

## **МАТЕРІАЛИ З ПРИРОДНОЇ СИРОВИНИ ТА СТРУКТУРИ ЯДРО@ЯДРО@ОБОЛОНКА ДЛЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ НАКОПИЧЕННЯ ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ**

**Олійник Я. І., Осечко Б.І., Балабан О.В., Мітіна Н.Є., Заїченко О.С., Борисюк А.К.**

*Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна*

*E-mail: [oksana.v.balaban@lpnu.ua](mailto:oksana.v.balaban@lpnu.ua)*

Ураження критичної енергетичної інфраструктури України, стрімкий розвиток технології та питання екології підняли проблему збереження, накопичення та перетворення енергії на вищий рівень, зробивши нагальною для вирішення. Сьогодні літій-іонні акумулятори (ЛА) є основним електрохімічним джерелом струму для портативних електронних пристроїв та гібридних електромобілів завдяки своїй високій енергоємності, стабільності та надійності. Однак, сучасні тенденції вимагають подальшого їх вдосконалення з метою підвищення потужності, тривалості служби та екологічної безпеки. З іншого боку використання таких акумуляторів не завжди є можливим, а у деяких сферах, як от, високопотужні імпульсні системи, не ефективним. Тому затребуваними стають накопичувачі енергії, що працюють за іншим принципом і тут технічне вирішення пов'язане з використанням суперконденсаторів (СК). Хоча, наприклад, для накопичення та зберігання сонячної енергії технологічно вигідною буде комбінація суперконденсаторів та літєвих акумуляторів, відповідно. Характерною особливістю суперконденсаторів є те, що вони можуть накопичувати значну кількість електричної енергії, а, в разі необхідності, швидко віддавати її у вигляді імпульсів з питомою потужністю до кількох кВт/кг. При чому, ККД передачі енергії в СК становить близько 90% [1]. В комбінації зі суперконденсаторами літєві акумулятори будуть зберігати енергію.

Успішне функціонування як літєвих акумуляторів так і суперконденсаторів залежить від якості та характеристик матеріалів електродів. Вони мають забезпечувати високу ємність і густину енергії, довгий термін служби, стабільність під час зарядки і розрядки, а також безпечність при експлуатації. Одними з найбільш перспективних напрямків вдосконалення СК та/чи ЛА є пошук та впровадження нових електродних матеріалів, електролітів, а також розвиток нового технологічного процесу синтезу та виготовлення складових СК та ЛА, що спрямований на збільшення питомих параметрів та здешевлення їх на ринку.

Зазвичай в СК використовуються вуглецеві матеріали як штучно синтезовані, так і з природної сировини. Для перетворення останніх на вуглець використовують різні процедури активації (хімічна та фізична активація) та різні методи карбонізації (гідротермальна карбонізація та піроліз). Такі параметри, як час, температура, реагенти, стан поверхні та її доступність впливають на властивості отриманих вуглецевих матеріалів та подальші електрохімічні параметри СК [2-3]. Сировина на рослинній основі зазвичай містить лігноцелюлозу. Вона в свою чергу складається з вуглеводних полімерів, таких як целюлоза, геміцелюлоза та лігнін [4]. Листя є одним з найважливіших джерел вуглецю, який в основному складається з тканин мезофілу, має високий відсоток сахаридів і білків, що з великою кількістю власного оксиду вуглецю або азоту у вигляді поверхневих функціональних груп сприяють формуванню пористих структур під час процесу карбонізації та активації активних електродних матеріалів [5]. Шкірка фруктів в основному складається з клітковини і сахаридів, які можуть теж бути ефективними для синтезу активованих вуглеців [6].

Щодо ЛА, то одним з ключових компонентів, що визначає як ефективність, так і надійність батареї, є катод [7]. Зазвичай катодні матеріали мають шарувату (наприклад,

LiCoO<sub>2</sub>, LiNiO<sub>2</sub>), шпінельну (наприклад, LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) та олівінову (наприклад, LiFePO<sub>4</sub>) структури. Усі модифікації цих структур, а це зазвичай допування, захисне покриття, зміна форми мають на меті підвищити напругу, ємність, стабільність та інші параметри ЛА. Наприклад, MoS<sub>2</sub> є одним із перспективних матеріалів для використання в ЛА завдяки своїм унікальним електрохімічним властивостям та шаруватій структурі, яка сприяє міжшаровій інтеркаляції іонів літію [8]. Однак різні морфології MoS<sub>2</sub> можуть суттєво впливати на його ефективність у батареях [9-11], зокрема на ємність, циклічну стабільність та швидкість зарядки-розрядки. Нанолісти [9], наноквіти [10], ієрархічні тривимірні наносфери та нанодропи MoS<sub>2</sub> [11], структури типу ядро@оболонка [12-13] вже показали свою перспективність у ЛА. Найвищі показники ємності та циклічної стабільності мали матеріали з наноквітів MoS<sub>2</sub> та структури типу ядро@оболонка, зокрема MoS<sub>2</sub>@графен, що демонструють покращену стабільність та продуктивність навіть після багатьох циклів зарядки-розрядки. З іншого боку поєднання цих двох актуальних напрямків досліджень - СК та ЛА можна здійснити за допомогою використання спільного функціонального покриття чи вихідної сировини для їх електродів-полімерного матеріалу, перспективи використання якого стають дедалі очевиднішими завдяки легкості синтезу, відтворюваності результатів, економічності та екологічності. Багато вже зроблено на цьому шляху, проте, на жаль, бажаного результату досі не отримано.

Ця робота зорієнтована на синтез та дослідження накопичувальних властивостей ефективних матеріалів суперконденсаторів, отриманих з природної сировини, а також функціонального катодного матеріалу, що має структуру ядро@ядро@оболонка, що складається з неорганічних ядер та полімерних щіток на поверхні, для використання в літій-іонних акумуляторах.

### **Список літератури**

7. Гавриков Д. С. Симетричні суперконденсатори на базі нанопористих вуглецевих матеріалів з оптимізованою структурою електродів : дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.17.03. Київ, 2021. 150 с.
8. Yang L., Wang J., Wang S., Guan X., Guan X., Wang G. Biomass-derived multi-heteroatom-doped carbon materials for high-performance solid-state symmetric supercapacitors with superior long-term cycling stability. *Ionics*. 2020. Vol. 26. P. 4141–4151. Doi:10.1007/s11581-020-03556-y
9. Wang Y., Zhang M., Shen X., Wang H., Wang H., Xia K., Zhang Y. Biomass-Derived Carbon Materials: Controllable Preparation and Versatile Applications. *Small*. 2021. Vol. 17, no.40 P. 2008079. Doi:10.1002/smll.202008079
10. Wang J., Zhang X., Li Z., Ma Y., Ma L. Recent progress of biomass-derived carbon materials for supercapacitors. *Journal of Power Sources*. 2020. Vol. 451. P. 227794. Doi:10.1016/j.jpowsour.2020.227794
11. Zheng L., Wang S., Yang Y., Fu X., Jiang T., Yang J. Ammonium Nitrate-Assisted Synthesis of Nitrogen/Sulfur-Codoped Hierarchically Porous Carbons Derived from Ginkgo Leaf for Supercapacitors. *ACS Omega*. 2019. Vol. 4, no. 3. P. 5904–5914. Doi:10.1021/acsomega.8b03586
12. Liu J., Li H., Zhang H., Liu Q., Li R., Li B., Wang J. Three-dimensional hierarchical and interconnected honeycomb-like porous carbon derived from pomelo peel for high performance supercapacitors. *Journal of Solid State Chemistry*. 2018. Vol. 257. P. 64–71. Doi:10.1016/j.jssc.2017.07.033
13. Wu F., Maier J., Yu Y. Guidelines and trends for next-generation rechargeable lithium and lithium-ion batteries. *Chemical Society Reviews*. 2020. Vol. 49, no. 5. P. 1569–1614. URL: <https://doi.org/10.1039/c7cs00863e>
14. Zhao L., Wang Y., Wei Ch., Huang X., Zhang X., Wen G. MoS<sub>2</sub>-based anode materials for lithium-ion batteries: Developments and perspectives / L. Zhao et al. *Particuology*. 2023. Vol.87. P.240–270. URL: <https://doi.org/10.1016/j.partic.2023.08.009>
15. Balaban O., Izhyk O., Zaichenko A., Mitina N., Grygorchak I., Harhay K. Li<sup>+</sup> intercalation current generation in amorphous and crystalline MoS<sub>2</sub>: Experiment and theory. *Lithuanian Journal of Physics*. 2023. Vol. 63, No. 1. P. 25–34. URL: <https://doi.org/10.3952/physics.2023.63.1.4>
16. Wang X., Zhang Zh., Chen Y., Qu Y., Lai Y., Li J. Morphology-controlled synthesis of MoS<sub>2</sub> nanostructures with different lithium storage properties. *Journal of Alloys and Compounds*. 2014. Vol.600. P.84–90. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.02.127>
17. Yang T., Chen Y., Qu B., Mei L., Lei D., Zhang H., Li Q., Wang T. Construction of 3D flower-like MoS<sub>2</sub> spheres with nanosheets as anode materials for high-performance lithium ion batteries. *Electrochimica Acta*. 2014. Vol. 115. P. 165–169. URL: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2013.10.098>
18. Xue H., Wang J., Wang Sh., Muhammad S., Feng C., Wu Q., Li H., Shi D., Jiao Q., Zhao Y. Core-shell MoS<sub>2</sub>@graphene composite microspheres as stable anodes for Li-ion batteries. *New Journal of Chemistry*. 2018. Vol. 42, no. 18. P. 15340–15345. URL: <https://doi.org/10.1039/c8nj01100a>