

За умови рівності між собою моментів інерції твердого тіла відносно його головних центральних осей, вектор кутової швидкості і вектор моменту імпульсу тіла мають збіжний напрямок. Тому, якщо в формулах (11)-(13) покласти $k_I=1$, то отримаємо залежності, за якими можна також обчислити напрямні косинуси вектора $\bar{\omega}_2$ в рухомій системі координат $Ox_2y_2z_2$.

Література

1. Коряк О. О. Аксоїди шарніра Гука / О. О. Коряк // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. №1 (2022). С 62-73. ISSN 2222-0631, DOI 10.20998/2222-0631.2022.01.08.
2. Шуклінов, С. М., Леонтьєв, Д. М., & Холод, А. В. (2025). Щодо питання теоретичного дослідження кулькових шарнірів типу BIRFIELDRZEPPA. *Маєтріали конференції «Сучасне автомобілебудування, транспорт і дорожня інфраструктура '2025 (MAITRI 2025)»*, Харків, 30–31 жовт. 2025 р.
3. Леонтьєв, Д., Товт, Б., & Малий, В. (2025). Formulation of the problem of topology optimization of automobile and agricultural machinery structures. *Автомобільний транспорт*, (56), 19-28.

УДК 621.362

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕЛЬТЬЄ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ

Є. О. Чаплигін, Є. В. Міщенко, С. С. Фокін

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

chaplygin.e.a@gmail.com

Використання елементів Пельтьє (термоелектричних модулів) в автомобілебудуванні – це перспективний напрям, який дозволяє перетворювати різницю температур безпосередньо в електроенергію або створювати компактні системи охолодження/нагріву без рухомих частин.

Рекуперация енергії вихлопних газів (TEG – Thermoelectric Generators) – ця технологія перетворює автомобіль на «гібрид», що живиться не лише паливом, а й власним теплом.

Генератор зазвичай встановлюється в розріз вихлопної труби (після каталізатора). Він складається з центрального теплообмінника, по якому проходять гази (температура 400...800 °С), та зовнішнього контуру охолодження, підключеного до загальної системи охолодження двигуна (~ 90 °С).

Оскільки звичайні елементи Пельтьє на основі телуриду вісмуту (Bi_2Te_3) плавляться при високих температурах, у TEG використовують середньотемпературні матеріали (скуттерудити, телурид свинцю) або високотемпературні силіциди магнію.

Сучасні прототипи (наприклад, від BMW або Ford) здатні генерувати від 300 до 600 Вт електроенергії під час руху трасою. Цього достатньо, щоб повністю зняти навантаження з генератора для живлення фар, кондиціонера та бортового комп'ютера.

Окрім економії палива, TEG пришвидшує прогрів антифризу при холодному пуску (працюючи у зворотному режимі або як теплообмінник), що зменшує викиди шкідливих речовин у перші хвилини роботи двигуна.

В електромобілях (EV) елементи Пельтьє вирішують проблему «термічного вікна» ефективності, яке є дуже вузьким.

Двостороння дія. При температурі нижче $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ємність батареї падає на 30...40 %. Елементи Пельтьє працюють як ефективні нагрівачі, швидко доводячи осередки до робочих $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Під час зарядки струмами високої потужності (Supercharge) батарея миттєво перегрівається. Модулі Пельтьє забезпечують інтенсивне точкове охолодження, запобігаючи деградації хімічного складу.

На відміну від рідинного охолодження, яке охолоджує весь блок відразу, термоелектричні модулі можуть бути інтегровані в окремі модулі батареї. Це дозволяє вирівнювати температуру між «гарячими» центральними осередками та «холодними» крайніми, що критично для довговічності всієї збірки.

Оскільки система твердотільна, вона не потребує pomp (у локальних рішеннях), не створює шуму та ризику протікання електроліту або холодоагенту всередині корпусу батареї.

Головний виклик тут – енергоспоживання самих елементів. Тому їх частіше використовують як допоміжну систему для «пікового» охолодження, коли основна радіаторна система не справляється.

В сучасних автомобілях (особливо преміум-сегменту та електрокарах) елементи Пельтьє стають основою концепції «мікрокліматичних зон».

Замість простого обдування повітрям, TEM інтегруються безпосередньо в подушки та спинки крісел. Це дозволяє пасажирові відчути прохолоду за лічені секунди, не чекаючи, поки кондиціонер охолодить весь об'єм салону. Це критично для електромобілів, де робота компресора кондиціонера сильно «з'їдає» запас ходу.

Використання невеликих модулів дозволяє як охолоджувати напої до $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, так і підтримувати каву гарячою (до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$) простим перемиканням полярності. Це набагато компактніше і надійніше за будь-які компресорні або ТЕНові аналоги.

Замість складної системи повітроводів, TEM можуть бути встановлені в підлокітниках, дверних картах або кермі, створюючи тепловий комфорт саме там, де тіло контактує з поверхнею.

З розвитком систем автономного водіння (AD) та матричного світла теплове навантаження на окремі вузли зросло в рази.

Потужні світлодіодні матриці виділяють багато тепла на тильній стороні кристала. Перегрів призводить до деградації люмінофора та втрати яскравості. Елементи Пельтьє відводять тепло від кристала на радіатор фари, дозволяючи робити оптику компактнішою.

ТЕМ використовуються для точного контролю «точки роси» всередині герметичної фари. Це усуває проблему запотівання скла при різких змінах температури, що критично для роботи лідарів та камер, вбудованих в оптику.

Процесори NVIDIA або Tesla, що обробляють дані з десятків датчиків, потребують стабільного охолодження. Елементи Пельтьє можуть виступати «тепловим насосом», який скидає температуру чипа нижче температури навколишнього повітря в моторному відсіку.

Незважаючи на потенціал, масове використання ТЕМ має суттєві бар'єри.

Коефіцієнт корисної дії елементів Пельтьє в режимі охолодження зазвичай становить 0,4...0,7 (для порівняння, компресорні системи мають 2,0...3,0). Це означає, що для отримання 100 Вт «холоду» потрібно витратити 150...200 Вт електроенергії.

Автомобіль працює в умовах постійних вібрацій та різких перепадів температур (від -40 до $+100$ °C). Напівпровідникові кристали всередині модулів крихкі, і з часом мікротріщини призводять до виходу системи з ладу.

Найефективніші модулі потребують рідкісних та дорогих металів (Телур, Селен, Вісмут). Наразі ведеться пошук дешевших полімерних або оксидних термоелектриків, але їхня ефективність поки що нижча.

Рекомендується використовувати елементи Пельтьє як допоміжну систему до традиційного рідинного охолодження. Це дозволить нівелювати пікові теплові навантаження (наприклад, під час швидкої зарядки електромобіля) без збільшення габаритів радіаторів.

При проектуванні TEG-модулів слід встановлювати їх якомога ближче до випускного колектора, де температурний градієнт максимальний, але з обов'язковим використанням термостабілізаційних прошарків для запобігання перегріву напівпровідників.

Для електромобілів (BEV) доцільно впроваджувати ТЕМ у контактні поверхні (кермо, сидіння, підлокітники). Це дозволить знизити потужність основної печки/кондиціонера на 15...20 %, що прямо пропорційно збільшить запас ходу взимку.

Враховуючи крихкість напівпровідників, конструкція кріплень ТЕМ в авто повинна передбачати можливість швидкої заміни окремих модулів без демонтажу всієї системи.

Висновки. Використання термоелектричних генераторів (TEG) у вихлопній системі дозволяє економити до 3...5 % палива за рахунок рекуперації тепла. Елементи Пельтьє – це оптимальне рішення для точного нагріву та охолодження батарей електромобілів, що подовжує їхній ресурс.

ТЕМ дозволяють створювати персональні зони клімат-контролю (крісла, підлокітники), суттєво зменшуючи навантаження на основну кліматичну установку.

Твердотільна природа модулів робить їх ідеальними для охолодження LED-оптики та процесорів автопілота в обмеженому просторі.

Масове впровадження наразі стримується низьким ККД (до 8 %) та високою собівартістю напівпровідникових матеріалів.

Література

1. Rowe D. M. Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano. CRC Press, 2018. 1014 p.
2. Goldsmid H. J. Introduction to Thermoelectricity. Springer Berlin, Heidelberg, 2016. 263 p. DOI: 10.1007/978-3-662-49256-7.
3. Twaha S., Zhu J., Yan Y., Li B. A comprehensive review of thermoelectric technology: Real-life applications and future prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 47. P. 398–414.
4. Gao J., Graeff L., Gschwander S. Review on thermoelectric power generation for internal combustion engine waste heat recovery. Journal of Electronic Materials. 2019. Vol. 48. No. 1. P. 1–15.
5. Zheng X., Liu C., Yan Y., Wang Q. A review of thermoelectrics for vehicle climate control. International Journal of Refrigeration. 2014. Vol. 41. P. 132–150.
6. Sajid M. U., Hassan I., Rahman A. An overview of cooling of power electronics using thermoelectric coolers (TECs). Energy Reports. 2017. Vol. 3. P. 1–14.
7. Patent US 8,653,356 B2. Thermoelectric generation system for a vehicle exhaust. Inventors: G. Meisner, J. Yang, J. Chen. Assignee: General Motors LLC. Date: Feb 18, 2014.

УДК 629.33

АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА ЛОБОВЕ СКЛО

М.В. Дігтяр

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

aa123dmv@stud.khadi.kharkov.ua

Сучасний розвиток автомобілебудування характеризується стрімким переходом від механічного вдосконалення до глибокої інтеграції цифрових технологій. Для транспортних засобів категорії М1 (легкові автомобілі до восьми пасажирських місць) одним із найвищих пріоритетів є забезпечення максимального рівня активної безпеки та комфорту водія. Збільшення