

THERMAL MANAGEMENT MODELS AND SOLUTIONS OF LITHIUM-ION BATTERIES²

Petar Pavlov – PhD Student

Department of Machine Science, Machine Elements, Engineering Graphics and Physics,
University of Ruse “Angel Kanchev”

Tel.: +359 883 324 432

E-mail: petar.k.pavlov@gmail.com

Assoc. Prof. Petko Mashkov, PhD

Department of Machine Science, Machine Elements, Engineering Graphics and Physics,
“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: +359 82888 218

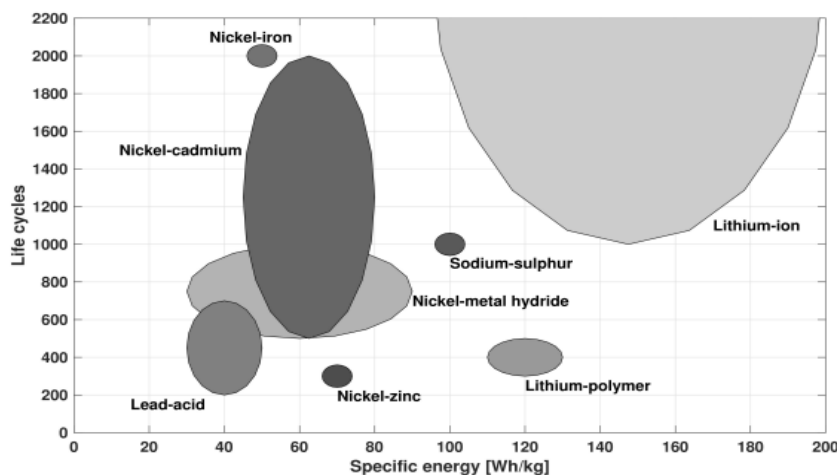
E-mail: pmashkov@uni-ruse.bg

Abstract: Power train electrification is potential alternative to reduce carbon impact due to transportation. Lithium-ion batteries are found to be suitable for hybrid electric vehicles (HEVs) and pure electric vehicles (EVs). In order to increase vehicle efficiency and range due to better battery life and performance, an efficient thermal management of an electrified vehicle has to involve every system of the vehicle. However, it is not sufficient to optimize the thermal behaviour of each subsystem, but thermal management has to be considered at system level to optimize the global performance of the vehicle. Therefore the lithium-ion batteries are widely used due their high energy density and long cycle life. Since the performance and life of lithium-ion batteries are very sensitive to temperature, it is important to maintain strict temperature range of the cells. Performance can change dramatically, but it improves if a suitable operating temperature window is sustained. Thermal effects of lithium-ion batteries in terms of thermal runaway and response under cold temperatures will be tested later on.

Keywords: Thermal Management, lithium-ion batteries, thermal management system, electric vehicles, battery thermal behaviour

ВЪВЕДЕНИЕ

Литиево-йонните батерии са важен компонент от съвременното съхранение на енергия и захранване за различни приложения, включително електрически превозни средства, електроника и други системи. Тяхното широко разпространение се дължи на тяхната висока енергийна плътност, надеждност и жизнен цикъл (Фиг 1).



² Докладът е представен на научна сесия на 27 октомври 2023 с оригинално заглавие на български език: МОДЕЛИ И РЕШЕНИЯ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ТОПЛИНАТА НА ЛИТИЕВО-ЙОННИ БАТЕРИИ

Фиг 1. Специфична енергия на батерията спрямо брой цикли [1]

Литиево-йонните батерии са чувствителни към температурни промени и неправилното управление на температурния режим може да доведе до намалена производителност, проблеми с безопасността и съкратен експлоатационен живот на батериите. Ще разгледаме важноста на управлението на топлината на литиево-йонните батерии, ще проучим термичното поведение на батериите и ще анализираме различни модели и решения за управление температурния режим на работа.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Термичното управление е процес на контролиране и регулиране на температурата на батерията, за да се гарантира, че тя работи в безопасни и ефективни температурни диапазони. Факторите, които влияят на термичното поведение на литиево-йонните батерии, включват вътрешно резистивно нагряване, топлина, генерирана по време на зареждане и разреждане, и условията на околната среда. Моделите и решенията за управление на топлината са от съществено значение за поддържане на безопасни работни температури, подобряване на енергийната ефективност и удължаване на живота на батерията.

Термично поведение на литиево-йонните батерии: Характеризира се от няколко фактора:

- **Вътрешно съпротивление:** Литиево-йонните батерии проявяват вътрешно съпротивление в резултат на движението на йони в батерията. Това вътрешно съпротивление води до резистивно нагряване. Повишените температури, причинени от това резистивно нагряване, могат да намалят общата ефективност и живота на батерията.
- **Генериране на топлина по време на зареждане и разреждане:** По време на процесите на зареждане и разреждане литиево-йонните батерии генерират топлина. Скоростта на генериране на топлина варира в зависимост от фактори като състояние на зареждане, ток и дизайн на клетката. Необходимо е ефективно разсейване на топлината, за да се предотвратят скокове на температурата, които могат да компрометират безопасността на батерията.
- **Фактори на околната среда:** Температурата на околната среда значително влияе върху термичното поведение на литиево-йонните батерии. Екстремните ниски или високи температури могат да повлияят на производителността на батерията с намален капацитет и ефективност при екстремни условия.
- **Разсейване на топлината:** Разсейването на топлината от батерията е от решаващо значение за поддържането на безопасни работни температури. Недостатъчното охлаждане или отстраняване на топлина може да доведе до термично изтичане, опасно състояние, при което батерията прегрява, потенциално водещо до пожари или експлозии.

Модели за термично управление на литиево-йонни батерии

Ефективното управление на топлината разчита на точни топлинни модели за прогнозиране и контрол на температурните колебания. Използват се различни модели за анализиране и оптимизиране на топлинното поведение на литиево-йонните батерии.

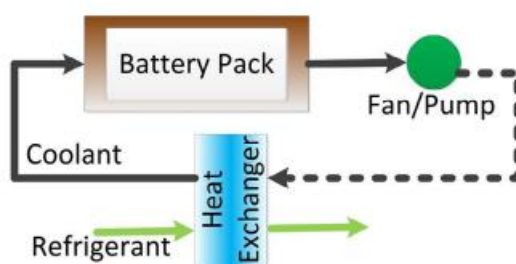
- **Модели на изчислителната флуидна динамика (Computational fluid dynamics - CFD):** CFD е клон на механиката на флуидите, който използва числени анализи и структури от данни за анализиране и решаване на проблеми, които включват флуидни потоци. Симулациите се използват за анализиране на въздушния поток, преноса на топлина и разпределението на температурата в батерийните пакети.

- **Модели за анализ на крайни елементи (Finite element analysis - FEA):** FEA моделите се използват за анализ на разпределенията на натоварванията, напрежението и температурата в твърди компоненти на батерийни системи, като помагат да се оцени въздействието на топлинните натоварвания.
- **Аналитични термични модели:** Аналитичните модели използват математически уравнения, за да опишат преноса на топлина, разпределението на температурата и други топлинни поведения в рамките на литиево-йонни батерийни системи [3]. Тези модели често се използват за първоначални оценки и съображения за проектиране.

Решения за управление на температурния режим на работа

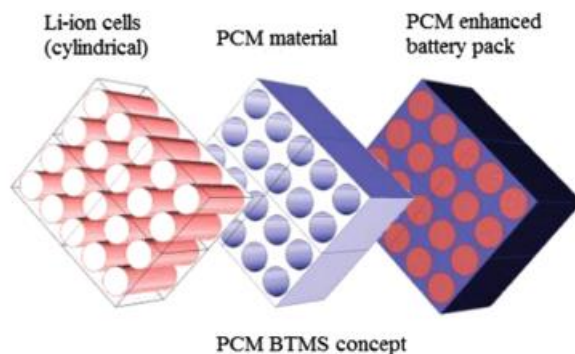
Ефективното управление на термичното поведение на литиево-йонните батерии включва внедряване на различни решения. Ето някои общи стратегии за управление на топлината:

- **Активно охлаждане:** Активните методи за охлаждане включват използването на външни охлаждателни системи като вентилатори, течни охладители или топлообменници за разсейване на топлината от батерията (фиг 2). Този метод е ефективен при поддържане на безопасни температури, особено при приложения с голямо търсене като електрически превозни средства.



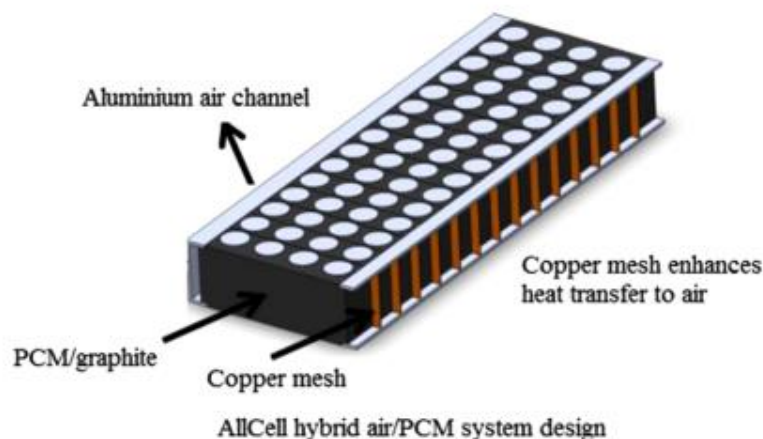
Фиг 2. Обща схема на активна охлаждателна верига [2]

- **Материали с промяна на фазата (PCM):** Материалите с фазова промяна са вещества, които абсорбират или отделят топлина по време на фазови преходи. PCM могат да бъдат интегрирани в батерии (фиг.3), за да регулират температурата чрез съхраняване или освобождаване на латентна топлина, ако е необходимо.



Фиг 3. Концепция за управление на температурния режим чрез материали с промяна на фазата. [4]

- **Топлоизолация:** Топлоизолационните материали могат да помогнат за минимизиране на загубата на топлина от батерията при студени условия и да намалят натрупването на топлина в гореща среда. Правилната изолация може да подобри ефективността и живота на батерията.
- **Дизайн на батерията:** Оптимизирането на дизайна на батерията, включително разположението на клетките и пътищата на въздушния поток, може да подобри разсейването на топлината и да осигури равномерно разпределение на температурата в опаковката.
- **Разширени системи за управление на батерията (BMS):** Усъвършенстваните BMS включват функции за наблюдение и контрол на температурата. Те регулират скоростите на зареждане и разреждане, за да предотвратят прегряване и да предпазят батерията от проблеми, свързани с температурата.
- **Пасивно охлаждане:** Методите за пасивно охлаждане разчитат на естествените свойства на материалите за разсейване на топлината.
- **Хибридни системи за управление на температурния режим.** За подобряване на ефективността и според нуждите на контрентните батерийни пакети могат да бъдат използвани и комбинации между по-горе изброените решения. (Фиг 4.)



Фиг 4. Хибридно охлаждане чрез пасивно охлаждане и материал с промяна на фазата.
[4]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разбирането на термичното поведение на литиево-йонните батерии е от първостепенно значение. За смекчаване на термичните предизвикателства са налични различни решения за управление на топлината. В заключение, термичното управление е от съществено значение за отключване на пълния потенциал на литиево-йонните батерии.

REFERENCES

- [1] Previati, G.; Mastinu, G.; Gobbi, M. Thermal Management of Electrified Vehicles—A Review. *Energies* 2022, 15, 1326.
- [2] Dafen Chen, Jiuchun Jiang, Gi-Heon Kim b,, Chuanbo Yang. Comparison of different cooling methods for lithium ion battery cells. *Applied Thermal Engineering* 94 (2016) 846–854
- [3] Zhiguo An, Xing Chen, Lin Zhao, Zhengyuan Gao. Numerical investigation on integrated thermal management for a lithium-ion battery module with a composite phase change material and liquid cooling. *Applied Thermal Engineering* 163 (2019) 114345

[4] Qian Wang, Bin Jiang, Bo Li, Yuying Yan. A critical review of thermal management models and solutions of lithium-ion batteries for the development of pure electric vehicles. Renewable and Sustainable Energy Reviews 64 (2016) 106–128