

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації
«Технологія одержання композитних матеріалів для електрохімічних
конденсаторів систем резервного електроживлення»

здобувача вищої освіти ступеня доктора філософії
Патлуна Дмитра Володимировича
за спеціальністю 161 Хімічні технології та інженерія
(галузь знань 16 Хімічна інженерія та біоінженерія)

Кафедра хімічних технологій та ресурсозбереження
Київського національного університету технологій та дизайну

Актуальність теми та її зв'язок із планами науково-дослідних робіт.

В умовах повномасштабної війни та постійних обстрілів енергетичної інфраструктури України розробка технології одержання нових композитних матеріалів для джерел струму набуває особливої актуальності. Електрохімічні конденсатори вирізняються серед інших джерел струму рекордним терміном служби та швидким перезарядженням. Після підвищення їх енергоємності, електрохімічні конденсатори можуть ефективно використовуватися в системах резервного електроживлення. Розвиток гібридних енергетичних систем тісно пов'язаний з енергоємністю та надійністю джерел струму. Ефективність роботи та термін служби електрохімічних конденсаторів залежить, в першу чергу, від технології їх виготовлення. У зв'язку з цим, дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального завдання – розробці технології отримання композитних матеріалів для електрохімічних конденсаторів систем резервного електроживлення. Підвищення енергоємності електрохімічних конденсаторів завдяки використанню інноваційних композитних матеріалів відкриває нові можливості для їх застосування в енергетичній сфері.

Зв'язок теми дослідження з планами науково-дослідних робіт.

Дисертаційна робота виконувалась згідно з планами міжнародних наукових проєктів Київського національного університету технологій та дизайну, а саме: 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 літєвих акумуляторів високої ємності для забезпечення енергетичної безпеки України», програми «Наука для відбудови України в воєнний та повоєнний періоди».

Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі науково-технічної і патентної літератури за темою роботи, опрацюванні методики експерименту, виконанні

експериментальних досліджень, обробці та аналізі одержаних результатів, у формулюванні в співавторстві з науковим керівником мети, задач і висновків по роботі.

Здобувачу належить наукова ідея стосовно використання складу активних речовин композитних матеріалів як бази для покращених енергоємності електрохімічних конденсаторів. Здобувач вперше запропонував використання вітчизняного графіту з певним гранулометричним та водень адсорбуючих сплавів типу АВ5 для анодів електрохімічних конденсаторів. Особисто брав участь у розробці методології дослідження, яка була застосована для розробки енергоефективних конденсаторів. Це включало розробку комплексного підходу до обробки експериментальних даних, що дозволило аналізувати інформацію про властивості композитних матеріалів при зміні технологічних параметрів їх виготовлення. Розробка нових полімерних матеріалів для сепараторів електрохімічних конденсаторів виконана у співпраці з проф. К'яра Гуаланді (Chiara Gualandi) хімічного факультету Болонського університету, м. Болонья, Італія. Розробка та виготовлення гнучкого електропровідного композиту з термопластичного поліуретану наповненого вуглецевими матеріалами за допомогою методу адитивного формування (3D друку) виконано у співпраці з науковим колективом Центру колективного користування науковим обладнанням: «Технології адитивного виробництва» (3d-друк) під керівництвом д.т.н. проф. Савченко Богдана Михайловича. Внесок здобувача в проведення досліджень і аналіз отриманих результатів був вирішальним.

Особистий внесок автора у працях, опублікованих у співавторстві, полягає в постановці завдань досліджень, розробці експериментальних методик, участі у виконанні експериментів, узагальненні отриманих результатів, формулюванні висновків. Здобувач особисто проводив аналіз та подальшу інтерпретацію отриманих даних, а також підготовку публікацій до друку.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків, рекомендацій, які захищаються.

Проведені автором теоретичні та експериментальні дослідження базуються на наукових принципах полімерного матеріалознавства, хімічних технологій та технічної електрохімії, а отримані результати мають взаємне підтвердження. Достовірність експериментальних даних визначається сучасними методами експериментальних досліджень, а також ретельним аналізом та правильним застосуванням алгоритмів обробки даних. Достовірність висновків і практичних рекомендацій підтверджується даними, одержаними різними методами, а також критичним порівнянням отриманих результатів з існуючою науковою літературою.

Основні результати дослідження, ступінь їх наукової новизни та значущості.

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

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

конденсаторів. При цьому вперше:

- визначено ефект впливу 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.
- вперше 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.
- виявлена 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, а також 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, що 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, і запропоновано практичні схеми малогабаритних гібридних енергетичних систем резервного енергоживлення.

Отримали подальший розвиток методи виготовлення композитних матеріалів для електрохімічних конденсаторів. Запропоновані підходи дозволили встановити зміну питомої поверхні вуглецевих матеріалів в залежності від природи полімеру та їх фізико-хімічних властивостей. Доведений вплив процесу окислення активованого вугілля на його електрохімічні властивості. Встановлені закономірності реалізації асиметричних електрохімічних конденсаторів, в яких реалізований механізм електроадсорбції водню на негативному електроді та запропоновані практичні підходи до балансування електродів таких конденсаторів.

Практичне значення роботи

Запропоновано спосіб виготовлення електроактивних композитних матеріалів на основі модифікованого активованого вугілля та таких полімерів як політетрафторетилен, полівініліденфторид, натрієва сіль карбоксиметилцелюлози та стирол-бутадієнового каучуку.

Оптимізовані склади полімер-вуглецевих композитів застосовані для створення високоефективних гібридних електрохімічних конденсаторів з енергоємністю до 80 Втгод/кг, що майже в 10 разів перевищує енергоємність традиційних симетричних конденсаторів. Запропоновано метод спрямованого окислення активованого вугілля для утворення оксигенвмісних функціональних груп з метою покращення електроадсорбції водню. Для електрохімічних систем з лужним електролітом одержаний воденьадсорбуючий сплав типу AB5.

Застосування таких анодних матеріалів дозволило створити енергоємні конденсатори з водним електролітом, що мають енергетичну щільність понад 45 Вт·год/кг. Для створення високоенергоємних конденсаторів розроблені інноваційні композитні матеріали, що ефективно функціонують в апротонних електролітах, зокрема, пожежобезпечних іонних рідин.

Розроблені композитні матеріали на основі активованого вугілля з активними матеріалами літій-іонних акумуляторів. Запропонована технологія виготовлення електродів на основі літій-металоксидних сполук для гібридних суперконденсаторів з показниками енергоємності понад 60 Вт·год/кг. Вперше прототипи гібридних конденсаторів виготовлені з використанням хімічно очищеного вітчизняного графіту та з перероблених літій-іонних акумуляторів.

Запропоновано метод виготовлення гнучкого електрохімічного конденсатора на основі електропровідного композиту з термопластичного поліуретану наповненого вуглецевими нанотрубками. За допомогою методу адитивного формування (3D друку) електропровідний композит був сформований у гнучкі колектори струму необхідної форми та товщини. Нові композитні матеріали для високоємних електрохімічних конденсаторів дозволили реалізувати малогабаритні гібридні системи електроживлення. У роботі були практично апробовані резервні систем електроживлення, що були реалізовані шляхом інтеграції розроблених електрохімічних конденсаторів з п'єзоелектричними елементами та літійовими джерелами струму системи літій-поліфторвуглець.

Наукові результати були впроваджені підприємством ТОВ "Юнаско-Україна" (м. Київ) для виробництва та тестування дослідної партії електрохімічних конденсаторів. У роботі розроблені практичні рекомендації для Державного підприємства «Науково-виробничий центр енергозберегаючих конструкцій і технологій «Технолуч» Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук України щодо процесів визначення електричної ємності наноструктурованих покриттів, одержаних методом імпульсного термоіонного та магнетронного осадження.

Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок у них автора.

Основні положення та результати дисертаційного дослідження представлено у 12 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 8 тез на міжнародних і всеукраїнських наукових конференціях. Наукові публікації відповідають вимогам п. 8, 9 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).

Список наукових публікацій:

1. Патлун Д. В., Щербакова Л. Г. Дослідження процесів утворення та накопичення водню сплавами типу АВ₅ при контактному заряді з цинковим електродом. Вісник КНУТД. 2019. №6(140). С. 125-133.

<https://doi.org/DOI:10.30857/1813-6796.2019.6.12>. Фахове видання кат. Б.

Особистий внесок автора: *Одержання зразків композитних матеріалів, вимірювання сорбційних та кінетичних властивостей електродів, написання статті та підготовка до друку.*

2. Свістільнік Р. Ф., Патлун Д. В. Дослідження впливу температури на електропровідні властивості полімерних композитних покриттів. *Технології та інжиніринг*. 2023. № 6(17). С. 101–109. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.6.8> Фахове видання кат. Б.

Особистий внесок автора: *Брав участь у дослідженні електричної провідності композитних матеріалів та у обробці результатів вимірювання.*

3. Макеєва І. С., Кислова О. В., Патлун Д. В., Хоменко В. Г., Нікулін Д. О. Розробка методів підвищення ефективності хімічного очищення природного графіту. *Технології та інжиніринг*. 2024. № 2(19). С. 117–124. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.2.11> Фахове видання кат. Б.

Особистий внесок автора: *постановка завдання, проведення хімічного очищення графіту та обробка результатів вимірювання.*

4. Shcherbatiuk I., Potapenko H., Panchenko D., Khomenko V., Patlun D., Haliuk B., Derkach R., Potapenko O., and V. Barsukov. Characteristics of graphite obtained by recycling lithium - iron phosphate batteries. *Journal of Electrochemical Science and Engineering*. 2024. <http://dx.doi.org/10.5599/jese.2257> Scopus, Q3.

Особистий внесок: *Виготовлення електродів з очищеного графіту, визначення вмісту домішок в графіті, обробка результатів вимірювання, формулювання висновків, підготовка статті до друку.*

Апробація результатів дослідження.

Представлені в дисертаційній роботі результати доповідалися і обговорювалися на 6 міжнародних та 2 всеукраїнських науково-практичних конференціях: 13th International Conference on Physics of Advanced Materials. San Feliu de Guixols, Spain, 2021; International Symposium on Enhanced Electrochemical Capacitors, ISEECap 2022. Bologna, Italy, 2022; 12th Societas Humboldtiana Polonorum Congress, Łódź, Poland, 2023; X Ювілейна міжнародна науково-практична інтернет-конференція здобувачів вищої освіти та молодих вчених «Хімія та сучасні технології», ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпро, 2023; IV міжнародна конференція «Функціональні матеріали для інноваційної енергетики – ФМІЕ-2023», Інститут металофізики ім. Г.В. Кудрямова НАН України. Київ, 2023; Міжнародна конференція з хімії, хімічної технології та екології, присвячена 125-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2023. Всеукраїнська конференція «Теоретичні та експериментальні аспекти сучасної хімії та матеріалів» ТАСХ-2023, Дніпровський державний аграрно-економічний університет. Дніпро, 2023, Всеукраїнська наукова конференція «Освіта для сталого майбутнього: екологічні, технологічні, економічні і соціокультурні питання», Київський національний університет технологій та дизайну. Київ, 2023.

Оцінка мови та стилю дисертації.

Текст дисертації викладено грамотною українською мовою, логічно та послідовно, підпорядковано до поставленої мети. Основні результати адекватно представлені у вигляді рисунків, таблиць і технологічних схем. Зміст, оформлення рукопису відповідає вимогам Наказу МОН України від 12.01.2017 р. №40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (Постанова КМУ від 12 січня 2022 р. №44).

Загальний висновок:

Вважати, що дисертаційна робота Патлуна Дмитра Володимировича «Технологія одержання композитних матеріалів для електрохімічних конденсаторів систем резервного електроживлення», яка подана на здобуття ступеня доктора філософії, за актуальністю, ступенем новизни, науковим рівнем та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає п. 5-9 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), вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», та відповідає напряму освітньо-наукової програми Київського національного університету технологій та дизайну за спеціальністю «161 Хімічні технології та інженерія».

Рекомендувати дисертаційну роботу Патлуна Дмитра Володимировича на тему «Технологія одержання композитних матеріалів для електрохімічних конденсаторів систем резервного електроживлення», подану на здобуття ступеня доктора філософії до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю «161 Хімічні технології та інженерія».

Завідувач кафедри ХТР _____

Вікторія ПЛАВАН

М. П.

дата

