

# ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО- ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (ХНАДУ)



## ГІБРИДНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОНІКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

БАГАЧ Р. В., доктор філософії (PhD),  
доцент кафедри автомобільної електроніки ХНАДУ  
ЛАТВИНСЬКИЙ В.Д., асистент кафедри автомобільної електроніки ХНАДУ

# ВСТУП

Автомобільна промисловість зараз є свідком безпрецедентного інтересу до розробки нових електричних силових установок з метою переходу від звичайних двигунів до економічних гібридних транспортних засобів із двигуном внутрішнього згоряння в найближчій перспективі та до транспортних засобів на паливних елементах і електромобілів у довгостроковій перспективі. Особливе значення в цьому контексті мають електромобілі, які стають ключовим компонентом у глобальній стратегії переходу до екологічно чистого транспорту. Докази цього переходу можна знайти в програмах Freedom CAR і Fuel Partnership, які очолює Міністерство енергетики США [1-3].

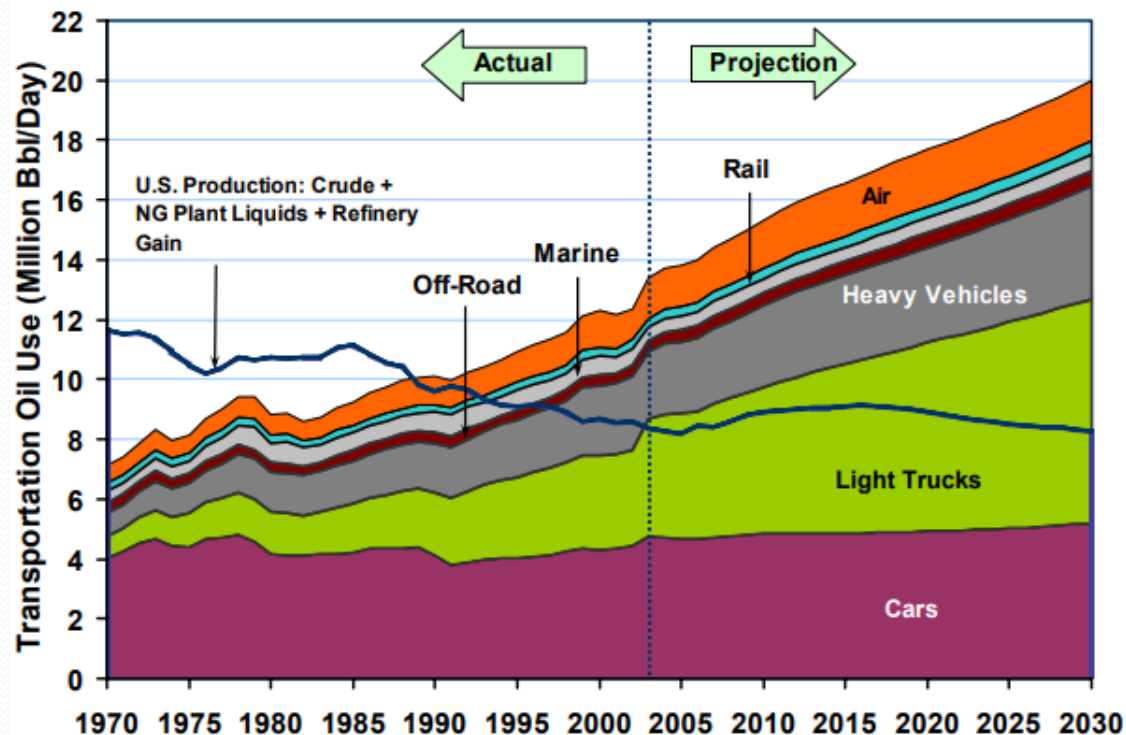


Рисунок 1- План партнерства FreedomCAR і Fuel прогнозоване використання нафти в транспортному секторі

# АКТУАЛЬНІСТЬ ТА МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

**Актуальність дослідження.** Перехід на електротранспорт є ключовим напрямом розвитку автомобільної промисловості. Однією з основних проблем є ефективне управління тепловими режимами силової електроніки та акумуляторів. Традиційні методи охолодження не завжди забезпечують необхідний рівень тепловідведення, особливо для високопотужних компонентів.

Інноваційні підходи, такі як двофазне теплоперенесення, мікроканалні системи та інтелектуальне керування охолодженням, можуть підвищити ефективність та зменшити масо-габаритні характеристики систем. Це сприятиме енергоефективності та надійності електромобілів, що є важливим для їх широкомасштабного впровадження та зниження впливу на довкілля.

**Мета дослідження.** Аналіз сучасних підходів до гібридного охолодження електроніки електромобілів, визначення перспектив розвитку таких систем та їх впливу на ефективність, надійність і енергоспоживання транспортних засобів. Особлива увага приділяється викликам, що стоять перед інженерами, та розробці інноваційних технологій для підвищення теплових характеристик електромобілів [4-6].

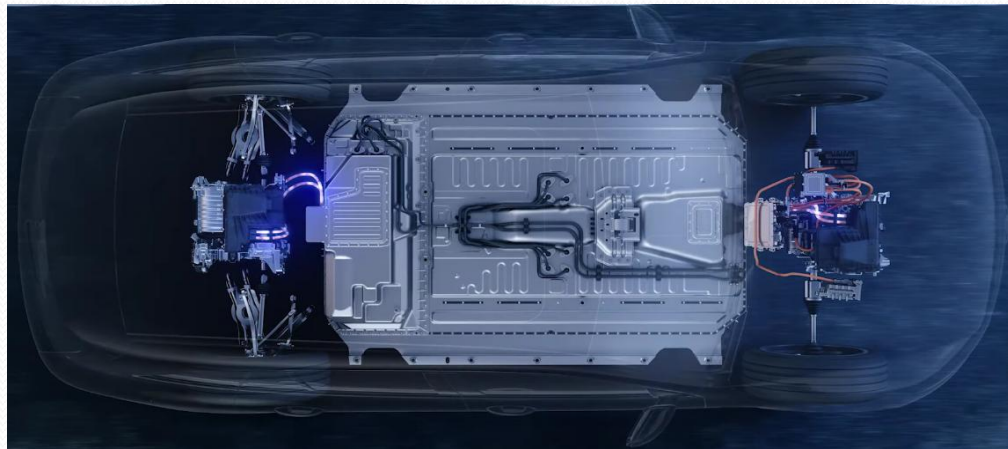


Рисунок 2 – Система охолодження силової електроніки та акумуляторів

## ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Для успішного впровадження силової електроніки та електричних машин у гібридні транспортні засоби, транспортні засоби на паливних елементах та електромобілі необхідно відповідати різноманітним тепловим характеристикам і робочим характеристикам. Управління теплопостачанням відіграватиме першорядну роль у досягненні цих цілей, але спочатку потрібно подолати кілька перешкод. Наприклад, існуючі методи управління температурою в електромобілях недостатні для розсіювання високих теплових потоків, які виникають у силовій електроніці та акумуляторних батареях, при обмеженні роботи електронних компонентів на основі кремнію температурою нижче 125°C. Крім того, сучасні компоненти охолодження можуть бути громіздкими та важкими, що ускладнює інтеграцію в компактні конструкції електромобілів.

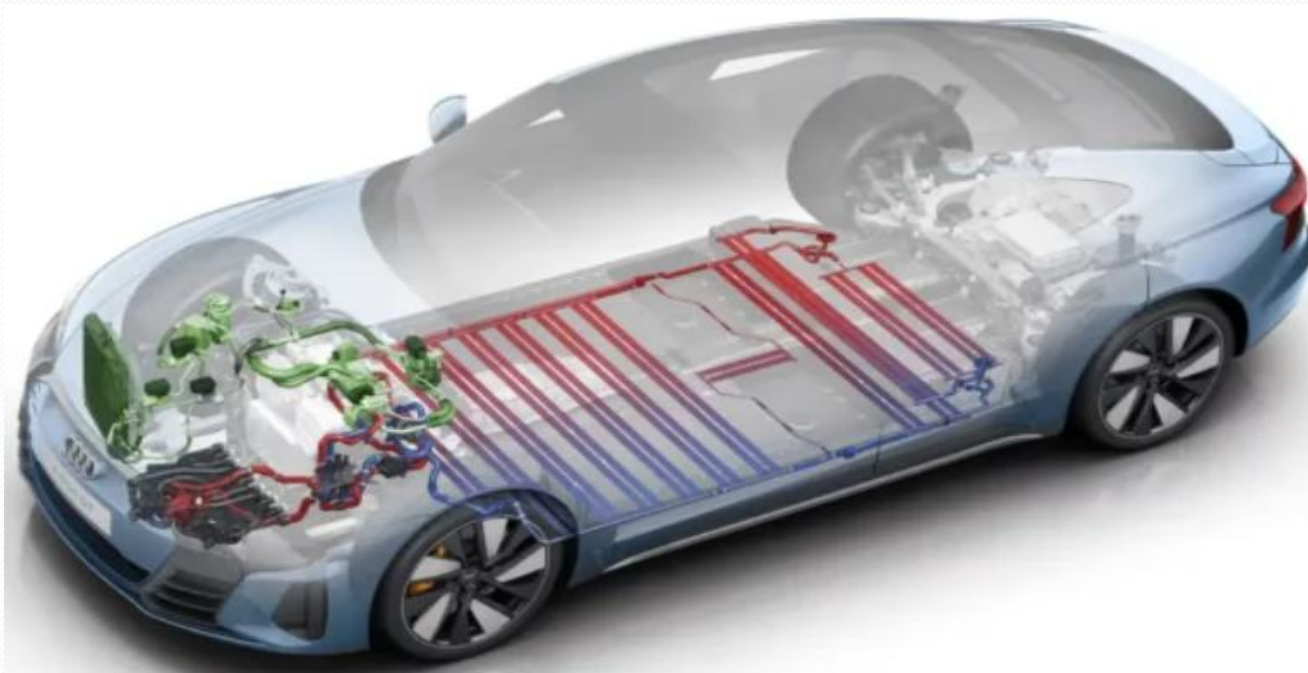


Рисунок 3 - Управління тепловим режимом в електромобілі

## ВИКЛИКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Для силової електроніки (а також акумуляторних батарей) електромобілів шукають нові технології охолодження, які можуть працювати з більшою щільністю потужності, мінімізуючи розміри та вагу систем. Охолодження досягається шляхом направлення тепла від чіпів, акумуляторних елементів та інших компонентів через різні шари матеріалів, що забезпечують ізоляцію і передачу тепла до охолоджуючої рідини. Щоб досягти вищезазначених теплових цілей, розроблено кілька двофазних теплових рішень [7-9].



Рисунок 4 – Відкрита високовольтна батарея з демонтованими охолоджувальними пластинами.

# РОЗРОБКА ДВОФАЗНИХ ТЕПЛОВИХ РІШЕНЬ

Струменеве зіткнення. Цей метод забезпечує високоефективне перенесення тепла шляхом спрямування струменів рідини на поверхню, що охолоджується. Його можна застосовувати для силової електроніки інверторів та зарядних пристроїв [10].

Охолодження розпиленням. Тепло ефективно розсіюється завдяки тонкому шару рідини, яка розпорошується на поверхню. Ця технологія може бути корисною для систем охолодження акумуляторних батарей [11].

Охолодження мікроканалів. Цей підхід дозволяє мінімізувати розміри охолоджуючої системи завдяки використанню мікроканалів для циркуляції рідини, що є особливо важливим для компактних електромобілів

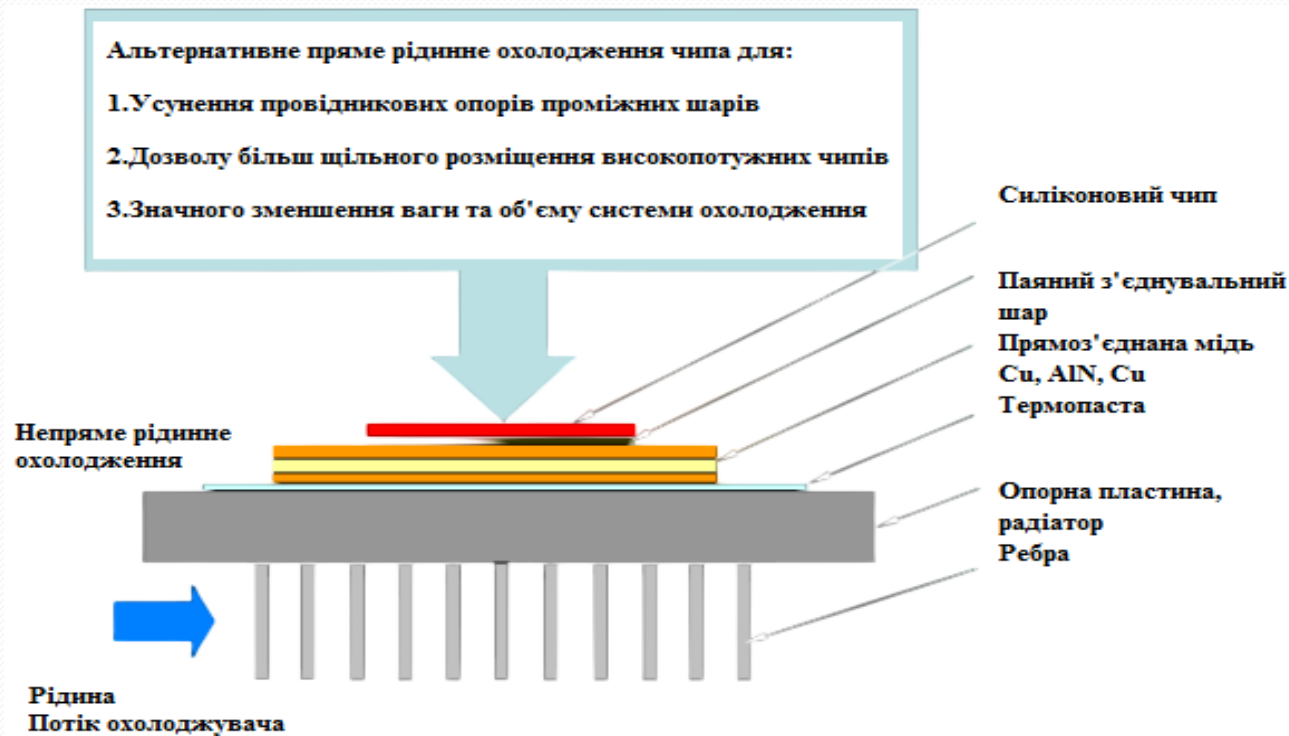


Рисунок 5 - Двофазне охолодження силової електроніки

# РОЗРОБКА ДВОФАЗНИХ ТЕПЛОВИХ РІШЕНЬ

Типи охолоджувачів. Одним із можливих типів охолоджувача є холодоагент, такий як R134a, який може циркулювати в підконтурі з підтримкою насоса. Підконтур підключатиметься до основного контуру охолодження автомобіля, а також відводитиме тепло до конденсатора повітряного охолодження електромобіля. Інша можливість - використання діелектричного охолоджувача типу HFE 7100 з окремим контуром охолодження представлено на рисунку 6. Ці охолоджувачі забезпечують ефективне розсіювання тепла без ризику пошкодження електроніки [12,13].

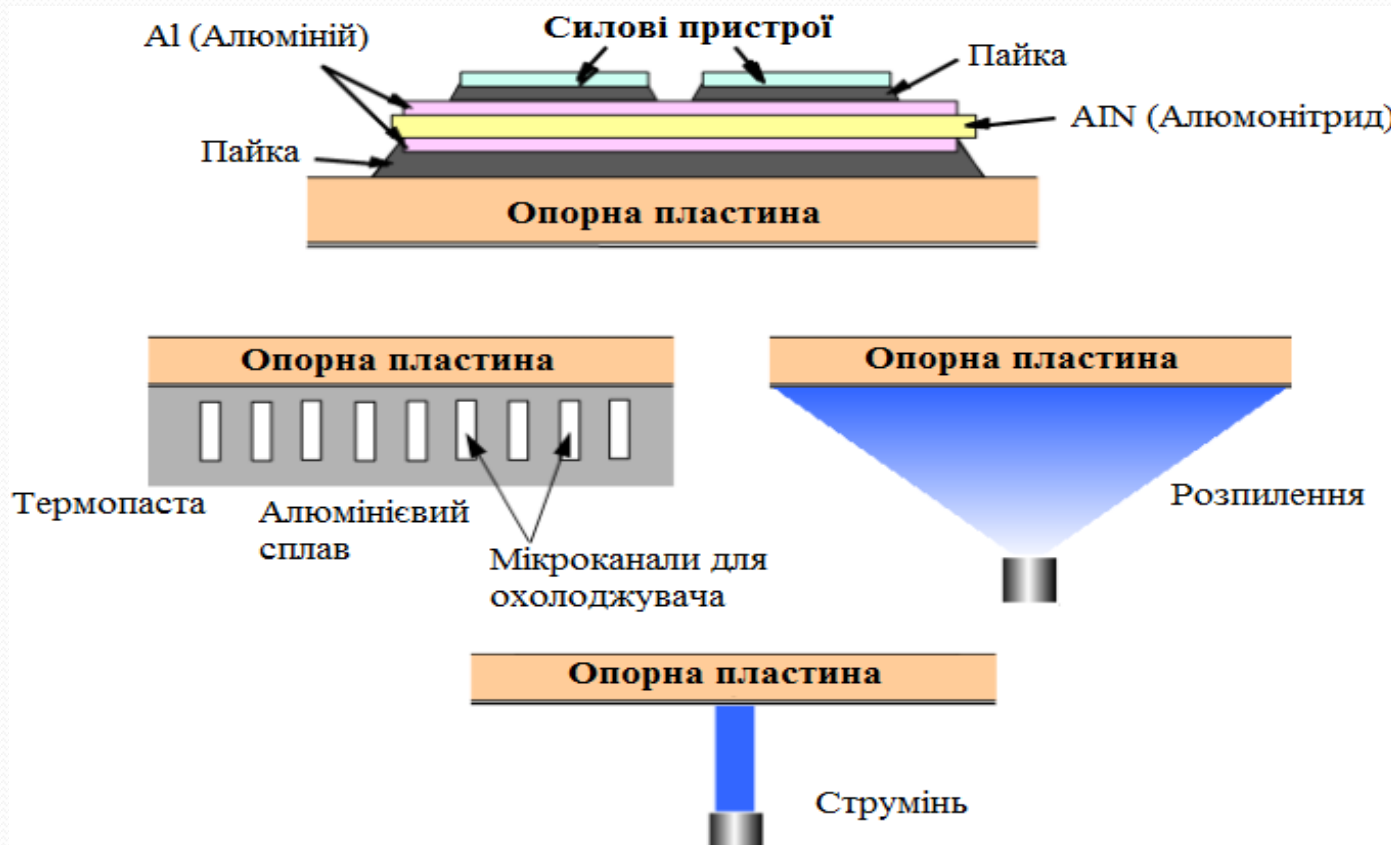


Рисунок 6 – Складова частина системи охолоджувачів

# ПЕРЕВАГИ ГІБРИДНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Переваги гібридних рішень для електромобілів. Використання гібридних методів охолодження дозволяє:

- забезпечити ефективне розсіювання тепла навіть у високопотужних системах, таких як тягові інвертори та високовольтні акумулятори.
- зменшити вагу та обсяги охолоджуючої системи, що сприяє зниженню енергоспоживання електромобіля.
- підвищити надійність роботи електроніки та батарей завдяки ефективному контролю температури.



Рисунок 7- Високовольтній батареї використовується літій-полімерна технологія, де достатньо повітряного охолодження (з лівого боку видно корпус двигуна вентилятора, який працює з напругою 12 В)



## ВИСНОВКИ

Гібридне охолодження відкриває нові горизонти для розробки економічних і високоефективних електромобілів майбутнього. Основними напрямками удосконалення таких систем є:

- розробка нових матеріалів із покращеними теплопровідними властивостями, що дозволить підвищити ефективність тепловідведення в електромобілях.
- впровадження інтелектуальних систем керування охолодженням, які адаптуються до змін робочих умов електромобіля.
- зменшення енергоспоживання охолоджуючих систем завдяки використанню ефективніших насосів і теплообмінників.

Інновації в гібридних охолоджуючих системах стануть ключовим фактором у створенні електромобілів, які поєднують екологічність, енергоефективність і надійність. Таким чином, вони сприятимуть переходу до сталого транспорту, який відповідатиме вимогам сучасності та майбутнього [14,15].

# ЛІТЕРАТУРА

1. Багач Р. В. (2024). Підвищення ефективності експлуатації автомобільного електротранспорту з використанням зарядних станцій постійного струму (Doctoral dissertation, Харківський національний автомобільно-дорожній університет). <https://dspace.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/20343>
2. Багач, Р.В. (2021). Перспективи подальшого вдосконалення акумуляторних батарей для електромобілів. Міжнародна науково-практична конференція присвячена 90-річчю Харківського автомобільно-дорожнього університету та 90-річчю автомобільного факультету "Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців" (pp. 346-349). Харків: ХНАДУ. <https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/f2cddad8-ee08-4314-831e-018403b09d23/content>
3. Багач Р, В. (2024). Відновлювана енергетика електротранспорту. *Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: [Електронний ресурс] : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 6 листопада 2024 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. –Харків, 2024. – 312 с. – С. 60-61.* Електронні текстові дані. – Режим доступу : <http://btu.kharkov.ua/nauka/konferentsiyi/>
4. Гнатов, А. В., Аргун, Щ. В., Багач, Р. В., Гнатова, Г. А., Тарасова, В. В., & Ручка, О. О. (2021). Аналіз найбільш поширених методів визначення стійкості енергетичних систем. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання*, (20), 17–26. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2021.20.0.02>
5. Багач, Р.В., Козаченко, Є.М. (2024). Розвиток технологій охолодження та управління теплом у швидкісних зарядних станціях для електромобілів. «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології» Збірка матеріалів ІХ Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції (Харків, 21-22 листопада 2024 р.). Харків: ХНАДУ – С. 98-100. [https://af.khadi.kharkov.ua/fileadmin/F-AUTOMOBILE/Автомобільної\\_електроніки/Документи/Крнференції/Збірка\\_тез\\_доповідей\\_2024\\_1\\_.pdf](https://af.khadi.kharkov.ua/fileadmin/F-AUTOMOBILE/Автомобільної_електроніки/Документи/Крнференції/Збірка_тез_доповідей_2024_1_.pdf)
6. Багач Р. В., Гнатов А. В. (2024). Інтеграція електромобілів у розподілені енергетичні системи Vehicle-to-Grid (V2G). *Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: [Електронний ресурс] : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 6 листопада 2024 р. / Держ. біотехнологічний ун-т. –Харків, 2024. – 312 с. – С.62-63.* Електронні текстові дані. – Режим доступу : <http://btu.kharkov.ua/nauka/konferentsiyi/>
7. Zhang Y., Wang J., Yang C. Thermal Management Strategies for Electric Vehicle Power Electronics and Batteries / Y. Zhang, J. Wang, C. Yang // *International Journal of Vehicle Energy*. – 2019. – Vol. 7, № 3. – P. 221-234. – DOI: 10.1016/j.vehenergy.2019.07.002.
8. Muhammed M., Khaligh A. Advanced Cooling Systems for Electric Vehicles: A Comprehensive Review / M. Muhammed, A. Khaligh // *Journal of Power Electronics and Drives*. – 2020. – Vol. 14, № 2. – P. 135-154. – ISSN: 2346-9383.
9. Lienhard J. H. A Heat Transfer Textbook / J. H. Lienhard IV, J. H. Lienhard V. – Cambridge, MA: Phlogiston Press, 2021. – 768 p. – ISBN: 978-0-9707075-1-2.
10. Zhang J., Mi X. Design and Development of Liquid Cooling Systems for High-Performance Electric Vehicles / J. Zhang, X. Mi // *Energy Storage Systems for EVs*. – 2021. – Vol. 3, № 1. – P. 89-102. – DOI: 10.1016/j.evs2021.01.008.
11. Jang H., Nguyen T. Q. Dielectric Coolants in Electric Vehicle Powertrains / H. Jang, T. Q. Nguyen // *Proceedings of the International Conference on Thermal Engineering*. – 2020. – P. 45-56. – ISBN: 978-1-1198-7702-3.
12. Chau K. T., Chan C. C., Liu C. Overview of Electric Vehicle Development: From Components to Systems / K. T. Chau, C. C. Chan, C. Liu // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. – 2018. – Vol. 62, № 12. – P. 7534-7545. – DOI: 10.1109/TIE.2018.2847591.
13. Tran C., Dubey R. Two-Phase Cooling Solutions for Electric Vehicle Electronics / C. Tran, R. Dubey // *Thermal Science Journal*. – 2019. – Vol. 25, № 5. – P. 300-315. – ISSN: 1333-7741.
14. Krishnamurthy M., Stone D. FreedomCAR and US DoE Reports on Thermal Management Systems for EVs / M. Krishnamurthy, D. Stone // *US Department of Energy Publications*. – 2020. – P. 12-27. – Режим доступу: <https://www.energy.gov/ev-thermal-reports>.
15. Nomura S., Ito K. Development of Heat Pipe Solutions for Battery Packs in EVs / S. Nomura, K. Ito // *Journal of Thermal Engineering*. – 2021. – Vol. 67, № 4. – P. 412-425. – DOI: 10.1299/jote.2021.040123.

# КОНТАКТИ

**Address:** 61002, Ukraine, Kharkiv, Yaroslava Mudrogo St., 25  
Kharkiv National Automobile and Highway University

**Phone:** +38(057) 700-38-52

**Mobile:** +38(050) 725-56-60

**E-mail:** bagach.ruslan@gmail.com

**Linkedin:** Руслан Багач

