої енергоємності, що можуть успішно використовуватися в системах резервного електроживлення.

Наукова новизна роботи полягає у встановленні основних закономірностей технології виготовлення композитних матеріалів для електрохімічних конденсаторів.

При цьому вперше:

- Визначено вплив природи полімерів та їх фізико-хімічних властивостей на енергетичні та механічні характеристики електроактивних матеріалів енергоємних електрохімічних конденсаторів. Запропоновано алгоритм оцінки електроактивних тонких покриттів на металевому струмовідводі відповідно до аналізу змін електропровідності, а також рівня адгезії електроактивних композитів до струмовідводу.

- Встановлено вплив комбінації хінольних та кислотних функціональних груп на поверхні активованого вугілля на рівень адсорбованого водню в композитному матеріалі, що дозволило розробити технологію цілеспрямованого окислення активованого вугілля для одержання воденьадсорбуючих матеріалів.

- Виявлено залежність швидкості та рівня інтеркалювання іонів іонної рідини в графіт від складу електродної композиції. Визначено, що величина інтеркалювання іонів іонної рідини у графіт збільшується зі зменшенням покривної здатності полімеру, розміру частинок графіту та дефектів на його поверхні.

- Встановлено, що причиною пасивації анода електрохімічного конденсатора та зменшення рівня інтеркалювання графіту катіонами іонної рідини є електрохімічний розклад іонної рідини на аноді, що призводить до формування пасивної плівки на поверхні графітового електрода.

- Доведено можливість інтеграції розроблених асиметричних електрохімічних конденсаторів з електрогенеруючими елементами, такими як п'єзоелементи та літєві джерела струму, і запропоновано практичні схеми малогабаритних гібридних енергетичних систем резервного енергоживлення.

Отримали подальший розвиток методи, що дозволяють визначати рівень якості виготовлення композитних матеріалів для електрохімічних конденсаторів. Запропоновані підходи дозволили встановити зміну питомої поверхні вуглецевих матеріалів залежно від природи полімеру та їх фізико-

дослідження – розробити технології створення композитних матеріалів для електрохімічних конденсаторів систем резервного електроживлення.

Другий розділ дисертаційної роботи містить опис основних методів виготовлення композитів, дослідження їх характеристик та матеріалів, необхідних для їх одержання. Представлено методи дослідження характеристик композитів та суспензій для їх виготовлення: в'язкість, адгезійна міцність, площа поверхні та поруватість матеріалу. Використано аналітичні методи визначення структури та складу композитів: інфрачервона спектроскопія, рентгеноструктурний аналіз, оптична та електронна мікроскопія. Розглянуто методи визначення електрохімічних властивостей композитних електродів суперконденсаторів за допомогою циклічної вольтамперометрії, імпедансної спектроскопії та гальваностатичного циклювання.

У третьому розділі описано технологічні аспекти одержання композитних матеріалів для електрохімічних конденсаторів з водними електролітами. Досліджено різні схеми виготовлення електродів: вальцювання, пресування та ракельне нанесення з використанням активованого вугілля від різних виробників. Розглянуто вплив типу полімеру та технологічних параметрів процесу виготовлення електродів, ущільнення електродів на їх фізико-хімічні та електричні властивості, концентрації та складу електролітів. Досліджено полімери, такі як полівініліденфлуорид (ПВДФ), політетрафторетилен (ПТФЕ), натрієва сіль карбоксиметилцелюлози (КМЦ) та стирол-бутадієновий каучук (SBR) для розробки електродів суперконденсаторів. Встановлено залежність електрохімічних властивостей електродів від хімічної структури полімера та його стійкості до корозії. Розроблено технологію виробництва композитних матеріалів для асиметричного електрохімічного конденсатора на основі активованого та окисненого активованого вугілля.

Четвертий розділ присвячено розробці технології одержання композитних матеріалів для симетричних та гібридних конденсаторів, що використовують апротонні органічні розчинники та іонні рідини як електроліт. Досліджено композитні матеріали з апротонними електролітами, як-от  $\text{Et}_4\text{NBF}_4$  в ацетонітрилі та  $\text{LiPF}_6$  в суміші етилен/диметил карбонату. Вивчено кінетику інтеркалювання катіонів іонної рідини в полімерний композиційний матеріал на основі графіту, визначено залежність даного процесу від розміру частинок графіту та кількості дефектів на його поверхні.

П'ятий розділ присвячено розробці технології одержання композитних матеріалів для електрохімічних конденсаторів з використанням вуглецевих матеріалів українського виробництва, зокрема графіту Заваллівського родовища. Удосконалено технологічні аспекти

очистки графіту для досягнення високої чистоти та хімічної стабільності. Розроблено технологію виготовлення композитних матеріалів з використанням іонної рідини 1-бутил-1-метилпіролідиній-біс (трифторметилсульфоніл) ( $\text{Pyr}_{14}\text{TFSI}$ ), досліджено їх енергетичні характеристики та можливість використання в гібридних електрохімічних конденсаторах.

У висновках сформульовано ключові наукові та практичні результати дисертаційного дослідження. Наголошено, що розроблені технології виготовлення композитних матеріалів для електрохімічних конденсаторів дозволяють досягти високої енергоємності та стабільності роботи в різних електролітах, що відкриває нові можливості для їх використання в системах резервного електроживлення.

В цілому оцінюючи роботу за змістом і за якістю оформлення, можна зробити висновок про те, що вона відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44).

#### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Основні положення та результати дисертаційного дослідження представлено у 13 наукових роботах, з яких 3 статті опубліковані у наукових фахових виданнях України, 1 стаття в науковому виданні, яке входить до міжнародної науково-метричної бази Scopus, та 9 тез на Міжнародних і Всеукраїнських наукових конференціях. Особистий внесок автора у працях, опублікованих у співавторстві, полягає у постановці завдань досліджень, розробці методик експериментальних досліджень, участі у виконанні експериментів, узагальненні отриманих результатів та формулюванні висновків.

Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача. В опублікованих наукових працях автор дисертації дотримується принципів академічної доброчесності.

#### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

Позитивно оцінюючи здобутки Патлуна Д.В., слід вказати на зауваження до оформлення роботи, а саме – робота містить друкарські помилки та невдалі стилістичні звороти. Під час розгляду роботи до здобувача Патлуна Д.В. виникли наступні запитання:

1. Важливим аспектом практичного застосування матеріалів є довгострокова стабільність та довговічність композитних матеріалів за різних умов. На жаль, здобувач не проводив відповідних досліджень. У роботі виключно перевірялась електрохімічна стабільність матеріалів під час циклування.

2. У роботі не було приділено достатньо уваги екологічним аспектам використання розроблених матеріалів. Корисно було б включити оцінку потенційного впливу полімерних матеріалів та складових електроліту електрохімічних конденсаторів на навколишнє середовище, зокрема при утилізації та переробці.

3. У роботі наведені значення питомих характеристик різних типів електрохімічних конденсаторів, але відсутнє порівняння отриманих результатів з відомими комерційними джерелами струму такого типу. Таке порівняння підсилює б наукову новизну роботи.

4. У п'ятому розділі немає достатнього обґрунтування, чому в гібридній системі електроживлення варто використовувати саме електрохімічний конденсатор, а не високопотужний акумулятор.

5. У роботі варто було б проаналізувати принципи завдання струму електрохімічного конденсатора згідно з проєктованою генерацією енергії п'езогенератора, а також врахувати ступінь заряду конденсатора та ліміти потужності складових системи. Це сприяло б більш повному використанню енергії від п'езогенератора.

6. Здобувачеві бажано було б запропонувати математичну модель на основі електрохімічного конденсатора для обґрунтування енергетичних процесів в резервній системі електроживлення з використанням додаткових змінних, щоб забезпечити регулювання генерації п'езогенератора або струму літієвої батареї та врахувати ліміти потужності, що споживаються користувачем. Така модель могла б стати основою для проєктування систем управління резервними системами електроживлення.

### **Висновок про дисертаційну роботу.**

Дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Патлуна Дмитра Володимировича на тему «Технологія одержання композитних матеріалів для електрохімічних конденсаторів систем резервного електроживлення» є самостійним науковим дослідженням, виконаним на високому рівні. Структура та обсяг дисертації відповідають встановленим нормам. Зміст дисертації відповідає меті та поставленим завданням, які були повністю вирішені у процесі дослідження. Основні положення роботи, які виносяться на захист, мають наукову новизну. Робота відповідає принципам академічної доброчесності та є завершеним науковим дослідженням.

Дисертаційна робота за змістом і структурою відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6-9 «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 р. № 44. Здобувач Патлун Дмитро Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія» за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія».

**Рецензент:**

професор кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки Київського національного університету технологій та дизайну, д.т.н., професор



Ірина ШВЕДЧИКОВА



Підпис  
засвідчую  
Зав. КАНЦ

