

вприскування палива. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2010. Вип. 119. С. 117–122.

13. **Корогодський В. А., Василенко О. В., Діденко В. В.** Особливості електронної системи керування двотактним двигуном з іскровим запалюванням та безпосереднім впорскуванням палива. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2007. Вип. 80. С. 135–141.

УДК 621.315

## СУЧАСНІ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

**Латвинський Владислав Дмитрович**, асистент кафедри автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: latvin2000@gmail.com, ORCID ID 0009-0002-4891-2925

Зниження витрати енергії електромобілів та підвищення їхньої ефективності є важливим завданням на сучасному етапі розвитку транспорту. Електромобілі поступово замінюють автомобілі з двигунами внутрішнього згоряння та впевнено займають своє місце як у міському, так і в міжміському русі. Тому їх подальше технічне вдосконалення залишається актуальним.

Одним із ключових практичних завдань є забезпечення пробігу не менше 200 км при русі зі швидкістю 80–100 км/год на одному заряді батареї. Досягти цього можна шляхом зменшення дорожніх опорів, скорочення втрат енергії у допоміжних системах, а також підвищення коефіцієнта корисної дії акумуляторів, електродвигунів, трансмісії та електричних з'єднань.

Основна увага має приділятися зниженню енерговитрат на подолання опору руху, мінімізації втрат потужності у допоміжному обладнанні та вдосконаленню гальмівної системи. Бажано, щоб коефіцієнт аеродинамічного опору електромобіля не перевищував 0,2–0,3 – це складне, проте цілком досяжне завдання.

Ефективним рішенням з погляду економії енергії є застосування рекуперативного гальмування [1]. У цьому випадку кінетична енергія під час гальмування перетворюється на електричну та повертається до акумуляторної батареї. Незважаючи на активні розробки нових типів акумуляторів, сьогодні найпоширенішими в сучасних електромобілях залишаються літій-іонні батареї [2]. Хоча вони значно легші та ефективніші за старі свинцево-кислотні акумулятори, маса батарей все ще становить значну частину загальної ваги автомобіля, тому зменшення ваги акумуляторів залишається важливою конструктивною та інженерною проблемою [3].

Використання електродвигунів постійного струму з послідовним збудженням має низку переваг порівняно з іншими типами двигунів. Вони забезпечують високий крутний момент на малих швидкостях і нижчий — на великих.

Такі двигуни зручні в керуванні та можуть безпосередньо підключатися до акумуляторів. Регулювання швидкості здійснюється за допомогою перетворювача з широтно-імпульсною модуляцією. Крім того, механічне регулювання швидкості, наприклад із використанням коробки передач, також сприяє зменшенню втрат електроенергії.

Разом із вдосконаленням електродвигунів, перспективним напрямом розвитку електротранспорту є застосування паливних елементів як альтернативного джерела електричної енергії [4]. Принцип їхньої роботи близький до принципу дії акумуляторів: у процесі застосовується чистий водень як паливний компонент і чистий кисень як окисник (рис. 1).

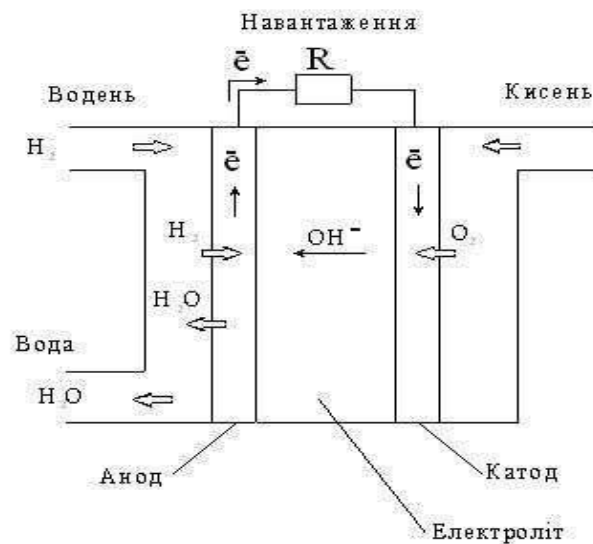


Рисунок 1 – Схема роботи паливного елемента

Гази проходять крізь пористий матеріал і взаємодіють в електролітному середовищі, у результаті чого утворюється постійний електричний струм. Кінцевим продуктом реакції є вода, при цьому також виділяється тепло.

Застосування паливних елементів в електромобілях має низку переваг. Паливо не згорає, а безпосередньо перетворюється на електричну енергію, що сприяє зменшенню негативного впливу на довкілля. Відсутня потреба у складній системі охолодження, а сам процес роботи відбувається практично безшумно. Крім того, можливість створення установок різної потужності значно розширює сферу їх використання [5].

Сьогодні коефіцієнт корисної дії (ККД) паливних елементів перевищує 35 %. Це означає, що більше третини енергії, закладеної у використаному паливі, перетворюється на корисну електричну енергію, а не втрачається у вигляді тепла. Якщо до системи додатково застосовувати тепловий насос для повторного використання виділеного під час роботи тепла, сумарний ККД енергетичної установки може сягати вражаючих 94 %. Такий підхід дозволяє значно підвищити ефективність використання палива і робить паливні елементи більш привабливими для широкого впровадження в електротранспорті. У

перспективі також розглядається можливість використання альтернативних видів палива для цих елементів, таких як водень, метанол або біопаливо, що може зменшити залежність від викопних джерел енергії та знизити шкідливі викиди.

Сучасні електромобілі здебільшого оснащуються літій-іонними батареями, які відрізняються високою енергетичною щільністю, тривалим ресурсом циклів заряджання та відносно невеликою вагою, а також оснащені передовими системами термостабілізації для підтримання продуктивності в широкому діапазоні температур [6]. Це дозволяє електромобілям забезпечувати більший пробіг на одному заряді та підтримувати динамічні характеристики, порівнянні з автомобілями на традиційних двигунах внутрішнього згоряння. Проте науковці продовжують шукати ще більш ефективні і економічні рішення для акумуляторів, і серед найбільш перспективних варіантів для електромобілів майбутнього розглядаються натрій-сірчані батареї. Вони відзначаються високим ККД, стійкістю до екстремальних температур, великою кількістю циклів заряджання та потенційно нижчою собівартістю виробництва у порівнянні з літій-іонними батареями.

Під час роботи електродвигуна, коли електричний струм проходить через коло акумулятора, відбуваються хімічні реакції, що забезпечують накопичення і вивільнення енергії всередині батареї. Наприклад, у натрій-сірчаніх акумуляторах утворюється полісульфід натрію як кінцевий продукт реакції, що дозволяє підтримувати стабільну роботу електромотора та ефективно перетворення електричної енергії на механічну (рис. 2). Дослідження цих процесів допомагають оптимізувати конструкцію батарей і підвищувати їхню загальну ефективність та безпеку.

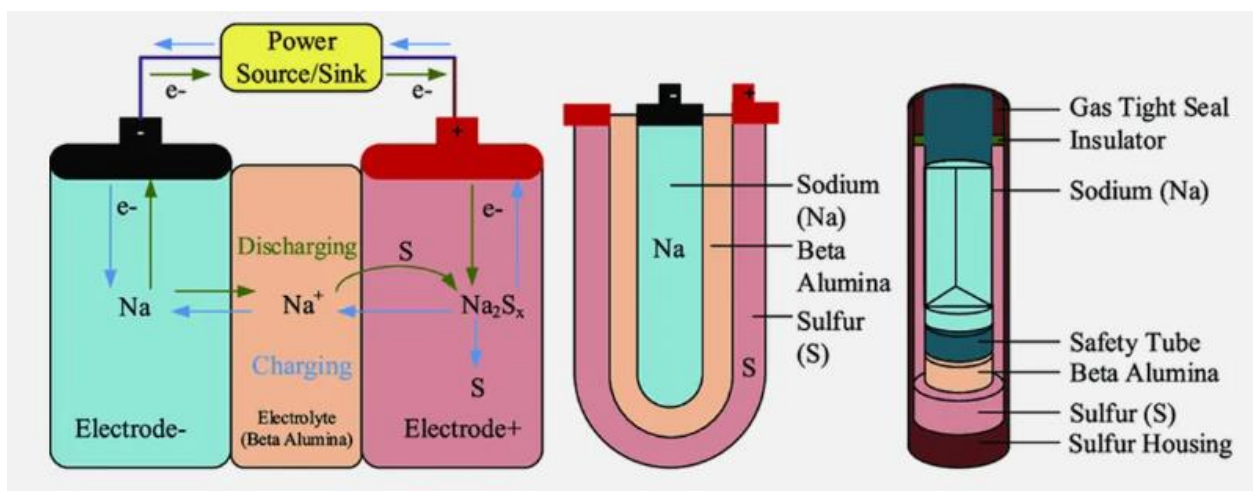


Рисунок 2 – Схема будови та принципу роботи натрій-сірчаної (Na-S) акумуляторної батареї

Конструкція натрій-сірчаної акумуляторної батареї (Na-S) включає електрохімічну систему з рідким натрієм як анодом і рідкою сіркою як катодом, розділеними твердим керамічним електролітом на основі  $\beta$ -алюмінію. Цей електроліт проводить виключно іони  $Na^+$  та є електронним ізолятором.

Під час розряду натрій окиснюється з утворенням іонів  $\text{Na}^+$ , які мігрують через електроліт до катодної області та взаємодіють із сіркою з утворенням полісульфідів натрію ( $\text{Na}_2\text{S}_x$ ). Електрони при цьому проходять через зовнішнє коло, забезпечуючи живлення навантаження. У режимі заряджання процеси відбуваються у зворотному напрямку.

Батарея має конструктивні елементи, такі як внутрішня трубка з  $\beta$ -алюмінію, зони для розміщення натрію і сірки, ізоляційні елементи та герметичний корпус. Для нормальної роботи батареї необхідна підвищена температура експлуатації (приблизно 300–350 °C), що підтримує реагенти в рідкому стані та забезпечує високу іонну провідність.

Завдяки цій будові та електрохімічним процесам Na–S акумулятор відзначається високою енергетичною щільністю та ефективністю перетворення енергії. Дорожні випробування показали, що електрофургон із натрій-сірчанним акумулятором може на одній зарядці долати від 96 до 120 км, залежно від стану дороги та умов руху. На даний момент питома енергія одного елемента натрій-сірчаного акумулятора становить 550 Вт·год. Для повного живлення електромобіля достатньо 90 таких елементів.

У провідних автомобільних країнах, серед яких США, Японія, Німеччина та Франція, вже пройшли випробування гібридних електромобілів, що поєднують роботу бензинового та електричного двигунів.

### Висновки

З усього вищезгаданого можна зробити висновок, що в майбутньому паливні елементи можуть стати перспективним джерелом електричної енергії. Принцип їхньої роботи подібний до акумулятора: як паливо використовується чистий водень, а як окислювач – чистий кисень.

### Література

1. Двадненко В. Удосконалення системи рекуперативного гальмування м'якого гібридного автомобіля. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. 2025. № 28. С. 58–65. DOI: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2025.28.0.62>.

2. Латвинський В. Д., Багач Р. В. Дослідження літій-іонних батарей для експлуатації електромобілями при різних температурних умовах. *Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Електротехніка і енергетика»*. 2024. № 1 (30). С. 58–64. DOI: <https://doi.org/10.31474/2074-2630-2024-1-58-64>.

3. Латвинський В. Д., Багач Р. В. Порівняльний аналіз характеристик тягових акумуляторів для сучасних електромобілів. *Сучасне автомобілебудування, автотехнічна експертиза, експлуатація автомобільного транспорту та підготовка фахівців галузі транспорт* : зб. тез доп. Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 22–23 жовт. 2024 р.). Харків, 2024. С. 267–271.

4. Латвинський В. Д. Перспективи і розвиток водневих електромобілів. *Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії* : зб. тез та доп. міжнар. конф. (Харків, 11–12 берез. 2024 р.). Харків : ФОП Бровін О. В., 2024. С. 224–227. URL: <https://dspace.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/21368>.

5. Кравчик Ю., Каткова Т. Інноваційні рішення для енергоефективного виробництва водню: перспективи для України. *Herald of Khmelnytskyi National University*.

---

*Economic Sciences*. 2024. Vol. 336, no. 6. P. 613–618. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-336-92>.

б. Латвинський В. та ін. Дослідження та оптимізація температурного режиму літій-іонних акумуляторів у складі тягової батареї електромобіля. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. 2025. № 27. С. 99–109. DOI: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2025.27.0.7>.

**UDC 621.311**

## **DEVELOPING AN APPROACH TO IMPROVING ENERGY EFFICIENCY WITH THE USE OF ELECTRIC MOTORS**

**Natalia Smetankina**, DSc, Professor, Head of Department of Vibration and Thermostability Studies, Anatolii Pidhornyi Institute of Power Machines and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine,  
e-mail: [nsmetankina@ukr.net](mailto:nsmetankina@ukr.net), ORCID: [0000-0001-9528-3741](https://orcid.org/0000-0001-9528-3741)

The level of energy efficiency is influenced by the quality of electricity supply and the way energy is used. The problem of increasing the efficient and rational use of resources requires an integrated approach to energy saving and energy efficiency management [1–3]. It is also related to environmental safety [4–6], taking into account the reliability control of the system as a whole [7, 8]. The reliability calculation model taking into account control actions is based on the following assumptions and preconditions. Calculation of reliability indicators is carried out in accordance with the design documentation. Power equipment elements of serial production are considered. In case of failure to achieve the required level or other technical characteristics and when the cause of failure is identified, design changes are carried out. Changes in structural elements are complex, i.e. they affect not only the element, the cause of failure of which is identified, but also other elements of the design, directly related to each other by functional dependence. It should be taken into account that new changes in design parameters correlate with the element whose cause of failure is known and directly affect the output characteristic of this element and, thus, indirectly affect the output characteristic of the product as a whole.

The purpose of the study is to assess the efficiency of electricity use by compensating for reactive power, and to consider the ways and methods of compensation, taking into account the exclusion of resonant phenomena in the network.

In order to increase the efficiency of electricity use with the aim of minimizing losses under conditions of restrictions on maximum power consumption, new technical means are used to improve energy characteristics. Methods of optimizing the power supply system to improve energy efficiency: ensuring sufficient cable diameter, appropriate power to reduce active losses, operating transformers at a sufficient load (more than  $40 \div 50\%$  of the rated power), using transformers with