ВІДГУК

Офіційного опонента д.т.н., Пащенка Євгена Олександровича завідувача відділу технології формування структурованих інструментальних композитів Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, 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. В умовах постійних атак на енергетичну інфраструктуру України розробка резервних систем електропостачання є надзвичайно важливим завданням. Резервні енергетичні системи вимагають у своєму складі наявності джерел струму високої енергоємності та надійності для забезпечення стабільної та безперебійної роботи. Враховуючи, що електрохімічні конденсатори відрізняються такими рисами, як довговічність та здатність до швидкого перезаряду, їх можна вважати перспективними джерелами акумулювання енергії для енергетичних систем. Для успішного впровадження електрохімічних конденсаторів в системах резервного електроживлення необхідно вирішити актуальне завдання, а саме підвищити їх енергоємність. Одним з ключових факторів, що впливає на енергоємність електрохімічних конденсаторів, є технологія їх виготовлення. Нові підходи до розробки композитних матеріалів та систем в цілому можуть значно поліпшити характеристики електрохімічних конденсаторів.

Тому дана дисертаційна робота спрямована на вирішення актуального завдання – розробку технології виготовлення інноваційних композитних матеріалів, що дозволяє не лише підвищити енергоємність електрохімічних конденсаторів, але й суттєво збільшити їх можливості в енергетичному секторі. Це відкриває нові перспективи для інтеграції цих пристроїв у різноманітні енергетичні системи, включаючи відновлювані джерела енергії та інші сучасні технології. Таким чином, дослідження у цій галузі є важливим внеском у розвиток енергетичної інфраструктури України та підвищення її надійності.

Крім того, дисертаційне дослідження є складовою науково-дослідних робіт Київського національного університету технологій та дизайну: грант НАТО G5772 «Наука заради миру та безпеки»: проєкт «Портативний зарядний пристрій для солдатів» (2020-2023); міжнародний проєкт 101103752-GR4FITE програми «Горизонт Європа»: «Стійке постачання графіту для анодів літій-іонних акумуляторів завдяки сталому розвитку європейського ланцюгу постачання (2023-2026); проєкт національного фонду досліджень України 2022.01/0154 «Розробка нових типів твердотільних літієвих акумуляторів високої ємності для забезпечення енергетичної безпеки України», програми «Наука для відбудови України в воєнний та повоєнний періоди». Виконання наведених науково-дослідних робіт підтверджує актуальність обраного напрямку дисертаційного дослідження.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни, ґрунтується на тому, що теоретичні та експериментальні дослідження Патлуна Д. В. спираються на наукові основи полімерного матеріалознавства, хімічних технологій та технічної електрохімії, причому отримані результати взаємно підтверджують одне одного. Достовірність експериментальних даних підкріплюється застосуванням достатнього комплексу методів (теоретичних, емпіричних, статистичних), перелік яких детально представлений у другому розділі роботи. Методи підібрано та використано відповідно до конкретних завдань експериментального дослідження. Достовірність висновків і практичних рекомендацій підтверджується критичним порівнянням отриманих результатів з існуючими в науковій літературі.

Наукова новизна роботи полягає в:

- Виявлено 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, що базується на аналізі змін електропровідності та рівня адгезії електроактивних композитів до струмовідводу.
- Вперше встановлено вплив комбінації хінольних та кислотних функціональних груп на поверхні активованого вугілля на рівень адсорбованого водню в композитному матеріалі. Це дозволило розробити технологію цілеспрямованого окислення активованого вугілля для отримання водень-адсорбуючих матеріалів.
- Виявлено залежність швидкості та рівня інтеркалювання іонів іонної рідини в графіт від складу електродної композиції. Вперше визначено, що величина інтеркалювання іонів іонної рідини у графіт збільшується зі зменшенням покривної здатності полімеру, розміру частинок графіту та дефектів на його поверхні.
- Вперше встановлено, що причиною пасивації анода електрохімічного конденсатора та зменшення рівня інтеркалювання графіту катіонами іонної рідини є електрохімічний розклад іонної рідини на аноді. Це призводить до формування пасивної плівки на поверхні графітового електрода.
- Доведена можливість інтеграції розроблених асиметричних електрохімічних конденсаторів з електрогенеруючими елементами, такими як п'єзоелементи та літієві джерела струму. Запропоновано практичні схеми малогабаритних гібридних енергетичних систем резервного енергоживлення.

Результати досліджень мають важливе практичне значення для розвитку нових технологій у галузі енергетики, зокрема для створення ефективних і надійних резервних систем електропостачання.

Вважаю, що в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, Патлун Д.В. повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності. Зміст дисертаційної роботи логічно узгоджений, чітко структурований та послідовний. У дисертації повністю розкрито результати виконання поставлених дослідницьких завдань. За структурою, змістом та оформленням робота відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України. Структура роботи визначається логікою дослідження і складається зі вступу, п’яти розділів, висновків до кожного з них, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків.

Науковий огляд наукової літератури наведений в першому розділі дисертаційної роботи. Огляд розкриває принципи роботи різних типів електрохімічних конденсаторів, визначення їх основних електричних та енергетичних характеристик. Проаналізовано класичні матеріали для електродів і встановлено критерії пошуку нових перспективних матеріалів. Описано технології виготовлення композитних матеріалів для електрохімічних конденсаторів, їх переваги та недоліки, з особливою увагою до технологічних аспектів створення матеріалів з різними полімерними компонентами.

Другий розділ містить опис основних методів виготовлення композитів та дослідження їх характеристик. Основні методи включають дослідження в’язкості суспензій, адгезійної міцності, питомої площі поверхні та поруватості матеріалу. Описані методи аналітичного визначення структури та складу композитів, такі як інфрачервона спектроскопія, рентгеноструктурний аналіз та електронна мікроскопія. Наведений опис методів визначення електрохімічних властивостей композитних електродів суперконденсаторів за допомогою циклічної вольтамперометрії, імпедансної спектроскопії та гальваностатичного циклування.

Третій розділ присвячено технологічним аспектам одержання композитних матеріалів для електрохімічних конденсаторів з водними електролітами. Досліджено виготовлення електродів з активованого вугілля різними методами, такими як вальцювання, пресування та ракельне нанесення. Оцінено вплив типу полімеру та технологічних параметрів на властивості електродів, використовуючи матеріали від різних виробників. Визначено оптимальні концентрації та склад електролітів для ефективної роботи конденсаторів. Показано вплив полімерів на електрохімічні властивості електродів.

Четвертий розділ розкриває технології одержання композитних матеріалів для симетричних та гібридних конденсаторів з апротонними органічними розчинниками та іонними рідинами. Особлива увага приділена використанню графіту українського виробництва з Заваллівського родовища, для створення електродів суперконденсаторів.

П’ятий розділ висвітлює технологічні аспекти формування гібридних систем резервного живлення на основі розроблених електрохімічних конденсаторів. Запропонована електрична модель аналізує інтеграцію конденсаторів з електрогенеруючими елементами, такими як п'єзоелементи та літієві джерела струму.

У висновках сформульовано ключові наукові та практичні результати дисертаційного дослідження.

Дисертація оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій».

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, що цитується в міжнародній науково-метричної базі Scopus, та 9 тез на наукових фахових конференціях. Зміст, обсяг та кількість друкованих праць відповідають вимогам МОН України щодо публікацій основного змісту дисертації на здобуття ступеня доктора філософії, що надає Патлуну Д. В. право на захист дисертаційного дослідження.

Зауваження та дискусійні положення по дисертації.

1. У роботі використано добре відомі полімерні матеріали, зокрема ПВДФ, ПТФЕ, КМЦ та SBR. Чому не розглядалися альтернативні полімери, які можуть мати кращі властивості для використання в електрохімічних конденсаторах?
2. Хоча було описано вплив різних полімерів на властивості електродів, у тексті недостатньо конкретно розкрито механізми, за допомогою яких ці полімери саме впливають на електрохімічні властивості. Детальніше пояснення цих механізмів могло б покращити розуміння вибору матеріалів.
3. Яким чином технологічні параметри (час та метод диспергування, температура вальцювання, тиск пресування та методи нанесення) виготовлення електродів впливають на їх фізико-хімічні та електричні властивості? У роботі наведено виключно дані щодо адгезійної міцності композиту до колектору та інтегральну характеристику - величину внутрішнього опору конденсатора, що опосередковано пов'язана з електропровідністю матеріалів. Чому не було досліджено залежність електропровідності отриманих матеріалів, зміну їх пористості від технологічних параметрів?
4. У тексті бракує обговорення можливостей того, як саме фізико-хімічні властивості полімерів, такі як молекулярна маса, кристалічність та гідрофобність, впливають на електрохімічні характеристики композитних матеріалів. Які конкретні зміни відбуваються в полімерній матриці під час температурної та механічної обробки? Ці зміни бажано було б підтвердити даними рентгеноструктурного аналізу та електронної мікроскопії.
5. Як було визначено оптимальні концентрації та склад електролітів для електрохімічних конденсаторів? Чи є можливість подальшої оптимізації цих параметрів для покращення ефективності конденсаторів? Чи приймалась до уваги взаємодія електроліту з полімерною складовою композитів?
6. Як результати, отримані в дисертаційній роботі, співвідносяться з існуючими характеристиками електроактивних композитів, на основі графену чи нанотрубок? Які переваги та недоліки мають розроблені матеріали порівняно з цими аналогами?
7. У роботі бракує аналізу можливостей масштабування розроблених технологій для промислового виробництва. Було б корисно включити аналіз викликів, з якими можна зіткнутися при впровадженні цих технологій у промислових масштабах, і можливих шляхів їх подолання. Наскільки запропоновані технології виготовлення композитних матеріалів придатні для великосерійного виробництва?

Висловлені зауваження, побажання мають рекомендаційний характер, а тому не ставлять під сумнів здобуті Патлуна Д.В та не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам. Враховуючи актуальність досліджуваної проблеми, наукову новизну положень дисертації, обґрунтованість і достовірність отриманих результатів, їх теоретичну і практичну значущість, вважаю, що дисертаційне дослідження Патлуна Дмитра Володимировича на тему «Технологія одержання композитних матеріалів для електрохімічних конденсаторів систем резервного електроживлення» є актуальним, самостійним, завершеним науковим дослідженням, що відповідає чинним вимогам «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) та наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації», а Патлун Дмитро Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 16 «Хімічна та біоінженерія» за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія».

Офіційний опонент:

Завідувач відділу технології
формування структурованих
інструментальних композитів
Інституту надтвердих матеріалів ім.
В.М. Бакуля НАН України,
д.т.н., проф. Євген ПАЩЕНКО

Підпис Є.О. Пащенка Засвідчую:

Учений секретар ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України,

кандидат технічних наук Володимир СМОКВИНА