

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Дупляка Івана Ярославовича  
*«Йодид- і бромід-допантна модифікація нанопористих вуглеців та  
поліаніліну для псевдоконденсаторів»*,  
подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

Останнім часом інтерес до розробки нових електронних портативних пристроїв, систем автономного електричного живлення, а також нових, з покращеними питомими характеристиками, джерел живлення постійно зростає. Перспективним завданням подальшого розвитку зазначеного напрямку наукової діяльності є створення електрохімічних суперконденсаторів (СК) з покращеними питомими характеристиками: великими електричною ємністю, терміном служби та кількістю робочих циклів заряду – розряду, здатністю за короткий час віддавати великі потужності по струму і швидко заряджатися тощо.

Електрична ємність СК визначається, насамперед, фізико-хімічними характеристиками активного матеріалу електродів, типом електроліту, колекторів, сепараторів та інших складових, що входять до конструктивних елементів конденсаторів. Серед матеріалів, які використовують для виготовлення електродів СК, важливе місце займають пористі вуглецеві матеріали (ПВМ). Такі матеріали, і зокрема, йодид- та бромід-допантна модифікація ПВМ та поліаніліну і були використані у роботі Дупляка І.Я. в якості робочих електродів, виготовлених та досліджених псевдоємнісних конденсаторів. А це, в свою чергу, дозволило автору підвищити їх питомі характеристики за рахунок утворення твердих фаз, які саме і забезпечують ефективність процесів псевдоємнісного накопичення енергії.

Отже, дисертаційна робота Дупляка Івана Ярославовича, що направлена на визначення взаємозв'язку умов і ступеня йодид- та бромід-допантної модифікації ПВМ і поліаніліну, їх характеристик з перебігом фізико-хімічних процесів псевдоємнісного накопичення електричної енергії є актуальною й обумовлює новизну роботи.

Тема дисертації безпосередньо пов'язана з науковою тематикою Національного університету «Львівська політехніка»: «Створення нанорозмірних матеріалів з фізичними характеристиками, які забезпечують практичне використання їх в техніці, зокрема, сучасній електроніці».

Значна кількість цікавих експериментальних результатів, які в дисертаційній роботі систематизовані та проаналізовані на сучасному рівні,

їх продумана інтерпретація, свідчать про достатньо високу кваліфікацію автора.

Достовірність отриманого в роботі наукового матеріалу підтверджується статистичним підходом до його обробки, використанням сучасних взаємодоповнюючих методів дослідження та програмного забезпечення (методи: термо-е.р.с., інпенданської спектроскопії, хронопотенціометрії).

Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку. Повний обсяг дисертації становить 148 сторінок друкованого тексту, який включає 77 рисунків, 12 таблиць, список використаних джерел, до якого включені 118 найменувань. Матеріали дисертації опубліковані в 12 наукових працях, серед яких 6 наукових статей у наукових фахових виданнях України. Три статті надруковано у виданнях, що входять до наукометричної бази даних Scopus, один патент України на корисну модель, один сертифікат на право власності на програмне забезпечення та 4 тез конференцій.

Дисертація містить значний масив експериментального матеріалу і його системний аналіз. В рамках сучасних теоретичних уявлень автор показав в ній, що йодид допантна модифікація активованих НПВ забезпечує процес накопичення електроенергії з достатньо високими значеннями псевдоємності. Ним встановлені умови модифікації активованих ПВМ, які забезпечують для СК вищі, ніж у аналогів значення розрядної напруги, і зокрема, використання йоду і бромю, як допанта, забезпечує більш як двохкратне зростання густини делокалізованих домішкових станів, що підвищує в 2,4-2,6 разів розрядну питому ємність поліаніліну в системі псевдоконденсатора.

Практичне значення дисертаційної роботи полягає в тому, що розроблений в ній спосіб йодид-донантної модифікації електродних матеріалів, який забезпечує одержання високих значень розрядної питомої ємності та питомої енергії розроблених конденсаторів при потужностях, вищих за відповідні характеристики світових аналогів. При цьому, в дисертації показано, яким чином можна забезпечити добру стабільність розрядної питомої ємності конденсаторів з високою кулонівською ефективністю процесу. Крім того, дисертантом розроблено СК зі значенням питомої електричної ємності до 300 А\*год/кг, що майже удвічі більше ємності для відомих світових аналогів.

Ці та ряд інших результатів, одержаних Дупляком І.Я., оригінальні й достатньо обґрунтовані, мають новизну, наукову та практичну значимість. Вони можуть бути використані як для розширення уявлень про

термодинамічні особливості СК, способи вдосконалення характеристик матеріалів як для їх електродів, так і для створення нових суперконденсаторів з електричною ємністю, що суттєво перевищує ємність аналогів при значно більшому струмовому навантаженні.

В той же час, щодо трактування одержаних у роботі оригінальних і корисних результатів, в опонента, крім зазначених вище, є ще зауваження і побажання:

- На стор. 9 дисертації в п.1 сказано, що висока густина псевдоємнісного накопичення енергії забезпечена надвисокою додатковою зміною ентропії. Не зрозуміло, якщо тут відбувається підвищення ентропії, тобто ріст безпорядку в системі, то яким чином він забезпечуватиме накопичення енергії? Адже відомо, що введення енергії в термодинамічні системи призводить, згідно другого закону термодинаміки, до зростання порядку, до зменшення ентропії.

- У розділі 2.1 «Характеристика матеріалів для досліджень» (с. 42-45), описано досліджувані матеріали, проте недостатньо обґрунтовані причини обрання саме того, чи іншого матеріалу.

- Вважаю, що було б доцільним вилучити з загального тексту другого розділу пункти, в яких наводяться широковідомі методики (підрозділ 2.5, стор.52-54). В той же час, бажано було б більшу увагу приділити опису еквівалентної електричної схеми, яка була б використана під час параметричної ідентифікації в дисертації.

- Що стосується даних, отриманих методом хронопотенціометрії (рис. 3.8, рис. 3.9), то їх доцільно було б доповнити результатами, одержаними, наприклад, методами рентгенівської спектроскопії чи трансмісійної електронної мікроскопії.

- При імпедансному аналізі добування йоду на мікропористій поверхні ПВМ (рис. 3.26) зображені експериментальні та теоретичні діаграми Найквіста, а на вставці до рисунку надана еквівалентна схема. В той же час, в параметрах еквівалентної електричної схеми, які представлені в таблиці 3.3 на потенціалах 0,34 В, 0,40 В та 0,45 В відсутня ланка C4-R4.

- На рис.4.2(г) представлені залежності питомої ємності від питомої потужності, з якого слідує, що із зростанням питомої потужності до 9,6 Вт/г зростає питома ємність. Було б цікаво з'ясувати, а яка ж питома ємність відповідатиме більшим питомим потужностям? Проте такі дані в дисертації не наведені.

- У таблиці 5.3., у порівнянні з аналогами, представлені переваги розробленого асиметричного конденсатора в певному діапазоні струмових навантажень. Було б доцільно надати більше даних про ємнісні

характеристики розробленого конденсатора на менших струмових навантаженнях, що дало б більше інформації про його ємнісно-потужнісні параметри.

- У додатку (с.142-148) представлено код програми для розрахунку вольт-фарадних кривих та коефіцієнта міжатомної взаємодії, проте не описано середовища програмування, та немає жодних інструкцій стосовно введення даних, що може спричинити проблеми при використанні цієї програми сторонніми користувачами.

Дисертація є завершеним науковим дослідженням, гарно оформлена й проілюстрована. Зміст автореферату й основних положень дисертації ідентичні.

За об'ємом отриманих результатів, оригінальністю та рівнем узагальнень, що сукупно розв'язують важливу науково-практичну проблему, можна зробити висновок про те, що дисертаційна робота п. Дупляка Івана Ярославовича «Йодид- і бромід-допантна модифікація нанопористих вуглеців та поліаніліну для псевдоконденсаторів» відповідає вимогам п. п. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою КМУ №567 від 24.07.2013 р. (зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ 3 656 від 19.08.2015 р. та №1159 від 30.12.2015 р.) щодо актуальності, наукової новизни і практичної значимості, а її автор Дупляк І.Я. заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Офіційний опонент –

доктор фізико-математичних наук, професор,  
завідувач НДЛ «Фізика металів та кераміки»  
Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка

 , Рево С.Л.

Підпис доктора фіз.-мат. наук, професора, зав. НДЛ «Фізика металів та кераміки» Рево С.Л. засвідчую:

Вчений секретар Київського  
національного університету  
імені Тараса Шевченка



Караульна Н.В.  
