

6. **Mahaadevan V. C. et al.** AViTRoN: advanced vision track routing and navigation for autonomous charging of electric vehicles. *IEEE Access*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3355018>.

УДК 629.3

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТЕРМОРЕГУЛЮВАННЯ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

**Смирнов Олег Петрович**, докт. техн. наук, професор каф. автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [smirnov1oleg@gmail.com](mailto:smirnov1oleg@gmail.com), ORCID ID [0000-0003-4881-9042](https://orcid.org/0000-0003-4881-9042)

**Борисенко Анна Олегівна**, канд. техн. наук, доцент каф. автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [anutochka2111@gmail.com](mailto:anutochka2111@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-5992-8274>

**Мовчан Нікіта Геннадійович**, аспірант каф. автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [nikitamovchan22@gmail.com](mailto:nikitamovchan22@gmail.com), ORCID ID [0009-0005-0694-5990](https://orcid.org/0009-0005-0694-5990)

Електрообідь, обладнаний акумуляторними батареями, ефективною системою управління BMS (від англ. Battery Management System, BMS) та сучасними елементами керування, забезпечує практичне, надійне і екологічне рішення для міського транспорту. Безперебійна та ефективна робота електричного транспортного засобу значною мірою залежить від системи моніторингу й управління акумуляторними батареями. Для продовження терміну служби батарей і покращення загальної ефективності електрообіля критично важливим є вдосконалення механізмів управління акумуляторними системами та методів їх терморегулювання [1].

Робоча температура суттєво впливає на ефективність літій-іонних акумуляторів, що вимагає впровадження високоточного теплового управління для забезпечення оптимальної ефективності, безпеки, економічності та довговічності. Дослідження системи теплового управління акумуляторними батареями електрообілів охоплює різноманітні аспекти розробки, які включають проектування конфігурації та геометричної структури відповідно до компонентів акумулятора і блоків, а також вибір або розробку матеріалів, що відповідають вимогам до рівня ефективності та безпеки [2].

Під час заряджання та розряджання літій-іонних акумуляторів, особливо у високоємних батареях електрообілів, накопичується тепло, що утворюється внаслідок електрохімічних процесів. Це може призводити до теплового удару, зниження ефективності та створювати потенційну загрозу для безпеки водія та пасажирів. Діапазон температур, що варіюється від 15 °C до 35 °C, визначається як оптимальний для функціонування літій-іонних акумуляторів. Проте

існує важлива рекомендація щодо мінімізації температурного відхилення всередині акумуляторного блоку, адже воно має безпосередній вплив на електрохімічні властивості акумулятора. Зокрема, величина такого відхилення не повинна перевищувати 5 °С, що сприяє попередженню виникнення неоднорідності у його електричних характеристиках. Крім того, експлуатація при низьких температурах може призводити до негативних наслідків, таких як скорочення ємності та деградація активних матеріалів через уповільнення швидкості електрохімічних реакцій [3].

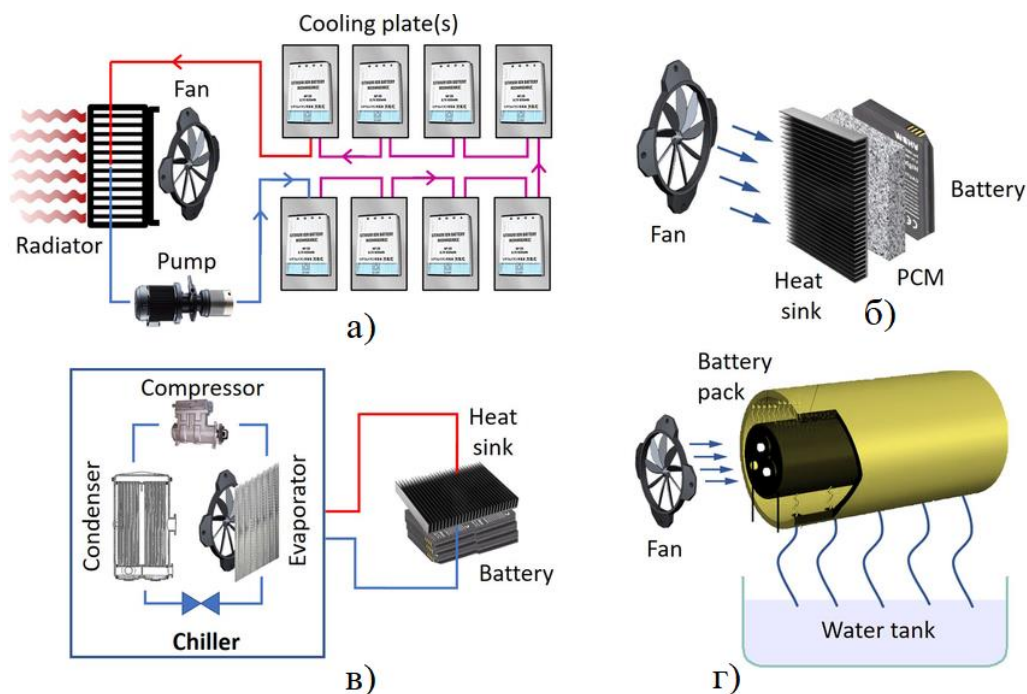
Для забезпечення масового впровадження електромобілів у різноманітних кліматичних умовах, а також для задоволення вимог до їх довговічності, збільшеної дальності пробігу та стабільної роботи, необхідною є ефективна та економічно обґрунтована система теплового управління акумулятором BTMS (від англ. Battery Thermal Management System, BTMS). Ця система створює сприятливі умови для функціонування акумуляторного блоку. BTMS виконує охолодження акумуляторного блоку літій-іонного типу у випадку перевищення температурного порогу та здійснює його нагрівання за надто низьких температур навколишнього середовища. Додатково, BTMS сприяє рівномірному розподілу температури між блоками, запобігаючи неоднорідності напруги у окремих елементах акумулятора.

Протягом останніх десятиліть наукові дослідження активно концентрувалися на вдосконаленні систем теплового управління акумулятором BTMS, оскільки ці системи займають ключову позицію у механізмах енергозабезпечення сучасних електромобілів. Забезпечення належного теплового управління в літій-іонних акумуляторах електромобілів є критично важливим завданням, враховуючи високе навантаження на технологію та її максимальне використання у сферах, пов'язаних із транспортом. На рис. 1 представлені різні методи терморегулювання літій-іонних акумуляторів [4].

Існує три основні категорії методів охолодження: активні, пасивні та гібридні. Їх класифікують на основі типу охолоджувального середовища, рівня енергоспоживання та механізмів передачі тепла. Серед активних систем охолодження виділяють повітряне, рідинне, холодильне та занурювальне охолодження, які забезпечують відведення тепла за рахунок споживання зовнішньої енергії.

Повітряне охолодження передбачає використання повітря або попередньо охолодженого повітря з пасажирського салону, яке циркулює за допомогою вентилятора. У рідинному охолодженні в якості теплоносія застосовуються різноманітні рідини, які циркулюють у замкнутому контурі для відведення тепла від акумуляторних елементів через термоконттактні компоненти.

При цьому рідина не має прямого контакту з акумуляторами. Холодильне охолодження використовує теплоту фазового переходу двофазного середовища, що забезпечує ефективний процес тепловідведення.



- а – охолодження за допомогою холодоагенту через охолоджувальні пластини;  
 б – охолодження за допомогою вентилятора; с – охолодження рідким холодоагентом;  
 д – охолодження туманом із використанням випаровуваної рідини

Рисунок 1 – Методи терморегулювання літій-іонних акумуляторів [4]

Занурювальне охолодження є окремим видом рідинного методу, що базується на прямому контакті акумуляторів з діелектричним охолоджувальним середовищем.

## Висновки

Грунтуючись на проведених дослідженнях та впровадженні в галузі, рідинне охолодження – зокрема, непряме рідинне охолодження за допомогою холодних пластин – є найефективнішим та найширше використовуваним методом для акумуляторних батарей електромобілів. Він забезпечує кращу тепловіддачу та рівномірність температури, що є важливим для високоефективних та потужних застосувань, таких як швидка зарядка.

## Література

1. **Gharehghani A. et al.** Progress in battery thermal management systems technologies for electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2024. Vol. 202. 114654. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114654>.
2. **Ali A. O. et al.** Comprehensive review of battery management systems for electric vehicles: Thermal management, charging strategies, and emerging technologies. *Journal of Power Sources*. 2025. Vol. 658. 238269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2025.238269>.
3. **Nickol A. et al.** GITT Analysis of Lithium Insertion Cathodes for Determining the Lithium Diffusion Coefficient at Low Temperature: Challenges and Pitfalls. *Journal of The Electrochemical Society*. 2020. Vol. 167, no. 9. 090546. DOI: <https://doi.org/10.1149/1945-7111/ab9404>.

4. **Ravindran M. A. et al.** A Novel Technological Review on Fast Charging Infrastructure for Electrical Vehicles: Challenges, Solutions, and Future Research Directions. *Alexandria Engineering Journal*. 2023. Vol. 82. P. 260–290. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.10.009>.

УДК 621.352.6

## **ВПЛИВ РЕЖИМУ РОБОТИ ПАЛИВНОГО ЕЛЕМЕНТА З ПРОТОНО-ОБМІННОЮ МЕМБРАНОЮ НА ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКИ**

**Авраменко Андрій Миколайович**<sup>1,2</sup>,

1 – д.т.н., пров. наук. співр. ІЕМС ім. А.М. Підгорного НАН України,  
2 – професор кафедри ДВЗ, Харківський національний автомобільно-дорожній  
університет, e-mail: [an0100@ukr.net](mailto:an0100@ukr.net), ORCID0000-0001-8130-1881

**Кривда Віталій Валерійович**, канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів і  
автомобільного господарства, Національний ТУ «Дніпровська політехніка»,  
e-mail: [krivda.v.v@nmu.one](mailto:krivda.v.v@nmu.one), ORCID:0000-0002-8304-2016

**Лєвтерєв Антон Михайлович**, к.т.н., ст. наук. співр., відділу  
термогазодинаміки енергетичних машин, ІЕМС ім. А.М. Підгорного НАН  
України, e-mail: [antmix1947@gmail.com](mailto:antmix1947@gmail.com), ORCID0000-0001-5308-1375

Підвищення вимог до ККД та екологічних показників транспортних енергоустановок вимагає пошуку шляхів зі зниження рівня викидів та підвищення їх ККД [1]. Одним із перспективних напрямків є використання гібридних енергоустановок, наприклад, ДВЗ та модуля Li-іон акумуляторів [2], або низькотемпературних паливних елементів (ПЕ) та модуля Li-іон акумуляторів [3].

Однією з основних переваг таких рішень є можливість підвищення сумарного ККД та зниження рівня шкідливих викидів, а також гнучкість керування при їх експлуатації у складі автомобіля з гібридною енергоустановкою, наприклад, можливість використання системи рекуперації енергії гальмування для зарядки модуля акумуляторів.

Основні складносці, що виникають при використанні автомобілів з гібридними енергоустановками є недостатньо розгалужена мережа сервісних станцій, відсутність водневих та електро-заправних станцій, складносці зі зберіганням запасу водню на борту автомобіля та деградація паливних елементів і акумуляторів, а також відсутність в Україні спеціалізованих підприємств з утилізації Li-іон акумуляторів.

Робоча температура низькотемпературного паливного елемента з протонно-обмінною мембраною перебуває в межах від 60 до 80°C, а для деяких конструкцій до 100 °C [3].

Метою роботи є оцінка впливу режимів роботи ПЕ на його характеристики.