

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

СОХІН ПАВЛО АНДРІЙОВИЧ

УДК 629.3

ДИСЕРТАЦІЯ

Підвищення ефективності роботи зарядної інфраструктури
електричних автотранспортних засобів

274 Автомобільний транспорт

27 Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня доктор філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ П. А. Сохін

Науковий керівник Гнатов Андрій Вікторович, доктор технічних наук,
професор

Харків – 2024

АНОТАЦІЯ

Сохін П.А. Підвищення ефективності роботи зарядної інфраструктури електричних автотранспортних засобів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 274 – «Автомобільний транспорт». Харківський національний автомобільно-дорожній університет Міністерства освіти і науки України, 2024.

Дисертація присвячена підвищенню енергоефективності та екологічної чистоти автотранспортних засобів (АТЗ) та їх зарядної інфраструктури шляхом розробки пристроїв і систем енергозбереження та генерації електроенергії з використанням альтернативних поновлюваних джерел енергії.

Актуальність дисертаційної роботи визначається необхідністю вирішення науково-практичного завдання з енергозбереження та застосування енергоефективних технологій на електричному автомобільному транспорті та його зарядній інфраструктурі.

За 2022 р. кількість електромобілів на українських дорогах збільшилася на 56%. Отже, спостерігається невідпинне зростання електричного автомобільного транспорту, причому, як в Україні, так і у всьому світі. У 2023 році світові продажі електромобілів зросли на 31%. Очікується, що у 2024 році глобальне зростання продажів електромобілів сягне від 25% до 30%. І така динаміка зростання кількості електричних автотранспортних засобів буде спостерігатися ще, як мінімум, найближче десятиріччя.

Відсутність ефективних методів підвищення енергоефективності та екологічної чистоти автотранспортних засобів та їх зарядної інфраструктури призводить до уповільнення темпів переходу на новітній енергоефективний вид транспорту, який є повністю екологічно чистим, не утворює забруднюючих викидів у навколишнє середовище та сприяє стабільній і стійкій роботі енергосистеми при виникненні різного роду аварійних ситуацій, як то аварійні відключення, пошкодження її елементів та блекауту.

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень запропоновано новий підхід, щодо вирішення науково-практичного завдання з енергозбереження та застосування енергоефективних технологій на електричному автомобільному транспорті та його зарядній інфраструктурі шляхом інтеграції в електричну систему поновлювальних автономних джерел електроживлення та ефективного розподілу балансу потужності в даній енергосистемі.

Проведений аналіз науково-технічної літератури щодо тенденції розвитку сучасних енергоефективних АТЗ показав, що даний цей вид транспорту перебуває на етапі його розвитку і потребує як вдосконалення, так і розробки нових рішень та методів, що підвищують його енергоефективність. Особливо це актуально для міських АТЗ, де поєднуються питання не тільки його енергоефективності, а ще й екологічності та можливості передавати енергію назад у електромережу. Тому, цей напрямок є актуальним і потребує подальшого дослідження.

У роботі розглянуто різноманітні конструкції запропонованих пристроїв та систем генерації електричної енергії. Вибрано конструкцію з електричною машиною обертового типу та мультиплікатором для використання, як енергогенеруючої плити на тротуарах та у місцях з значною густиною людського потоку. Запропоновано для використання на дорогах загального користування, штучну дорожню нерівність з функцією генерації електроенергії, що призначена для обмеження швидкості автотранспортних засобів, і, одночасно, генерації електричної енергії. Проведено кінематичний синтез триступеневого мультиплікатора енергогенеруючої плити, що забезпечило мінімізацію вартості його виробництва. Підключення двох крокових двигунів до електромашинного вузлу енергогенеруючої плити дає змогу підвищити значення генерованої електроенергії, у прямому напрямку дії, при використанні косозубих шестерень у мультиплікаторі на 47,3 %, а з прямозубими шестернями на 61,7%, у зворотному напрямку дії – на 54,5% і 72,3% відповідно. Визначено, що один крок на енергогенеруючу плиту, в середньому,

забезпечує генерацію, у прямому напрямку дії, при використанні косозубих шестерень у мультиплікаторі – 0,74 Вт електроенергії, а з прямозубими шестернями – 1,07 Вт електроенергії відповідно. Запропоновано спосіб активного балансування при заряді - розряді Li-ion АКБ, приведено його схемну реалізацію, описано конструкцію та принцип роботи. Використання запропонованого способу дозволяє спростити алгоритм роботи зарядно-балансуючого пристрою, поліпшити його схемну та конструктивну реалізацію, підвищити надійність і ККД його роботи, а також покращити співвідношення ціна-якість даного пристрою.

Проведено розробку автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури. Запропоновано дві моделі реалізації автономного джерела живлення – це з гібридним та автономним інверторами. Приведена схемна реалізація запропонованих моделей. Запропоновано метод та спосіб активного балансування Li-ion акумуляторних батарей під час їх заряду та розряду, що забезпечує заряд у два етапи, як від загального, так і від індивідуального джерела зарядного струму, причому, на другому етапі загальне джерело зарядного струму відключається.

Побудовано математичну модель методу, що описує енергетичний баланс потужності та враховує різні режими роботи автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури. Розроблені автономні джерела живлення розраховані на максимальна потужність з короткочасним навантаженнями до 3,5 кВт, 6 кВт або 11 кВт (залежно від характеристик інвертора) та мають ємність АКБ від 5 кВт·год до 50 кВт·год. Управління, моніторинг та калібрування комірок АКБ здійснюється встановленою BMS, що реалізує запропонований спосіб активного балансування при заряді - розряді Li-ion АКБ.

Проведено розрахунок генерації електроенергії фотоелектричними модулями потужністю 3 кВт, що працюють на заряд АКБ автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури.

Ґрунтуючись на аналізі результатів теоретичного та експериментального дослідження запропоновано удосконалення методу побудови систем енергозбереження та генерації електричної енергії на електричному автомобільному транспорті та його зарядній інфраструктурі. Це дозволяє враховувати ступінь перетворення різних видів енергії в електричну та ємнісні і індуктивні зв'язки між провідниками.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Вперше встановлено:

- розроблено науково-практичні методи енергозбереження та застосування енергоефективних технологій на електричному автомобільному транспорті та його зарядній інфраструктурі, які відрізняється від існуючих тим, що дозволяють впроваджувати ефективний розподіл балансу потужності за рахунок інтеграції в електричну систему поновлювальних автономних джерел електроживлення;

- розроблено метод визначення енергетичного балансу потужності, що враховує різні режими роботи автономного джерела живлення для електричного автомобільного транспорту та його зарядної інфраструктури.

Удосконалено:

- методи побудови систем енергозбереження та генерації електричної енергії на електричному автомобільному транспорті та його зарядній інфраструктурі, які дозволяють враховувати ступінь перетворення різних видів енергії в електричну та ємнісні й індуктивні зв'язки між провідниками цих систем;

Набув подальшого розвитку:

- метод активного балансування Li-ion акумуляторних батарей під час їх заряду та розряду, що забезпечує заряд у два етапи, як від загального, так і від індивідуального джерела зарядного струму, причому, на другому етапі загальне джерело зарядного струму відключається.

Дисертаційна робота має практичне значення, оскільки отримані результати дозволяють надати суб'єктам ринку, нові, прогресивні та ефективні

методи енергозбереження та генерації електричної енергії. Також, розроблено ефективну систему генерації електричної енергії, яка може використовуватися як малопотужне децентралізоване та поновлювальне джерело електроживлення.

Ключові слова: зарядна інфраструктура, електричні автотранспортні засоби, система генерації електроенергії, тягова акумуляторна батарея, електромобілі, сонячні батареї, фотоелектричні панелі, сонячні зарядні станції, автономні джерела живлення, енергогенеруюча плита, тяговий електричний двигун, енергозбереження, відновлювальні джерела енергії, альтернативні джерела енергії, літій-іонні АКБ, гібридний інвертор, автономний інвертор, мережева сонячна електростанція, фотомодулі, енергоефективність, електричний двигун, кроковий двигун.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Panchenko, A., Smyrnov, O., Nechaus, A., Trunova, I., Borysenko, A., Sokhin, P., & Bagach, R. (2021). Establishing patterns in the compatible electromagnetic and electromechanical transition processes when the starter is powered by a supercapacitor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(5), 111, p.19–25, DOI:10.15587/1729-4061.2021.232423 (Scopus, Quartiles – Q2);
2. Hnatov A.V., Arhun S.V., Hnatova H.A., & Sokhin P.A. (2021). Technical and economic calculation of a solar-powered charging station for electric vehicles. *Automobile Transport*, (49), 71-78. DOI: [10.30977/AT.2019-8342.2021.49.0.05](https://doi.org/10.30977/AT.2019-8342.2021.49.0.05);
3. Гнатів А. В., Аргун І. В., Гнатова Г. А., & Сохін П. А. (2022) Переобладнання автомобіля з ДВЗ в електромобіль. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (21), 1-9. DOI: [10.30977/VEIT.2022.21.0.1](https://doi.org/10.30977/VEIT.2022.21.0.1);
4. Borodenko Y. M., Hnatov A. V., Arhun S. V., & Sokhin P. A. (2023) Energy aspects of automobile transport development. *Automobile Transport*, (53), 37-50. DOI: [10.30977/AT.2219-8342.2023.53.0.05](https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2023.53.0.05);

5. Сохін П.А. (2023) Дослідження автономної сонячної електростанції для автокемпера. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (24), 6–14. DOI: 10.30977/VEIT.2023.24.0.1;

6. Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Сохін П. А., & Ульянець О. А. (2024) Дослідження автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури. *Вісник ХНАДУ*, (104), 130–139. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.104.1.130.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Гнатов А.В., Аргун Щ.В., Гнатова Г.А., & Сохін П.С. (2022) *Інтеграція кібер-фізичних систем у навчальний процес для спеціальностей транспортного спрямування*. «Комп’ютерні технології і мехатроніка» Збірка матеріалів IV Міжнародної науково-методичної конференції (Харків, 26 травня 2022 р.). Харків : ХНАДУ, 22-26;

8. Аргун Щ.В., Гнатов А.В., Сохін П.А., & Гнатова Г.А. (2022) *Переобладнання бензинового автомобіля в автомобіль з тяговим електродвигуном*. «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» СЕУТТОО-2022. Тринадцята Міжнародна науково-практична конференція (Херсон, 7-9 вересня 2022 р.). Херсон: ХДМА, 43-46;

9. Гнатов А.В., Аргун Щ.В., Гнатова Г.А., Сохін П.А., & Тарасов К.С. (2022) *Електропривод для електромобілів та гібридних автомобілів*. «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології» Збірка матеріалів VIII Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції (Харків, 21-22 листопада 2022 р.). Харків : ХНАДУ, 101-103;

10. Гнатов А.В., Теміров Т.Б. & Сохін П.А. (2023) *Дослідження тягового електроприводу для міського електромобіля на базі асинхронного двигуна*. «Новітні технології – для захисту повітряного простору»: тези доповідей XIX міжнародна наукова конференція Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба (Харків, 12-13 квітня 2023 р.). Харків: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 524;

11. Гнатов А. В., & Сохін П.А. *Енергоефективні та енергозберігаючі технології на транспорті*. «Світові тенденції ресурсозбереження на електричному транспорті» Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (Харків, 25-27 жовтня 2023 р.) Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 23-25;

12. Гнатов А.В., Сохін П.А., & Долгій М.О. (2023) *Дослідження обладнання автокемпера автономною сонячною електростанцією*. «Сучасні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців» Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції до Дня автомобіліста та дорожника (Харків, 23–25 жовтня 2023 р.). Харків : ХНАДУ, 238-242;

13. Гнатов А.В., Сохін П.А., & Ульянець О.А. (2023) *Спосіб балансування Li-ion акумуляторних батарей під час їх заряду та розряду*. «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» 15-а Міжнародна науково-практична конференція (Херсон, 13-15 березня 2024 р.). Херсон: ХДМА, 11-14.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

14. Мигаль, В., Аргун, Щ., Гнатов, А., Гнатова, Г., & Сохін, П. (2022). Інтелектуальне діагностування транспортних засобів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (22), 72–80. DOI: 10.30977/VEIT.2022.22.0.5;

15. Мигаль В.Д., Аргун, Щ. В., Гнатов, А. В., Гнатова, Г. А., & Сохін, П. А. (2023) Підвищення якості тягових електродвигунів для електротранспорту. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (23), С. 6–14. DOI:10.30977/VEIT.2023.23.0.1;

16. Аргун Щ. В., Гнатов А. В., & Сохін П. А. (2024) Ефективність енергогенеруючих плиток з різними типами мультиплікаторів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (23), 42–52. DOI:10.30977/VEIT.2024.25.0.5.

ABSTRACT

P. Sokhin Increasing the efficiency of the charging infrastructure of electric vehicles. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 274 - "Automotive transport". Kharkiv National Automobile and Road University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, 2024.

The dissertation is devoted to increasing the energy efficiency and environmental cleanliness of motor vehicles and their charging infrastructure through the development of devices and systems for energy saving and electricity generation using alternative renewable energy sources.

The relevance of the dissertation is determined by the need to solve the scientific and practical task of energy saving and the application of energy-efficient technologies on electric road transport and its charging infrastructure.

In 2022, the number of electric cars on Ukrainian roads increased by 56%. Therefore, there is an unceasing growth of electric automobile transport, both in Ukraine and throughout the world. In 2023, global sales of electric vehicles will increase by 31%. In 2024, global growth in electric vehicle sales is expected to reach 25% to 30%. And such dynamics of growth in the number of electric motor vehicles will be observed for at least the next decade.

The lack of effective methods of increasing the energy efficiency and environmental cleanliness of vehicles and their charging infrastructure slows down the transition to the latest energy-efficient mode of transport, which is completely environmentally friendly, does not produce polluting emissions into the environment, and contributes to the stable and sustainable operation of the power system in the event of various types of emergencies. situations, such as emergency shutdowns, damage to its elements and blackouts.

Based on the conducted theoretical and experimental studies, a new approach is proposed to solve the scientific and practical task of energy saving and the application of energy-efficient technologies on electric motor transport and its

charging infrastructure by integrating renewable autonomous power sources into the electrical system and effectively distributing the power balance in this power system.

The analysis of the scientific and technical literature regarding the development trend of modern energy-efficient motor vehicles showed that this type of transport is at the stage of its development and needs both improvement and the development of new solutions and methods that increase its energy efficiency. This is especially relevant for urban vehicles, where the issues of not only its energy efficiency, but also environmental friendliness and the ability to transfer energy back to the power grid are combined. Therefore, this direction is relevant and requires further research.

Various designs of the proposed devices and systems of electric energy generation are considered in the work. A design with a rotary-type electric machine and a multiplier was chosen for use as an energy-generating plate on sidewalks and in places with a significant density of human traffic. It is proposed for use on public roads, an artificial road bump with the function of generating electricity, which is intended to limit the speed of motor vehicles and, at the same time, generate electrical energy. The kinematic synthesis of the three-stage multiplier of the energy-generating plate was carried out, which ensured the minimization of the cost of its production. Connecting two stepping motors to the electric machine unit of the energy-generating plate makes it possible to increase the value of the generated electricity, in the forward direction of action, when using helical gears in the multiplier by 47.3%, and with spur gears by 61.7%, in the reverse direction of action - by 54.5% and 72.3%, respectively. It was determined that one step on the energy-generating plate, on average, provides generation, in the direct direction of action, when using helical gears in the multiplier - 0.74 W of electricity, and with spur gears - 1.07 W of electricity, respectively. A method of active balancing during charge-discharge of a Li-ion battery is proposed, its schematic implementation is given, the design and principle of operation are described. The use of the proposed method allows to simplify the algorithm of the charge-balancing device, to improve its schematic and structural implementation, to increase the reliability and efficiency of its operation, as well as to improve the price-quality ratio of this device.

An autonomous power source for electric vehicles and their charging infrastructure has been developed. Two models of implementation of an autonomous power source are proposed - with hybrid and autonomous inverters. A schematic implementation of the proposed models is given. A method and method of active balancing of Li-ion storage batteries during their charge and discharge is proposed, which provides a charge in two stages, both from a common and from an individual source of charging current, and in the second stage, the common source of charging current is turned off.

A mathematical model was built that describes the energy balance of power and takes into account different modes of operation of an autonomous power source for electric vehicles and their charging infrastructure. The developed autonomous power sources are designed for maximum power with short-term loads of up to 3.5 kW, 6 kW or 11 kW (depending on the characteristics of the inverter) and have a battery capacity from 5 kWh to 50 kWh. Management, monitoring and calibration of the battery cells is carried out by the installed BMS, which implements the proposed method of active balancing during charge-discharge of the Li-ion battery.

The calculation of electricity generation by photovoltaic modules with a total capacity of 3 kW, operating on the battery charge of an autonomous power source for electric vehicles and their charging infrastructure, was carried out.

Based on the analysis of the results of theoretical and experimental research, it is proposed to improve the method of building systems of energy saving and generation of electric energy on electric road transport and its charging infrastructure. This allows taking into account the degree of conversion of various types of energy into electrical and capacitive and inductive connections between conductors.

The scientific novelty of the obtained results consists in the following:

For the first time is established:

- scientific and practical methods of energy saving and the application of energy-efficient technologies on electric motor transport and its charging infrastructure have been developed, which differ from the existing ones in that they

allow implementing effective distribution of the power balance due to the integration into the electrical system of renewable autonomous power sources;

- a mathematical model was developed that describes the energy balance of power and takes into account different modes of operation of an autonomous power source for electric road transport and its charging infrastructure..

It's improved:

- methods of building systems of energy saving and generation of electric energy on electric road transport and its charging infrastructure, which allow taking into account the degree of conversion of various types of energy into electric and capacitive and inductive connections between the conductors of these systems.

It's acquired further development:

- a method of active balancing of Li-ion batteries during their charge and discharge, which provides charging in two stages, both from the common and from the individual source of charging current, and in the second stage, the common source of charging current is turned off.

The dissertation work is of practical importance, as the obtained results allow to provide market subjects with new, progressive and effective methods of energy saving and generation of electrical energy. Also, an effective system of electric energy generation has been developed, which can be used as a low-power decentralized and renewable power source.

Keywords: charging infrastructure, electric vehicles, power generation system, traction battery, electric cars, solar cells, photovoltaic panels, solar charging stations, autonomous power sources, power generating stove, traction electric motor, energy saving, renewable energy sources, alternative energy sources, Li-ion batteries, hybrid inverter, autonomous inverter, grid solar power plant, photo modules, energy efficiency, electric motor, stepper motor

LIST OF THE PUBLICATIONS OF THE ACQUIRER

Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published:

1. Panchenko, A., Smyrnov, O., Nechaus, A., Trunova, I., Borysenko, A., Sokhin, P., & Bagach, R. (2021). Establishing patterns in the compatible electromagnetic and electromechanical transition processes when the starter is powered by a supercapacitor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(5), 111, p.19–25, DOI:10.15587/1729-4061.2021.232423 (Scopus, Quartiles – Q2);
2. Hnatov A.V., Arhun S.V., Hnatova H.A., & Sokhin P.A. (2021). Technical and economic calculation of a solar-powered charging station for electric vehicles. *Automobile Transport*, (49), 71-78. DOI: [10.30977/AT.2019-8342.2021.49.0.05](https://doi.org/10.30977/AT.2019-8342.2021.49.0.05);
3. Hnatov, A. V., Arhun, Shch. V., Hnatova, H. A., & Sokhin, P. A. (2022). Pereobladnannia avtomobilia z DVZ v elektromobil. [Conversion of a car from an ICE into an electric car.] *Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnolohii*, (21), 22–30. DOI:10.30977/VEIT.2022.21.0.1;
4. Borodenko Y. M., Hnatov A. V., Arhun S. V., & Sokhin P. A. (2023) Energy aspects of automobile transport development. *Automobile Transport*, (53), 37-50. DOI: [10.30977/AT.2219-8342.2023.53.0.05](https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2023.53.0.05);
5. Sokhin, P. A. (2023) Doslidzhennia avtonomnoi soniachnoi elektrostantsii dlia avtokempera. [Study of an autonomous solar power plant for a motorhome.] *Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnolohii*, (24), 6–14. DOI: [10.30977/VEIT.2023.24.0.1](https://doi.org/10.30977/VEIT.2023.24.0.1);
6. Hnatov A. V., Arhun S. V., Sokhin, P. A., & Ulianets O. A. (2024) Doslidzhennia avtonomnoho dzherela zhyvlennia dlia elektromobiliv ta yikh zariadnoi infrastruktury. [Research of an autonomous power source for electric vehicles and their charging infrastructure.] *Visnyk KhNADU*, (104), 130–139. DOI: [10.30977/BUL.2219-5548.2024.104.1.130](https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2024.104.1.130).

Scientific works certifying the approval of the dissertation materials:

7. Hnatov A.V., Arhun S.V., Hnatova H.A. & Sokhin P.S. (2022) *Intehratsiia kiber-fizychnykh system u navchalnyi protses dlia spetsialnostei transportnoho spriamuvannia*. [Integration of cyber-physical systems into the educational process for transport majors.] «Kompiuterni tekhnolohii i mekhatronika» Zbirka materialiv

IV Mizhnarodnoi naukovo-metodychnoi konferentsii (Kharkiv, 26 travnia 2022 r.). Kharkiv : KhNADU, 22-26;

8. Arhun S.V., Hnatov A.V., Sokhin P.A., & Hnatova H.A. (2022) *Pereobladnannia benzynovoho avtomobilia v avtomobil z tiahovym elektrodyhunom*. [Conversion of a gasoline car into a car with a traction electric motor.] «Suchasni enerhetychni ustanovky na transporti i tekhnolohii ta obladnannia dlia yikh obsluhovuvannia» SEUTTOO-2022. Trynadtsiata Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia (Kherson, 7-9 veresnia 2022 r.). Kherson: KhDMA, 43-46;

9. Hnatov A.V., Arhun S.V., Hnatova H.A., Sokhin P.A., & Tarasov K.S. (2022) *Elektropryvod dlia elektromobiliv ta hibrydnykh avtomobiliv*. [Electric drive for electric cars and hybrid cars.] «Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnolohii» Zbirka materialiv VIII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi Internet-konferentsii (Kharkiv, 21-22 lystopada 2022 r.). Kharkiv : KhNADU, 101-103;

10. Hnatov A.V., Temirov T.B., & Sokhin P.A. (2023) *Doslidzhennia tiahovoho elektropryvodu dlia miskoho elektromobilia na bazi asynkhronnoho dvyhuna*. [Study of traction electric drive for a city electric vehicle based on an asynchronous motor.] «Novitni tekhnolohii – dlia zakhystu povitrianoho prostoru»: tezy dopovidei XIX mizhnarodna naukova konferentsiia Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl imeni Ivana Kozheduba (Kharkiv, 12 – 13 kvitnia 2023 r.). Kharkiv: KhNUPS im. I. Kozheduba, 524;

11. Hnatov A. V., & Sokhin P.A. *Enerhoefektyvni ta enerhozberihaiuchi tekhnolohii na transporti*. [Energy-efficient and energy-saving technologies in transport.] «Svitovi tendentsii resursozberezhennia na elektrychnomu transporti» Materialy Vseukr. nauk.-prakt. konf. (Kharkiv, 25–27 zhovtnia 2023 r.) Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova, 23-25;

12. Hnatov A.V., Sokhin P.A., & Dolhii M.O. (2023) *Doslidzhennia obladnannia avtokempera avtonomnoiu soniachnoiu elektrostantsiieiu*. [Study of motorhome equipment with an autonomous solar power plant.] «Suchasni tekhnolohii v avtomobilebuduvanni, transporti ta pry pidhotovtsi fakhivtsiv» Materialy

Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii do Dnia avtomobilista ta dorozhnyka (Kharkiv, 23–25 zhovtnia 2023 r.). Kharkiv : KhNADU, 238-242;

13. Hnatov A.V., Sokhin P.A., & Ulianets O.A. (2023) *Sposib balansuvannia Li-ion akumuliatornykh batarei pid chas yikh zariadu ta rozriadu*. [The method of balancing Li-ion rechargeable batteries during their charge and discharge] «Suchasni enerhetychni ustanovky na transporti i tekhnolohii ta obladnannia dlia yikh obsluhovuvannia» 15-a Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia (Kherson, 13-15 bereznia 2024 r.). Kherson: KhDMA, 11-14.

Scientific works that additionally reflect the scientific results of the dissertation:

14. Myhal, V., Arhun, S., Hnatov, A., Hnatova, H., & Sokhin, P. (2022). Intelktualne diahnostuvannia transportnykh zasobiv. [Intelligent diagnosis of vehicles.] *Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnolohii*, (22), 72–80. DOI:10.30977/VEIT.2022.22.0.5;

15. Myhal V.D., Arhun, S. V., Hnatov, A. V., Hnatova, H. A., & Sokhin, P. A. (2023) Pidvyshchennia yakosti tiahovykh elektrodvyhuniv dlia elektrotransportu. [Improving the quality of traction electric motors for electric transport.] *Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnolohii*, (23), S. 6–14. DOI:10.30977/VEIT.2023.23.0.1;

16. Arhun S. V., Hnatov A. V., Sokhin P. A. (2024) Efektyvnist enerhoheneruiuchykh plytok z riznymi typamy multiplyikatoriv. [Efficiency of energy generating tiles with different types of multipliers] *Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnolohii*, (25), 42–52. DOI:10.30977/VEIT.2024.25.0.5.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень	18
Вступ.....	19
Розділ 1 Тенденції розвитку сучасного енергоефективного автомобільного транспорту.....	26
1.1 Основні напрямки розвитку автомобільного транспорту	26
1.2 Електропривод автомобіля та його структура	38
1.3 Перетворювачі напруги в електротранспорті та його зарядній інфраструктурі	49
Висновки по розділу 1	51
Розділ 2 Пристрої та системи генерації електричної енергії для електротранспорту та його зарядної інфраструктури	52
2.1 Вентильні електричні машини в автотранспорті та його зарядній інфраструктурі	52
2.2 Будова пристроїв та систем генерації електричної енергії.....	65
2.3 Особливості роботи енергогенеруючої плити	71
2.4 Аналіз схемних рішень.....	76
2.5 Штучна дорожня нерівність з функцією генерації електроенергії	77
Висновки по розділу 2	80
Розділ 3 Розробка та практичне дослідження енергогенеруючої плити для транспорту та його зарядної інфраструктури	82
3.1 Конструкція енергогенеруючої плити для транспорту	82
3.2 Експериментальні дослідження енергогенеруючої плити та мультиплікатором з косозубими шестернями.....	88
3.3 Експериментальні дослідження енергогенеруючої плити та мультиплікатором з прямозубими шестернями.....	95
Висновки по розділу 3	102
Розділ 4 Автономні джерела живлення для електричного транспорту та його зарядної інфраструктури.....	105

4.1 Спосіб активного балансування при заряді - розряді Li-ion АКБ.....	105
4.2 Конструкція та принцип роботи системи активного балансування при заряді - розряді Li-ion АКБ.....	107
4.3 Автономне джерело живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури.....	111
4.4 Дослідження основних електричних параметрів при роботі автономного джерела живлення	119
4.5 Розроблені зразки автономних джерел живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури	128
Висновки по розділу 4	136
Висновки	138
Список використаних джерел	Помилка! Закладку не визначено.
Додаток А Гібридні силові установки автомобілів та їх структура	152
Додаток Б Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дослідження.....	156
Додаток В Акти впровадження.....	159
Додаток Технічні креслення системи.....	163

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АКБ – акумуляторні батареї;
АТЗ – автотранспортні засоби;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
ЕП – електропривод;
ТЕП – тяговий електропривод;
ВЕД – вентильний електродвигун;
ДПС – двигун постійного струму;
ЕД – електродвигун;
ТЕД – тяговий електродвигун;
АД – асинхронний двигун;
СД – синхронний двигун;
АДКР – асинхронний двигун з короткозамкненим ротором;
СДОЗ – синхронний двигун з обмоткою збудження;
ДКПР – датчик кутового положення ротора;
ДМЗС – датчик миттєвих значень струмів;
АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
КЕМ – контролер електричної машини;
ДПР – датчик положення ротора;
ДПА – датчик положення педалі акселератора;
ДПГ – датчик положення педалі гальма;
ГСУ – гібридна силова установка;
ДВЗ – двигун внутрішнього згорання;
ТАБ – тягова акумуляторна батарея;
ЕПЛ – енергогенеруюча плита;
КД – кроковий двигун;
BMS – Battery Managment System;
ЕРС – електрорушійна сила.

ВСТУП

Питання щодо виробництва електроенергії власними джерелами, які, наразі, не забезпечують і половини потреб в електроспоживанні, є ключовим для України. Використання поновлювальних, альтернативних джерел енергії відкриває один із шляхів вирішення проблеми енергетичної безпеки у нашій країні.

В Україні існують різноманітні альтернативні джерела енергії, зокрема сонячна, біомасивна, вітрова та гідроенергія. Останнім часом, завдяки прийнятим законодавчим актам, в Україні активно розвиваються проекти з використання відновлюваних джерел енергії. Закон України "Про внесення змін стосовно встановлення "зеленого тарифу" був прийнятий у вересні 2008 року. Термін "зелений тариф" вказує на підвищений тариф, за яким держава закуповує електроенергію у підприємств та приватних домогосподарств, що виробляють її з використанням поновлюваних джерел енергії. Це стимулює розвиток альтернативних, поновлювальних джерел енергії і, відповідно, технологій пов'язаних з їх застосуванням. Особливо це відчутно в транспортній сфері, де енергоефективний, екологічний вид автомобільного транспорту, а саме, гібридні автомобілі та електромобілі, стрімко набуває популярності. Це, безпосередньо, відноситься і до України, де за останніми статистичними даними, всього за весь 2023 р. ринок України виріс на 37,6 тис. авто з нульовим рівнем викидів, або у 2,8 рази порівняно з 2022 р. (за даними Економічної правди від 9 січня 2024 р.). За 2022 р. кількість електричних автотранспортних засобів (АТЗ) в Україні збільшилася на 56%. Отже, спостерігається невинне зростання електричного автомобільного транспорту, причому, як в Україні, так і у всьому світі. У 2023 р. продажі електричних АТЗ у світі зросли на 31%. Очікується, що у 2024 р. глобальне зростання продажів електромобілів становитиме від 25% до 30%. Також слід зазначити, що вперше у світі найбільш продаваним автомобілем у 2023 р. став електромобіль Tesla Model Y, яких було продано 1,23 млн. (за даними JATO Dynamics, січень 2024 р.).

Актуальність теми. Актуальність теми визначається тим, що при сучасному розвитку автомобільного парку електричних АТЗ, все більш нагальним стає питання щодо розбудови їх зарядної інфраструктури. При використанні даного виду транспорту у містах, найбільшій актуальності набувають вимоги щодо екологічності, енергоефективності, безпеки та зручності експлуатації даного обладнання. Проведений аналіз науково-технічної літератури та експериментальних досліджень щодо розбудови зарядної інфраструктури для електричного автомобільного транспорту показали, що на цей час відсутня ефективна методика щодо підвищення ефективності роботи елементів цієї інфраструктури особливо в умовах коли наявне обмеження в електропостачанні та нестачі електроенергії.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі автомобільної електроніки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Робота виконана відповідно Закону України № 3715-VI від 08.09.2011р. «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», Розпорядженню від 30.05.2018р. № 430-р м. Київ «Про схвалення національної транспортної стратегії України на період до 2030 р.» і є складовою частиною науково-дослідної роботи кафедри автомобільної електроніки. Наукові положення, розробки, висновки і рекомендації сформульовані в дисертації, використані при виконанні держбюджетної роботи Міністерства освіти і науки України «Розробка комбінованої енергетичної установки на базі пневмодвигуна з використанням поновлювальних джерел енергії для міського автотранспорту» (2021-2022рр. Номер державної реєстрації: 0121U109611).

Мета і завдання дослідження. Підвищення енергоефективності та екологічної чистоти автотранспортних засобів та їх зарядної інфраструктури шляхом розробки пристроїв і систем енергозбереження та генерації електроенергії з використанням альтернативних поновлюваних джерел енергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- виконати теоретичні дослідження тенденцій розвитку сучасного енергоефективного автомобільного транспорту;
- провести дослідження щодо принципу дії та особливостей конструкції пристроїв та системи генерації електричної енергії для електричного автомобільного транспорту та його зарядної інфраструктури;
- виконати розробку та провести практичне дослідження енергогенеруючої плити для електричного автомобільного транспорту та його зарядної інфраструктури;
- виконати розробку та дослідити роботу автономних джерел живлення для електричного автомобільного транспорту та його зарядної інфраструктури, запропонувати спосіб активного балансування при заряді-розряді Li-ion АКБ.

Об'єкт дослідження. Процес перетворення різних видів енергії в електричну для електричного автомобільного транспорту та його зарядної інфраструктури.

Предмет дослідження. Підвищення ефективності роботи зарядної інфраструктури електричних автотранспортних засобів.

Методи дослідження. При вирішенні завдань використані сучасні математичні методи розв'язання диференціальних рівнянь та статистичної обробки даних, основні положення теоретичних основ електротехніки, теорії електроприводу та електричних машин. Експериментальні дослідження реалізовано з використанням діагностично-вимірювального комплексу, адаптованого для визначення основних електричних характеристик пристроїв та системи генерації електричної енергії для автомобільного транспорту та його зарядної інфраструктури. Для визначення ефективної працездатності функціональних систем автономного джерела живлення та пристроїв і системи генерації електричної енергії застосовано методи натурних випробувань.

Наукова новизна отриманих результатів. Основні наукові результати, які виносяться на захист.

Вперше встановлено:

- розроблено науково-практичні методи енергозбереження та застосування енергоефективних технологій на електричному автомобільному транспорті та його зарядній інфраструктурі, які відрізняється від існуючих тим, що дозволяють впроваджувати ефективний розподіл балансу потужності за рахунок інтеграції в електричну систему поновлювальних автономних джерел електроживлення;

- розроблено метод визначення енергетичного балансу потужності, що враховує різні режими роботи автономного джерела живлення для електричного автомобільного транспорту та його зарядної інфраструктури.

Удосконалено:

- методи побудови систем енергозбереження та генерації електричної енергії на електричному автомобільному транспорті та його зарядній інфраструктурі, які дозволяють враховувати ступінь перетворення різних видів енергії в електричну та ємнісні й індуктивні зв'язки між провідниками цих систем.

Набув подальшого розвитку:

- метод активного балансування Li-ion акумуляторних батарей під час їх заряду та розряду, що забезпечує заряд у два етапи, як від загального, так і від індивідуального джерела зарядного струму, причому, на другому етапі загальне джерело зарядного струму відключається.

Практичне значення отриманих результатів. Робота має теоретичне та практичне значення, оскільки результати проведених досліджень формують основи науково-практичного напрямку енергозбереження та застосування енергоефективних технологій на електричному транспорті та його зарядній інфраструктурі. Практична цінність отриманих результатів полягає у наданні суб'єктам ринку, нових, прогресивних та ефективних методів щодо енергозбереження та генерації електричної енергії, зокрема, розроблену та ефективно діючу систему генерації електричної енергії, яка може бути використана як малопотужне децентралізоване поновлювальне джерело електроживлення. Також, запропоновано та розроблено декілька варіантів автономного джерела живлення для електричних АТЗ та їх зарядної інфраструктури, яке може отримувати

енергію від фотоелектричних модулів. Запропоновані в роботі розрахункові співвідношення можуть бути використані при визначенні електрорушійної сили в зарядному контурі систем живлення електромобілів.

Основні наукові положення дисертаційної роботи використані:

- у навчальному процесі ХНАДУ при підготовці бакалаврів та магістрів за освітньо-професійними програмами «Електромобілі та автомобільна електроніка» та «Електромобілі та енергозберігаючі технології»;
- у діяльність компанії «Elcars» використовуються науково-практичні методи енергозбереження та застосування енергоефективних технологій на електричному автомобільному транспорті та його зарядній інфраструктурі та метод активного балансування Li-ion акумуляторних батарей під час їх заряду та розряду;
- у ТОВ «АРТСІТІ» методи побудови систем енергозбереження та генерації електричної енергії на електричному автомобільному транспорті та його зарядній інфраструктурі;
- у ТОВ «АКУТЕК» методи побудови систем енергозбереження та генерації електричної енергії на електричному автомобільному транспорті та його зарядній інфраструктурі, а також метод активного балансування Li-ion акумуляторних батарей під час їх заряду та розряду.

Перелік актів про впровадження результатів дослідження наведено у додатку В.

Особистий внесок здобувача. Результати, які виносяться на захист, отримані автором самостійно та викладено в роботах [1–13]. У роботах, опублікованих у співавторстві, авторів належать: математичне моделювання електромагнітних та електромеханічних перехідних процесів, що відбуваються у статорі при його живленні від блоку суперконденсаторів [1]; техніко-економічний розрахунок генерації електроенергії сонячною зарядною станцією як для власного споживання, так і для живлення електромобілів та продажу у загальну мережу за «зеленим тарифом» [2]; складено математичну модель та проведено розрахунок потужності тягового електродвигуна для переобладнання автомобіля з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ) в

електромобіль [3, 8]; запропоновано та реалізовано комплексний підхід до оцінки ефективності використання альтернативних видів енергії на автомобільному транспорті, з боку енергетичних, економічних та екологічних показників [4]; розроблено математичну модель, що описує різні режими роботи автономних джерел живлення, та проведено аналіз ефективності використання комірок Li-ion батарей для автономних джерел живлення електромобілів та їх зарядної інфраструктури [6]; у магістерську програму подвійних дипломів між РТУ та ХНАДУ «Електромобілі та енергозберігаючі технології» в дисципліну «Електричні системи екологічно чистих АТЗ» впроваджено методи побудови систем енергозбереження та генерації електричної енергії на електричному автомобільному транспорті та його зарядній інфраструктурі [7, 11]; визначення динамічних характеристик тягового електроприводу електромобіля на базі асинхронного двигуна [9, 10]; розрахунок генерації електроенергії автономною сонячною електростанцією [12]; спосіб балансування Li-ion акумуляторних батарей під час їх заряду та розряду [13].

Апробація результатів дисертації. Дисертаційна робота обговорена на міжкафедральному семінарі, який було проведено на кафедрі автомобільної електроніки ХНАДУ. Основні положення і результати теоретичних та експериментальних досліджень доповідалися, обговорювалися і отримали позитивну оцінку на наступних науково-технічних конференціях:

- IV міжнародна науково-методична конференція «Комп’ютерні технології і мехатроніка» (м. Харків, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, 26 травня 2022 р., форма участі - очна);

- 13-а, 14-а, 15-а Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» СЕУТТОО (м. Херсон, Херсонська державна морська академія, Україна: 07 - 09 вересня 2022 р.; 16 - 18 березня 2023 р.; 13 - 15 березня 2024 р., форма участі - заочна);

- VIII Міжнародна науково-технічна Інтернет-конференція «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології» (м. Харків, Харківський національний

автомобільно-дорожній університет, Україна, 21 – 22 листопада 2022 р., форма участі - очна);

– XIX міжнародна наукова конференція Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба “Новітні технології – для захисту повітряного простору” (м. Харків, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна, 12 – 13 квітня 2023р., форма участі - заочна);

– Всеукраїнська науково-практична конференція «Світові тенденції ресурсозбереження на електричному транспорті» (м. Харків, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Україна, 25 – 27 жовтня 2023 р., форма участі - очна);

– Міжнародна науково-практична конференція до Дня автомобіліста та дорожника «Сучасні технології в автомобілебудуванні, транспорті та підготовці фахівців» (м. Харків, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, 23 – 25 жовтня 2023 р., форма участі – очна);

– Міжнародна науково-практична конференція «Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії» (м. Харків, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, 11 – 12 березня 2024 р., форма участі – очна).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані у 13 наукових роботах, у тому числі: 6 статей у наукових фахових виданнях України та інших держав (з них 1 – у виданнях, що включені до наукометричної бази Scopus (Quartiles – Q2)); 7 тез доповідей у збірниках доповідей на наукових конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 165 сторінок, у тому числі 4 додатків на 14 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації становить 121 сторінок. Робота ілюстрована 68 рисунками та містить 6 таблиць. Список використаних джерел нараховує 91 найменувань на 11 сторінках.

Розділ 1

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СУЧАСНОГО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО
АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

1.1 Основні напрямки розвитку автомобільного транспорту

Підвищення економічності та екологічності автотранспортних засобів (АТЗ) – це одне з основних завдань, що виникає при їх розробці та вдосконаленні. У широкому розумінні, під паливом мають на увазі енергоносії, які використовуються для роботи силової установки автомобіля [1, 3, 4, 8-10, 14-16].

Енергоносії, що використовуються як паливо для автомобільного транспорту знаходяться у надрах землі, на її поверхні, в атмосферному повітрі і навіть у космосі, а деякі існують у різних речовинах та станах. Наприклад, водень міститься в різних хімічних сполуках як під землею, так і на поверхні, а також в самій атмосфері.

Витратами на отримання і транспортування палива, а також ККД при його виробництві визначають ефективність його використання. При цьому, особлива увага приділяється відновлюваним джерелам енергії. Важливо розуміти, що будь-який продукт, отриманий в результаті фазового переходу речовини, матиме меншу щільність енергії, ніж той, що отриманий за участю хімічних реакцій. У свою чергу, продукти, що виникають внаслідок хімічних реакцій, матимуть меншу енергетичну щільність, ніж ті, які були утворені за рахунок ядерних перетворювань [4, 17].

Ведучі виробники автомобілів активно здійснюють дослідження та розробляють різноманітні концепції автомобілів. У цьому контексті можна виділити три основні напрямки розвитку силових установок, які працюють на альтернативних видах палива, рисунок 1.1.

Перший напрямок включає в себе модифікацію конструкції теплових двигунів відповідно до альтернативного рідкого чи газоподібного палива.

Важливою перевагою цього підходу є мінімальні витрати на переробку двигуна і виробництво палива. В оцінці ефективності використання альтернативного палива, в даному випадку, враховуються кілька параметрів, які визначаються нижче переліченими показниками:

- екологічною безпекою (кількість шкідливих речовин);
- витратами на виробництво;
- енергоємністю палива (теплова енергія);
- ефективністю використання (ККД двигуна);
- витратами на модифікацію двигуна та додаткове обладнання;
- витратами на об'єкти інфраструктури.

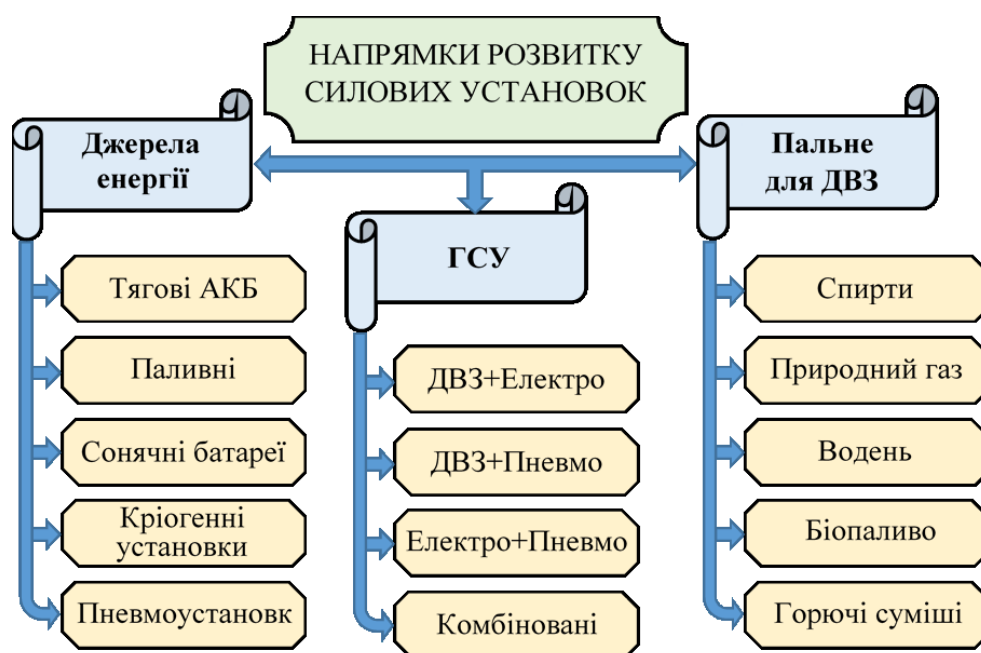


Рисунок 1.1 – Основні напрямки розвитку силових установок АТЗ

Другий напрямок полягає у використанні двигунів, які працюють від альтернативного палива. Наприклад, сучасні розробки включають АТЗ з використанням електрохімічних гальванічних, пневматичних, сонячних, азотних, водневих і навіть ядерних джерел енергії. Однак недоліком цього підходу є значні витрати на розробку силової установки та технологій використання цих джерел енергії. Крім того, показники питомої енергії і

вартості виробництва альтернативного палива суттєво відстають від традиційного рідкого вуглеводневого палива (бензин та дизельне паливо). Так, 0,085 л рідкого вуглеводневого палива за теплотворністю еквівалентний витратам електричної енергії в 1 кВт·год).

Один з компромісних варіантів полягає в поєднанні зазначених напрямків для створення гібридних автомобілів. Характеристиками гібридних силових установок (ГСУ) є:

- основний і допоміжний двигуни;
- джерело (накопичувач) енергії;
- перетворювачі енергії;
- система рекуперації під час гальмування.

Управління параметрами силових агрегатів ГСУ за їхніми номінальними показниками реалізується електронною системою розподілу потужності.

Важливо зазначити, що застосування в структурі ГСУ ДВЗ і електроприводу не є єдиним доцільним варіантом. У залежності від конкретних вимог до АТЗ та умов його експлуатації може бути доречним використання, наприклад, пневматичного приводу, де пневматичний агрегат виступає як основний або допоміжний двигун. Розглянемо детальніше кожен альтернативу та визначимо інновації з точки зору економічної ефективності та екологічної безпеки.

Для автомобілів, що використовують ДВЗ, третім за популярністю, після бензину і дизельного палива, є природний газ. Цей газ зберігається у спеціальних балонах у зрідженому стані. Природний газ видобувається з різних геологічних формацій у надрах землі, включаючи традиційні (газові родовища, супутні газові витіки при видобутку нафти) і нетрадиційні (вугільний, бітумний, сланцевий) джерела. Методи видобутку і об'єми природного газу визначають його вартість [4, 18].

Основну частину природного газу складає метан (CH_4) – від 70 до 98 %. До складу газу можуть входити більш важкі вуглеводні: етан (C_2H_6), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}), пентан (C_5H_{12}).

Як паливо для автомобіля використовують стиснений під тиском 20 МПа метан і зріджений, під тиском 1,5 МПа, пропан (пропан-бутанові суміші).

Загальні переваги газового палива:

- більш низька ціна, щодо бензину;
- екологічна безпека;
- збільшення пробігу на одному об'ємі балонного палива;
- менший знос деталей конвертованих двигунів.

Загальні недоліки газового палива:

- відносний дефіцит інфраструктурних об'єктів;
- зниження потужності і підвищений знос деталей двигунів.

Різні щільності і тиски метану та пропану грають важливу роль у розгляді переваг і недоліків їх використання як автомобільного палива. Устаткування для переобладнання автомобіля на газове паливо для пропану коштує на 70% менше, ніж для метану, але вартість заправки є вищою. За тим же об'ємом, балони з пропаном важать значно менше, ніж балони з стисненим метаном, і ємність скрапленого пропану забезпечує втричі більший пробіг, ніж метан. Втрата потужності ДВЗ для пропану становить 5%, тоді як для метану цей показник складає 20%. Щодо екологічних характеристик, пропан відстає від метану. Метан менше вибухонебезпечний, обладнання для заправки метану простіше, але, з іншого боку, мережа заправок метаном менш розвинена.

Важливо відзначити, що на автомобільному транспорті спостерігається тенденція до використання скрапленого метану. Ця технологія, з одного боку, дозволяє підвищити енергетичну щільність палива, а з іншого боку, вимагає значних енерговитрат, оскільки скраплений метан отримують шляхом охолодження газу до -160°C . При цьому для зберігання його необхідно використовувати спеціальні криогенні ємності на заправних станціях та балони на автомобільному транспорті (дивись рисунок 1.2).

Для подачі палива в циліндри ДВЗ використовується двоетапне зниження тиску – у випарнику і редукторі. Застосування рідкого метану як екологічного палива виправдано при його оперативному використанні на фіксованих

відстанях. Наприклад, бак об'ємом 320 л забезпечує запас ходу автобуса на відстань близько 400 км. Спиртові види палива (етанол, метанол, бутанол) та їх суміші характеризуються високими теплотворними показниками.



а

б

а – автобус Irizar i4; б – криогенний газовий балон AUYAN LNG

Рисунок 1.2 – Балони для скрапленого метану

Етанол виробляється шляхом зброджування і дистиляції зернових продуктів. Етанол, так само як і інші спирти, може бути змішаний з бензином для отримання палива з вищим октановим числом і меншим викидами шкідливих речовин у порівнянні з чистим бензином. Якщо вміст етанолу у суміші з викопним паливом становить не менше 85%, то таку суміш вважають альтернативним паливом. Суміші з низьким вмістом етанолу розглядають як викопне паливо з додаванням присадки.

Біоетанол – це етиловий спирт, який виробляється з рослинної сировини у процесі переробки (біопаливо). Він може бути використаний у суміші з бензином або дизельним паливом в більшості автомобілів. Використання біоетанолу має сенс для поліпшення екологічної безпеки, оскільки викиди вуглекислого газу, що виникають при його спалюванні, компенсуються газами, які поглинаються під час його виробництва. Однак недоліком є підвищена витрата палива.

Метанол може служити альтернативним видом палива для АТЗ з модифікованими двигунами (суміш метанолу - 85% і бензину - 15%). На

сьогодні метанол має обмежене використання, як паливо для АТЗ, але в майбутньому його можна буде використовувати як джерело водню для роботи паливних елементів.

Аміак, також відомий як нашатирний спирт, представляє собою сполуку водню і азоту. Його енергетична щільність низька (вдвічі менше, ніж у бензину), але виробництво аміаку є більш економічним порівняно з іншими спиртами. Використовується як паливо для поршневих двигунів та в паливних елементах. Аміак не містить вуглецю, що призводить до нульових викидів вуглекислого газу. Однак його обмеження в застосуванні пов'язані з питаннями безпеки зберігання і транспортування. На транспорті використовується змішане паливо, яке складається на 70% з аміаку і на 30% з бензину.

Біодизельне паливо, отримане з рослинних масел (зокрема, ріпакового), тваринних жирів або ліпідів мікроводоростей, є пальним, яке виробляється на основі біологічних джерел. Промислове виробництво біодизельного палива вартує більше, ніж отримання дизельного палива з нафти. Це паливо є безпечним, піддається біохімічному розкладу і сприяє зниженню викидів шкідливих речовин в атмосферу, таких як тверді частки, монооксид вуглецю та вуглеводні. Використовується як в чистому вигляді (для модифікованих ДВЗ), так і в якості додаткового компонента до вуглеводного дизельного.

Водневе паливо, що представляє собою альтернативу вуглеводневому паливу, має триразову вищу питому теплоту згоряння порівняно з бензином і не викидає шкідливих речовин під час згорання. Це паливо вважається відновлюваним, оскільки воно виробляється з води і після згорання переходить у конденсат води. Однак виробництво водню є значно дорожчим порівняно з бензином, особливо у відношенні енерговитрат. Крім того, зберігання водню під тиском має вибухонебезпечний характер. Використання водню як монопалива для модифікованого двигуна знижує його потужність до 70%. У модифікованому двигуні потужність можна підняти до 117%, але це супроводжується викидами окисів азоту та скороченням ресурсу двигуна.

Компромісним вирішенням можуть бути суміші традиційного палива з воднем для поліпшення спалювання бідних сумішей.

Багатокомпонентні горючі суміші включають етанол, газоконденсатну рідину і допоміжний розчинник, отриманий з біомаси. Вони мають високе октанове число і можуть використовуватися в універсальних пальних системах АТЗ як у чистому вигляді, так і у суміші з бензином в будь-якому співвідношенні. Важливо відзначити, що всі види альтернативних горючих палив є не відновлювальними енергоносіями.

Щодо третього напрямку розвитку, надамо короткий огляд силових установок автомобілів із використанням альтернативних джерел енергії.

Електрична енергія використовується для автомобілів, які живляться від тягових акумуляторів (ТАБ) або працюють на паливних елементах. У першому випадку розробка електромобіля породжує ряд специфічних питань, пов'язаних із забезпеченням необхідних параметрів ТАБ та потужності електроприводу; розташуванням ТАБ в автомобілі; використанням системи рекуперації енергії та системи термоменеджменту; підтриманням експлуатаційних характеристик силової установки [3, 4, 6 - 8, 11, 17].

Головною обставиною, що уповільнює розвиток автомобілів з електроприводом, є низька енергоефективність тягових акумуляторів. Наприклад, найкращі літій-іонні акумулятори мають питому енергію до 0,4 МДж/кг, тоді як для бензину цей показник становить близько 40 МДж/кг. Навіть при урахуванні меншого ККД (в три рази) та можливості відновлення енергії під час гальмування, потрібна АКБ вагою біля тони, щоб замінити 40-літровий бензобак.

Отже, серед недоліків використання електроприводу на автотранспорті можна відзначити високі витрати та обмежений термін служби тягових акумуляторів, необхідність тривалої процедури зарядки та обмежений ресурс автономного ходу. У той же час, експлуатаційні витрати на утримання електромобіля залишаються нижчими, ніж у транспортного засобу з ДВЗ [19].

У паливному елементі відбувається електрохімічна реакція між воднем та киснем, і процес зворотного електролізу відбувається за участю каталізаторів. Ця реакція породжує різницю електричних потенціалів між електродами елемента, супроводжується виділенням тепла та утворенням води. Для виробництва електроенергії в автомобілях водень зберігається в паливному баку, а кисень надходить з зовні. На сьогодні багато провідних автовиробників працюють над створенням автомобілів з використанням паливних елементів. Наприклад, водневий автомобіль, збудований на основі електромобіля з переднім приводом Mirai від Toyota, оснащений електродвигуном потужністю 112 кВт і обладнаний паливною установкою, яка містить 5 кг водню в баках (120 літрів під тиском 70 МПа), що забезпечує запас ходу приблизно 400 км (дивись рисунок 1.3).

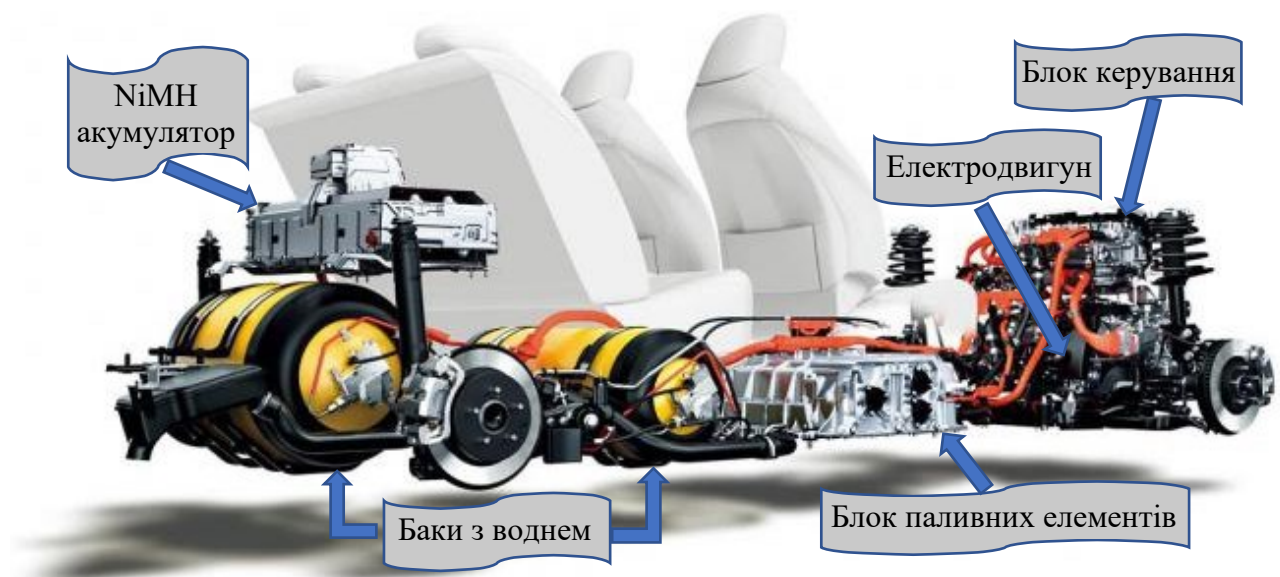
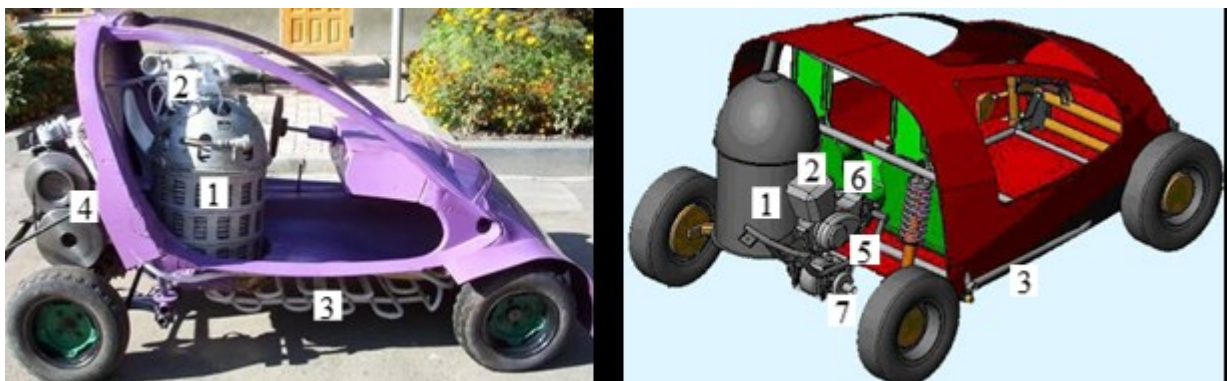


Рисунок 1.3 – Структура водневого автомобіля Toyota Mirai

Заправка воднем для цього автомобіля займає 3 хв. Енергетичний блок включає 370 постійних струмових водневих паливних елементів і інвертор, який підвищує напругу до рівня 650 В. Максимальна швидкість автомобіля досягає 175 км/год. Для накопичення енергії паливного агрегату та рекуперативного гальмування використовується акумулятор типу NiMH, потужністю 2 кВт·год [20].

Енергія, яка зберігається в рідкому азоті (що становить 78% повітря), так само, як і та, яка знаходиться в стисненому повітрі, може бути використана для забезпечення руху автомобіля. При цьому розглядаються два методи перетворення форм енергії – безпосереднє перетворення за допомогою пневмодвигуна та двоступеневе перетворення, включаючи генераторну установку та електродвигун (ЕД).

Кріогенна силова установка [21], Має у своєму складі вакуумний бак 1, газифікатор 2, повітряного теплообмінника 3 і пневмодвигун 4 (рис. 1.4).



а

б

а – з пневмоприводом; б – з електроприводом

Рисунок 1.4 – Конструкції кріомобілів

Пневмопривід коліс (дивись рисунок 1.4, а) або генератора 6 (дивись рисунок 1.4, б) реалізується за допомогою поршневого 4 або лопатєвого (ротаційного) пневмодвигуна 5. У системі гібридної силової установки (ГСУ) з електроприводом 7 передбачається наявність буферного накопичувача для системи рекуперації енергії під час гальмування. Багато показників кріомобілів з електроприводом можна порівняти з електричними гібридами, які підзаряджаються. Водночас можна виділити деякі переваги:

- доступна, дешева невибухонебезпечна і негорюча сировина;
- кращі екологічні показники при утилізації та відновленні термічних баків, в порівнянні з електричними АКБ;
- швидка зарядка, в порівнянні з електричними АКБ;

- використання побічного тепла ДВЗ.

До недоліків криогенних силових установок можна віднести:

- високі енергетичні витрати на виробництво рідкого азоту (до 1 кВт·год/л) і додаткові витрати на обладнання;
- низька енергетична щільність рідкого азоту, в порівнянні з вуглеводневими паливами;
- негативний вплив побічного продукту виробництва азоту з атмосферного повітря (рідкого кисню) на навколишню органіку;
- небезпека прямого контакту з тілом людини (загроза обмороження);
- реструктуризація деяких конструктивних матеріалів під дією низьких температур;
- обмерзання магістралей теплових потоків;
- відсутність інфраструктури заправки.

Вказані чинники спричиняють збільшення ваги транспортного засобу, ускладнення конструкції, зниження коефіцієнта корисної дії (ККД) і підвищення вартості силової установки.

Сонячна енергія представляє собою необмежений ресурс. Головною проблемою для портативних джерел сонячної енергії є обмежена поверхня автомобіля, що обмежує отримання достатньої електричної потужності через сонячні елементи, ефективність яких становить приблизно 20%. Електромобіль на сонячних елементах, вбудованих у батарею, також обладнаний накопичувальною батареєю.

На сучасному етапі розвитку науки і техніки доведено, що легковий автомобіль, який працює на сонячній енергії, може подолати кілька десятків кілометрів використовуючи тільки генеровану протягом дня енергії від сонячних елементів. Для забезпечення руху АТЗ необхідні фотоелектричні модулі з потужністю від 300 Вт, ЕД потужністю від 2 кВт і ТАБ. Однак обмежений запас ходу і мала потужність такого електроприводу, у своїй більшості, не влаштовують споживачів. Таким чином, розвиток сонячної енергетики в автомобільній галузі спрямований на гібридизацію джерела

електроенергії. Фотоелектричні модулі стали додатковим засобом для заряджання тягових акумуляторних батарей електромобілів.

Наразі, проводяться активні дослідження прототипів та навіть пропонуються обмежені серії електромобілів, які живляться від сонячних елементів, що розташовані на їх кузові [2]. Завдяки своїй унікальності, конструкція таких електромобілів зовні відрізняється від традиційних автомобілів із звичайними кузовами (дивись рисунок 1.5).



а



б

а – Eclectic; б – Astrolab

Рисунок 1.5 – Моделі електромобілів з фотоелектричними модулями

Електромобіль з фотоелектричними модулями Eclectic французької компанії Venturi (дивись рисунок 1.5, а) забезпечує пробіг до 50 км при середній швидкості руху 50 км/год.

За допомогою фотоелектричних модулів площею $2,5 \text{ м}^2$ (300 Вт), протягом одного дня можна генерувати енергію, достатню для подолання відстані до 10 км. Якщо виникає така потреба, то заряд акумулятора електромобіля, ємністю 9 кВт·год (тип NiMH) проводиться від побутової електромережі, напругою 220 В за 5 год. Крім сонячної енергії Eclectic може використовувати енергію вітру (пробіг до 15 км/день). Електромобіль Eclectic оснащено АД потужністю 11 кВт з обертаючим моментом 45 Н·м. Вага автомобіля - 400 кг, а ціна від \$20 тис.

Ще один електромобіль Venturi Astrolab (дивись рисунок 1.5, б) доступний до придбання з наступними характеристиками: потужність силової установки 16 кВт; обертаючий момент 50 Нм; максимальна швидкість 120 км/год; пробіг до 110 км. При цьому площа фотоелектричних елементів, що мають загальну потужність 600 Вт, складає 3,6 м², а ємність тягової акумуляторної батареї – 7кВт·год (вага 110 кг). Вага автомобіля - 400 кг, а ціна біля \$100 тис.

Подальше вдосконалення електромобілів, що використовують фотоелектричні модулі відбувається за напрямком вдосконалення самих сонячних панелей і зниження ємності тягових акумуляторів при заданій потужності силової установки. Розробники електромобілів, що живляться від енергії сонця, очікують за рік їх експлуатації подолати відстань у 20 тис. км, тільки від генерованої фотоелектричними модулями енергії. При цьому, їздові якості автомобілів, як стверджують виробники, будуть задовольняти вимогам потенційних покупців.

До переліку вже розглянутих джерел енергії для АТЗ у найближчому майбутньому можна додати ядерні реактори, що функціонують на атомному торії. Енергетична щільність такого палива дозволяє здійснювати експлуатацію автомобіля, використовуючи лише одну «заправку» (8 гр. на пробіг в 1 млн км) [22].

Можна спрогнозувати, що у майбутньому електромагнітні поля, такі як геомагнітні, наземні, близько-земні і космічні випромінювачі, можуть слугувати джерелом енергії для приводу електромобілів [23]. У цьому випадку заправні станції трансформуються у розподілені інфраструктурні об'єкти у вигляді комплексу антенних резонаторів-приймачів та трансляторів енергії [24]. Останні передаватимуть енергію у вигляді електромагнітних хвиль визначеної частоти на борт електромобіля під час його руху. Отже, частотне нормування бездротової зарядки електромобіля, за допомогою енергії електромагнітних хвиль дозволить мінімізувати витрати на виготовленням приймача на борту електромобіля.

циклів. При цьому, вони мають підвищену питому енергетичну ємність (0,8-2,6 кВт·год/кг), малий саморозряд і поліпшені зарядні характеристики.

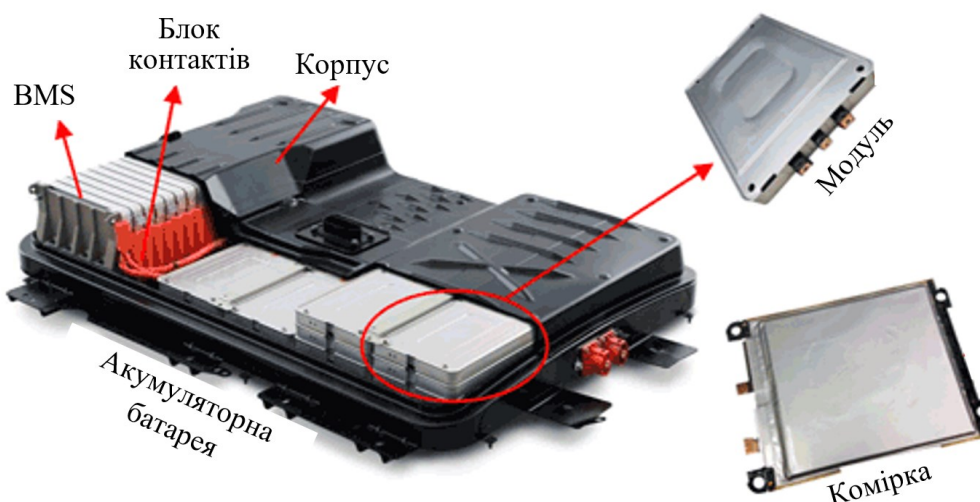


Рисунок 1.7 – Склад тягової акумуляторної батареї електромобіля Nissan Leaf

Літій-іонні акумулятори обмежуються вузьким діапазоном робочих температур (від -20°C до 60°C) та високою собівартістю. При зниженні температур втрачається ємність, а при збільшенні може відбуватися руйнування структури. З цієї причини до конструкції Li-ion акумуляторів встановлюють датчики температури та передбачають систему термоменеджменту (примусового охолодження та обігріву). Ефективність експлуатації акумуляторів залежить від правильної зарядки та розрядки, розумної експлуатації в різних сезонах, вибору оптимального навантажувального режиму та своєчасного виявлення втрат ємності окремих комірок ТАБ [4, 6, 13, 27-29].

Завдяки включенню бортового зарядного пристрою в конструкцію, гарантується зарядка ТАБ від промислової електромережі. Генератор використовується в гібридних системах та запускається за допомогою ДВЗ. Він служить як автономне джерело електроенергії для заряду ТАБ або живлення ТЕД.

У ГСУ або рекуперативних системах часто використовується блок конденсаторів великої ємності (суперконденсатори або ультраконденсатори) як

буферний накопичувач енергії. В порівнянні з ТАБ, блок конденсаторів відрізняється високою динамікою зарядно-розрядних процесів [29-33].

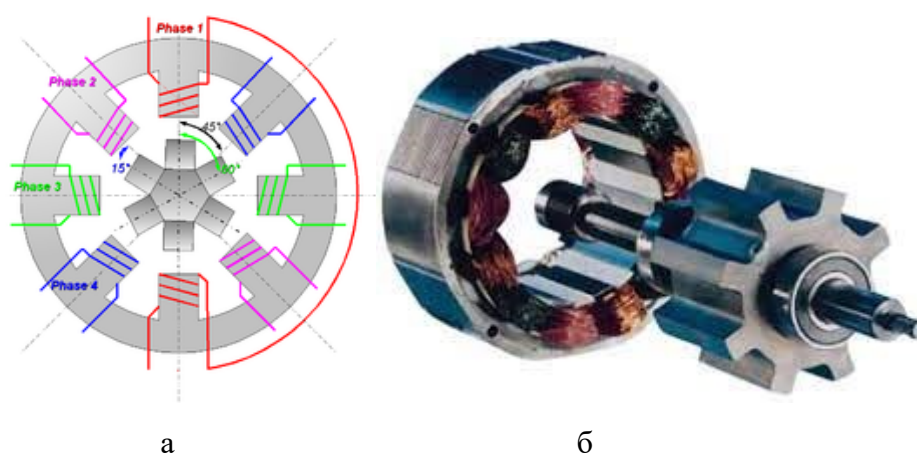
Застосування електричної тяги визначається як пріоритетний напрямок розвитку структури АТЗ, завдяки численним перевагам ТЕД перед ДВЗ у транспортних режимах: високий коефіцієнт корисної дії (до 95%); велика питома потужність і низька ціна; простота використання та управління; екологічність у експлуатації; надійність і довговічність; проста у порівнянні з ДВЗ система охолодження; мінімальна вага трансмісії (не потребує КПП); можливість рекуперації енергії в режимі генератора; максимальні показники обертаючого моменту і потужності в широкому діапазоні обертань.

Як основу для тягового електроприводу в електромобілях використовують різні типи ЕД [3, 4, 7-10, 14, 15, 17, 19, 29, 34]. Широке поширення отримали оборотні машини постійного та змінного струму, такі як синхронні двигуни (СД) та асинхронні двигуни (АД), обладнані вентильним керуванням. Назва кожного типу ЕД включає декілька термінів, що визначають їх специфічні особливості та властивості:

- тип струму (змінний, постійний) та кількість фаз живлення напруги (однофазний, трьохфазний, багатофазний);
- спосіб передачі енергії на ротор (колекторний, безколекторний, індукторний, реактивний);
- принцип побудови машин змінного струму (СД, АД з короткозамкненим або фазним ротором);
- спосіб подачі напруги живлення (мережевий, вентильний);
- особливості компонування ротора (з вбудованими постійними магнітами, з поверхневою установкою постійних магнітів, з обмоткою збудження, реактивний, індукторний) і конструкції двигуна (станинний, фланцевий, дисковий);
- частини ЕД, яка обертається (осьова, ступична) і розташування якірної обмотки (на роторі, на статорі).

Остання ознака є визначальним для систем мотор-колеса. Дамо характеристику ЕД обмеженого та спеціального призначення.

Індукторні синхронні машини мають стандартну структуру статора з розподіленими полюсами якірної багатофазної обмотки, з'єднаної за схемою «трикутник» або «зірка». Обмотка збудження розташована на статорі і утворює індуктор разом із магнітопроводом електричної машини. Оскільки ротор не має електричного кола, такі машини відносяться до безконтактних роторних пристроїв. Конструкція 4-фазної індукторної машини зображена на рисунку 1.8.



а – схема компоновки; б – конструкція ротора і статора

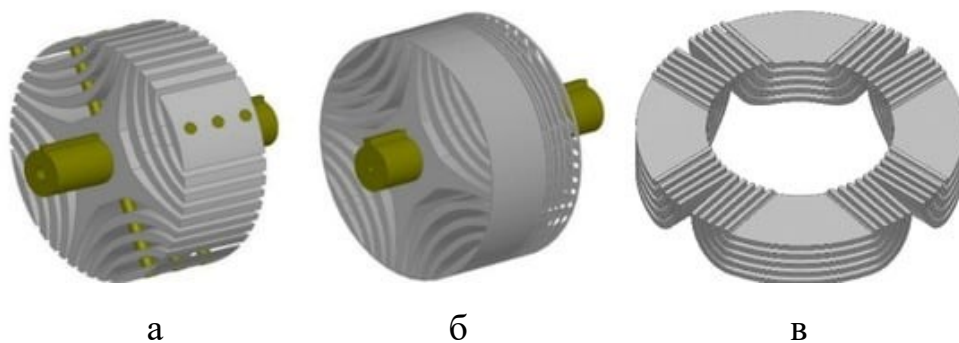
Рисунок 1.8 – Індукторна електрична машини

У СД може використовуватися збудження від постійних магнітів, які розташовані на роторі (відсутня обмотка збудження). Такі двигуни мають наступні переваги:

- відсутній щітково-колекторний вузол, що призводить до підвищення ресурсу, надійності та розширення діапазону робочих швидкостей;
- діапазон напруги живлення є широким;
- допускають значні перевантаження по моменту;
- динаміка моменту висока;
- регулювання швидкості зі збереженням моменту на низьких швидкостях або зі збереженням потужності на високих швидкостях;
- ККД перевищує 90%;

- мінімальні втрати на холостому ході;
- відносно малі масогабаритні параметри.

Реактивний СД характеризується статором з традиційною полюсною структурою, що має розподілену обмотку і відсутність обмотки збудження чи постійних магнітів. Обертаючий момент реактивного СД визначається різницею у магнітних провідностях в поздовжній і поперечній осях ротора. Для створення реактивного поля застосовуються різноманітні конструкції ротора, рисунок 1.9 [35].



а – аксіально-ламінований; б – поперечно-ламінований аксіально-розширений;
в – аксіально-поточний

Рисунок 1.9 – Конструкція ротора реактивного СД

Також, с СД використовують конструкцію з явнополюсним ротором, що повторює конструкцію індукторного двигуна, і тому отримали назву – індукторні-реактивні (ІРД). До переваг реактивних двигунів можна віднести:

- безконтактна система;
- проста та надійна конструкція ротора без використання магнітів чи обмотки;
- мінімальне нагрівання;
- низька вартість;
- мінімальний момент інерції ротора;
- широкий діапазон можливостей для регулювання швидкості.

До недоліків реактивних СД слід відзначити низький коефіцієнт потужності та потребу використання перетворювачів частоти для управління в широкому діапазоні швидкостей.

На відміну від прямого підключення до промислової мережі, вентильні двигуни використовують зовнішню комутацію струму напруги живлення через DC/AC перетворювачі. Система безколекторного вентильного двигуна, крім багатофазної машини змінного струму (СД або АД), додатково включає перетворювач координат, інвертор і датчик положення.

Вентильний індукторний двигун (ВІД) поєднує властивості електричної машини та інтегрованої системи керованого електроприводу. Як система регульованого електроприводу, ВІД дозволяє керувати цим процесом з урахуванням конкретних вимог навантаження - регулювати частоту обертання, момент і потужність. ВІД також знаходять застосування як ТЕД на електротранспорті:

- АД з короткозамкненим ротором (АДКР);
- СД з поверхневими постійними магнітами (СДПМП);
- СД з вбудованими постійними магнітами (СДПМВ);
- реактивний СД з постійними магнітами (СРД-ПМ);
- СД з обмоткою збудження (СДОЗ).

Приведемо порівняння характеристик, перерахованих типів вентильних двигунів (дивись рисунок 1.10) [36].

У відповідності до представлених характеристик, найбільш підходящими для використання в електроприводі електромобілів є ЕД типу СРД-ПМ і СДОВ. Ці двигуни забезпечують високий коефіцієнт корисної дії в широкому робочому діапазоні [9, 10, 14, 15, 34, 37, 38]. Для тягових електроприводів (ТЕП) електромобілів розроблено оригінальні конструкції корпусів електричних машин, рисунок 1.11.

Yasa Motors запропонувала дисковий агрегат, який важить всього 25 кг, але здатний генерувати обертаючий момент до 650 Н·м. Унікальність конструкції досягнута за допомогою технології плоских полюсів, рисунок 1.11,а.

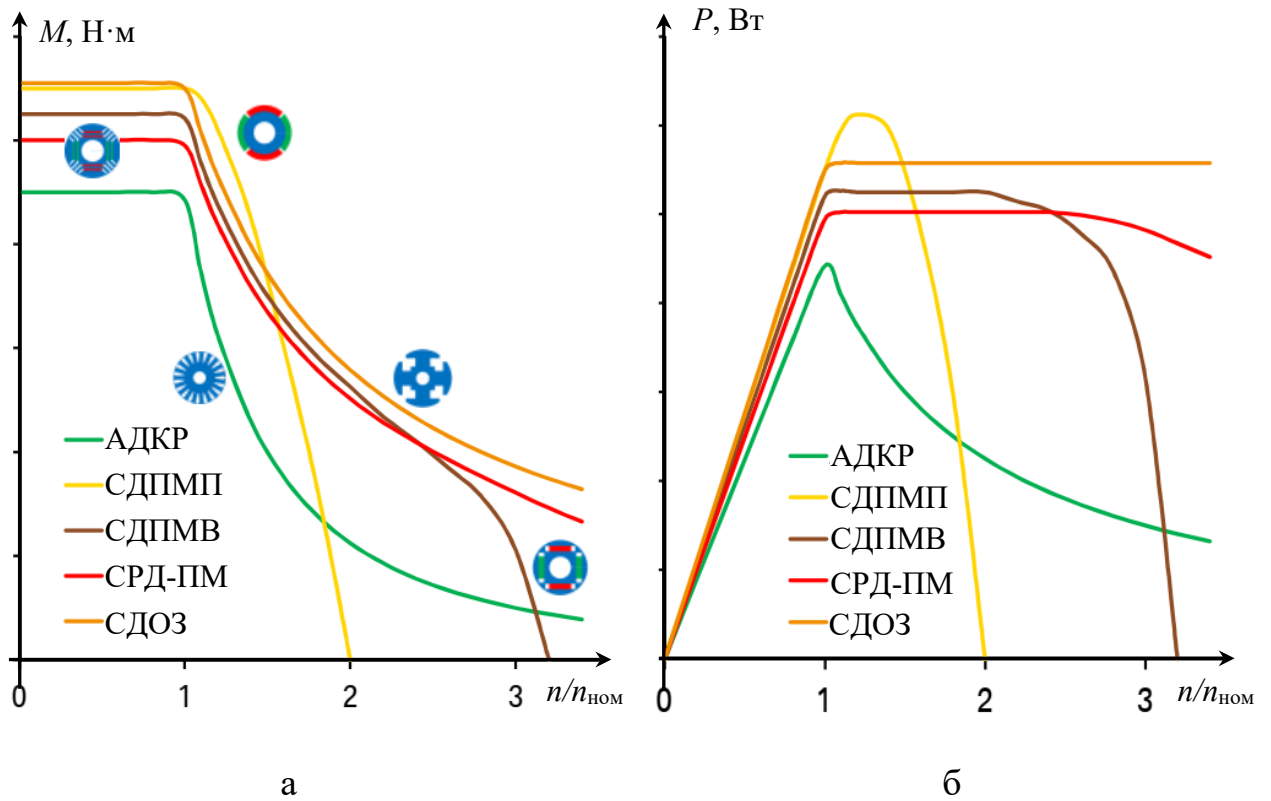


Рисунок 1.10 – Механічні характеристики електродвигунів різних типів [36]

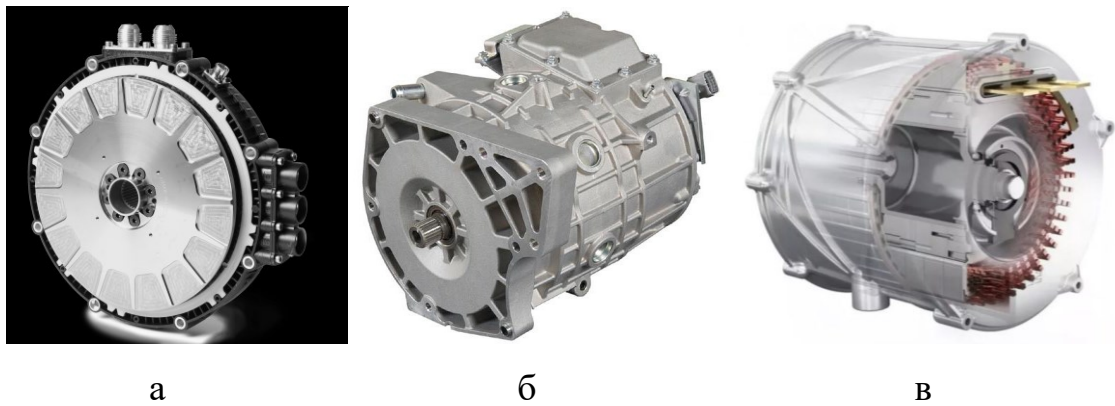
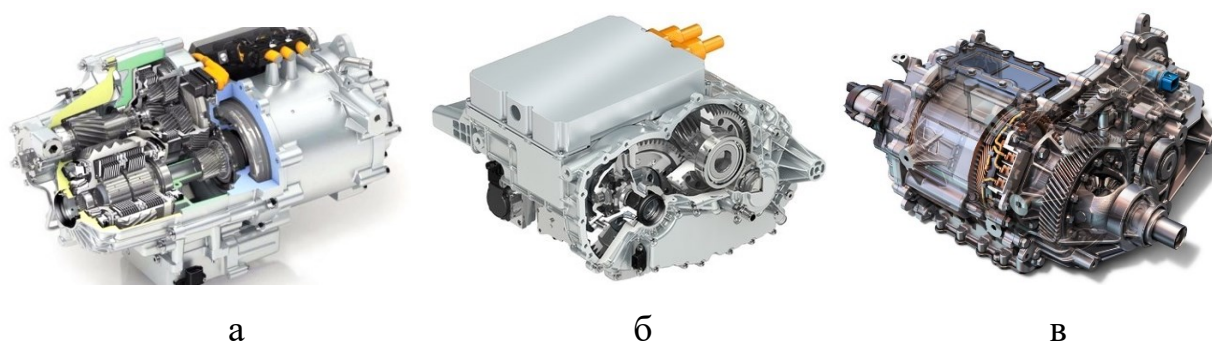


Рисунок 1.11 – Електродвигуни для ТЕП електромобілів

Поєднання електромотора та трансмісійної частини в один модуль, який визначається як електрична трансмісія, призвело до виникнення універсальних модулів різного призначення, рисунок 1.12.



а – електропривід GKN Driveline ; б – електропривід eDrive; в – електропривід Chevrolet Volt
Рисунок 1.12 – ТЕП електромобілів промислових зразків

Представлені ТЕП можна використовувати як основний для приводу електромобіля або як допоміжний на одну з осей та перетворити звичайний автомобіль в гібрид з повним приводом. Прикладом використання трифазного АД є гібридний автомобіль Volt від Chevrolet. З іншого боку, автомобіль з трифазним СД і-MiEV від Mitsubishi є повністю електричним [39, 40].

Іншим способом реалізації тягового електроприводу є використання технології мотор-коліс, що володіє рядом переваг та недоліків:

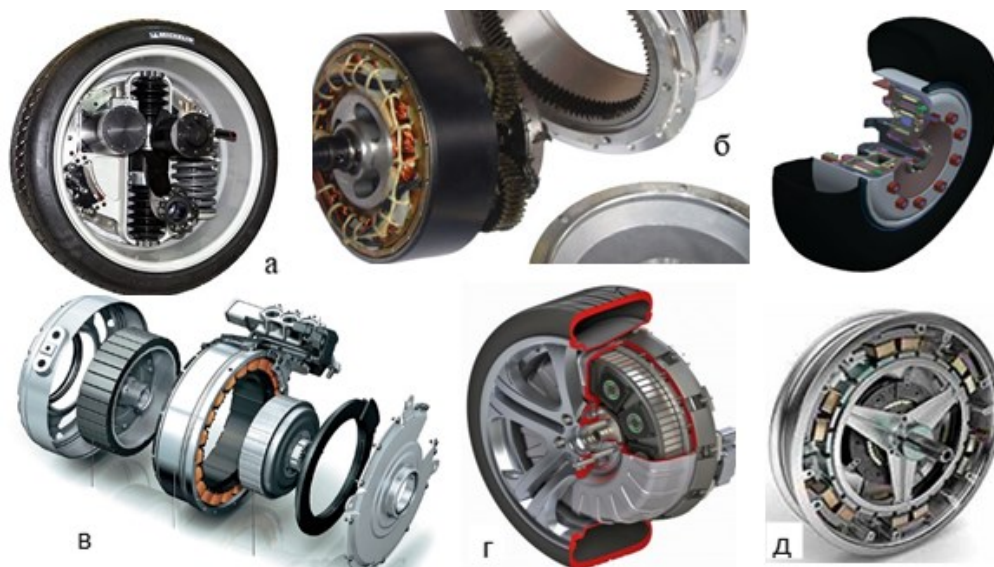
До переваг можна віднести:

- відсутність громіздкої трансмісії;
- висока динаміка приводу;
- маневреність завдяки незалежному керуванню кожним колесом;
- проста система рекуперації енергії при гальмуванні;
- забезпечення активної безпеки руху за допомогою електронних систем гальмування, динамічної стійкості та системи допомоги водієві.

До недоліків можна віднести:

- зайва маса механізмів, розташованих всередині ободу, що може знизити комфорт та керованість, збільшити знос і зменшити ефективність підвіски;
- підвищені вимоги до герметичності;
- значні витрати на обслуговування мотор-колеса або його заміну.

Системи мотор-колеса реалізуються за декількома варіантами, які відрізняються принципом будови та ступенем інтеграції, рисунок 1.13.



а – активне колесо підвіски дискретної компоновки Active Wheel;
 б – ступичний інтегрований електропривод E-Wheel Drive; в – дисковий
 електромотор; г – мотор-колесо Дуюнова; д – мотор-колесо Шкондіна

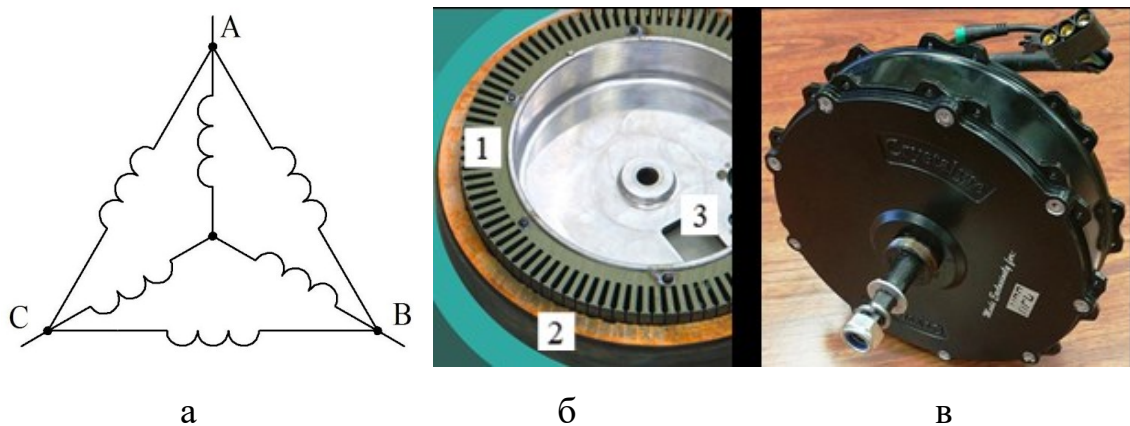
Рисунок 1.13 – Конструкції мотор-коліс

Наприклад, у дизайні спортивного автомобіля Volage використовується тяговий ЕД Active Wheel, вироблений компанією Michelin (дивись рисунок 1.13, а). Вага цього двигуна становить всього 7 кг, що дозволяє забезпечити прийнятну масу колеса - 11 кг. Основа Active Wheel представлена легкою алюмінієвою рамою, яка з'єднана з підрамником кузова за допомогою простого жорсткого важеля. З'єднання зроблено рухливим, для забезпечення можливості обертання колеса. Усі компоненти Active Wheel кріпляться до внутрішньої поверхні рами, тоді як обід закріплюється на плоскій дископодібній ступиці. Гальмівна система включає обертаючий диск та супорти з електромагнітними актуаторами. Під час гальмування ТЕД функціонує як генератор, генеруючи електроенергію для живлення транспортного акумулятора. Підвіска включає в себе сталеву пружину та електричні амортизатори. Двигун, що керує амортизаторами, також відповідає за обертання колеса [41, 42].

Ступичний електропривід E-Wheel Drive, що показала фірма Schaeffler, розроблений у співпраці з Ford (дивись рисунок 1.13, б) [43]. Два ЕД,

встановлені в задні колісні арки автомобіля Ford, мають потужність до 40 кВт. Ці ЕД здатні розвивати обертаючий момент до 700 Н·м.

Мотор-колесо моделі Дуюнова побудовано за принципом АД (дивись рисунок 1.13, г) [17]. Конструкція ґрунтується на інноваційних технологіях, які включають суміщення обмоток. Серед переваг можна відзначити низьку собівартість, високий коефіцієнт ефективності, низький рівень шуму, довгий термін служби та підвищену надійність. Обмотки двигуна об'єднані у шести-фазний двигун за схемою "Слов'янки" (комбінація "зірки" і "трикутника"), фази якого підключаються до мережі живлення, рисунок 1.14, а.



а – включення обмоток за схемою «Слов'янка»; б – конструкція магнітної системи;
в – зовнішній вигляд

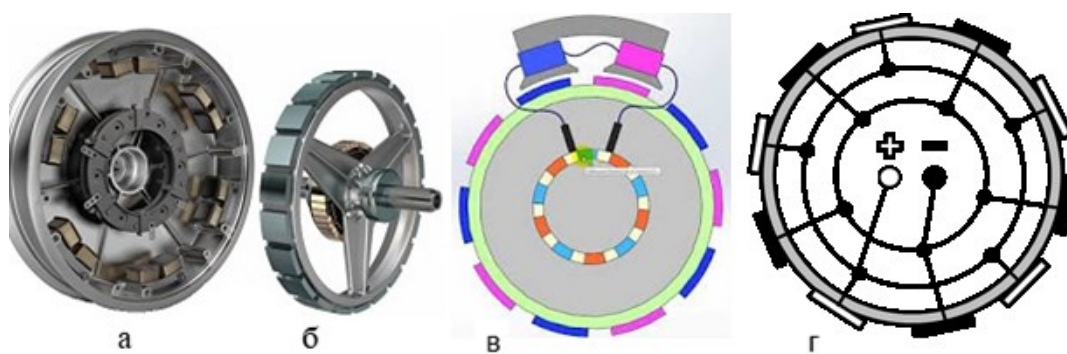
Рисунок 1.14 – Мотор-колесо Дуюнова

Оригінальність конструкції двигуна Дуюнова виявляється в тому, що статор двигуна (1) розташований всередині (ступиці), в той час як короткозамкнений ротор (2) обертається зовні (дивись рисунок 1.14, б). Управління ЕД здійснюється за допомогою інформації з датчика кутового положення статора (енкодер) і датчика температури. Датчики (3) розташовані на статорі, а інкрементний диск енкодера знаходиться на роторі.

Основні переваги оригінального ЕД у порівнянні зі звичайними АД включають високий коефіцієнт корисної дії в діапазоні навантажень від 25% до 150%, що призводить до зниження витрат електроенергії від 15% до 50%. Крім

того, спостерігається збільшення максимального обертаючого моменту від 10% до 100%, пускового моменту від 20% до 50%, зменшення пускових струмів вдвічі, зниження рівня шуму на 7 дБА і зменшення температури нагрівання обмоток [41].

В мотор-колесі конструкції Шкондіна, також важливо відзначити, що статор розміщений всередині ротора. На статорі розташовані 11 пар магнітів, які мають чергуючу полярність. На роторі встановлені 6 електромагнітів з U-образними сердечниками, утворюючи при цьому 12 полюсів ротора, рисунок 1.15, а, б.



а – роторна частина; б – статорна частина; в – підключення полюсів;

г – конструкція колектора статора

Рисунок 1.15 – Мотор-колесо конструкції Шкондіна

У ЕД конструкції Шкондіна важливо відзначити, що обмотки якоря розташовані на роторі, а магніти збудження розташовані на статорі. При обертанні ротора через щітко-колекторний вузол в обмотки подається струм різної полярності. Підключення полюсних котушок ротора і магнітних полюсів статора виконане таким чином, що в певні моменти на співпадаючих полюсах статора і ротора живлення обмоток відключається, а в інших (тих, що не співпадають) полюсах притягання змінюється на відштовхування, рисунок 1.15, в, г. У результаті цього виникає обертаючий момент за допомогою так званого електромеханічного тригера Шкондіна (колектор статора).

Тригер також дозволяє частково рекуперувати енергію з обмоток, які не беруть участь у створенні обертаючого моменту і можуть використовуватися як генераторні. До переваг такої конструкції можна віднести: високий ККД; простота конструкції; відносно невисока вартість. Як недоліки можна

зазначити: поганий тепловий режим, складність регулювання швидкості обертання; наявність механічного комутуючого пристрою [44]. Останній недолік можна усунути за допомогою безколекторного варіанту ЕД, де якірні обмотки розташовані на внутрішньому статорі, а полюсні магніти – на зовнішньому роторі. Перемикання струмів в обмотках статора виконують електронні ключі, що отримують сигнали від датчиків положення ротора.

1.3 Перетворювачі напруги в електротранспорті та його зарядній інфраструктурі

Для вирівнювання параметрів напруги в джерелах живлення (таких як ТАБ або генератор) та споживачів (ЕД) електричної енергії застосовуються різноманітні електронні пристрої, які об'єднані в конструкції блоків конвертування напруги, рисунок 1.16.

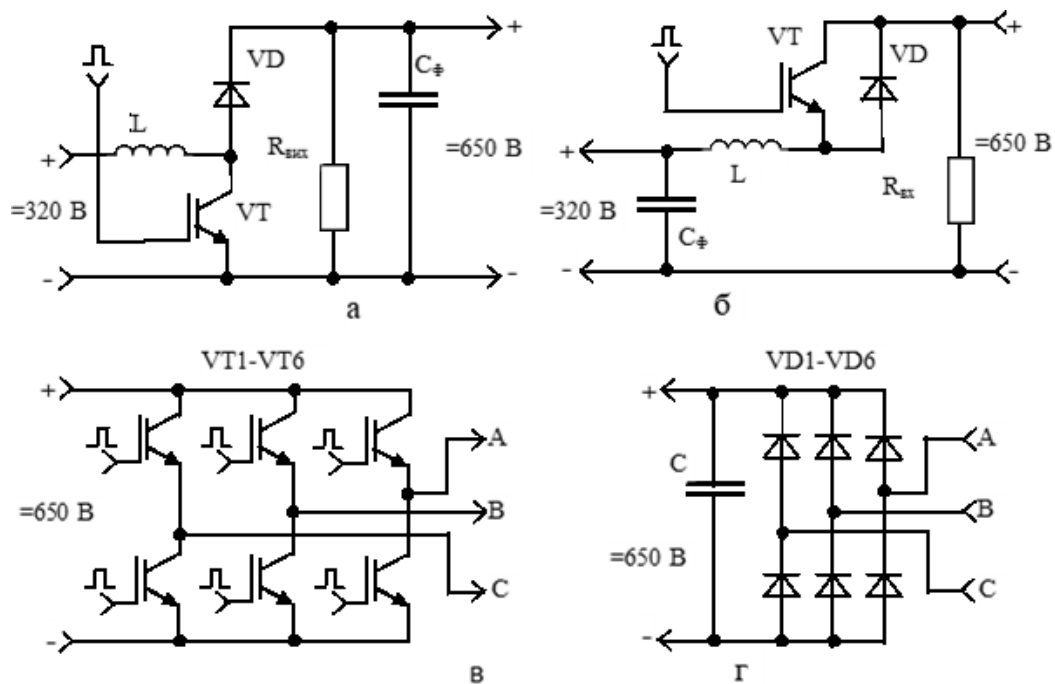


а – Toyota Prius II; б – Camry Hybrid SiC; в – Lexus CT 200 h

Рисунок 1.16 – Блоки конвертування напруги в автомобілях

Різні схемні рішення використовуються для побудови окремих перетворювачів напруги електричного приводу, рисунок 1.17. Перемикання струму у реакторі L призводить до підвищення напруги, рисунок 1.17, а. Імпульси індукованої напруги з подвоєною амплітудою на виході перемикача VT інтегруються конденсатором C_F (виконує роль електричного фільтру), і тим самим забезпечується стаке значення напруги на виході перетворювача. Опір $R_{вих}$ відповідає за розрядження конденсатора C_F при зменшенні напруги, яке

регулюється під час управління. Зменшення постійної напруги (дивись рисунок 1.17, б) досягається шляхом підвищення реактивного опору в L шляхом збільшення частоти перемикання струму. Резистор $R_{\text{вх}}$ вирівнює (узгоджує) опір перетворювача з потужністю джерела вхідної напруги. Для конвертації постійної напруги в змінну застосовується шести-плечовий міст ключів, рисунок 1.17, в.



а – підвищення постійної напруги; б – зниження постійної напруги; в – інвертор;
г – випрямляч

Рисунок 1.17 – Електричні схеми перетворювачів напруги

Включення ключів за встановленим алгоритмом дозволяє отримати певний порядок імпульсів напруги в кожній фазі, які мають зсув один щодо одного на 120° . Перетворення змінної напруги в постійну здійснюється за допомогою трифазного випрямляча, рисунок 1.17, г.

Конвертація електричної енергії в механічну і навпаки здійснюється електричними машинами. Серед найбільш ефективних пристроїв цього типу варто виділити вентильні трифазні електричні машини, які вирізняються великими питомими показниками, здатністю розвивати високу потужність на

валу при компактних розмірах і невеликій масі, а також мають значну можливість перевантаження.

Система керування включає в себе наступні процеси: моніторинг використаної енергії; управління рекуперацією енергії під час гальмування; оцінка рівня заряду та витрати енергії ТАБ; управління динамікою руху; забезпечення необхідного режиму руху; регулювання тяги; керування напругою.

Висновки по розділу 1

Проведений аналіз науково-технічної літератури щодо тенденції розвитку сучасного енергоефективного АТЗ показав, що даний цей транспорт перебуває на етапі його розвитку і потребує як вдосконалення так і розробки нових рішень та методів, що забезпечать його енергоефективність. Особливо це актуально для міського виду АТЗ, де поєднуються питання не тільки його енергоефективності, а й екологічності, тому цей напрямок є актуальним і потребує подальшого дослідження.

Наведені у розділі 1 тенденції розвитку сучасного енергоефективного автомобільного транспорту дозволяють зробити наступні висновки:

- підвищення економічності та екологічності АТЗ – це одне з основних завдань, що виникає при їх розробці та вдосконаленні;
- розвиток силових установок АТЗ поділяється на три основні напрямки: джерела енергії; ГСУ; пальне для ДВЗ;
- основним джерелом електричної енергії в електромобілях є блок накопичення електроенергії, з яких найбільш поширений – це ТАБ. Енергетичні та електротехнічні параметри блоку накопичення електроенергії, в основному, визначають, наявні можливості, переваги та недоліки АТЗ у порівнянні з їх традиційними аналогами. Особливо це проявляється в міських умовах експлуатації АТЗ;
- модель і характер застосування АТЗ та його призначення визначає структуру електроприводу енергоефективного автотранспорту та схеми і моделі його побудови.

Розділ 2

ПРИСТРОЇ ТА СИСТЕМИ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ
ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ ТА ЙОГО ЗАРЯДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

2.1 Вентильні електричні машини в автотранспорті та його зарядній інфраструктурі

Вимоги що висуваються до управління тяговим електроприводом (ТЕП) відповідають різним режимам руху автомобіля: плавне змінювання швидкості; автоматичне підтримання встановленої швидкості; чітке управління тяговим та гальмівним моментом; автоматичне обмеження максимального моменту і потужності; контроль зарядного струму ТАБ; можливість руху в режимі накату з подальшим плавним розгоном або електричним гальмуванням.

Функціонал вентильних електродвигунів (ВЕД) складається з об'єкта керування з датчиком зворотного зв'язку, системи керування та виконавчих пристроїв – колеса електромобіля. Відповідно до цього, можна класифікувати вентильні системи керування за такими загальними ознаками:

- тип ЕД (ДПС, СД, АД);
- рід струму первинного джерела напруги;
- метод керування (скалярний, векторний);
- вид датчика зворотного зв'язку (положення ротора або миттєві значення струму в фазах).

На автомобілі в якості первинного джерела напруги використовується ТАБ, тому застосування ДПС вимагає мінімальних витрат на реалізацію системи управління (пряме або адаптивне ШІМ-регулювання). Однак через низьку питому потужність і обмежену надійність (наявність щітково-колекторного вузла) ДПС відстають від ЕД змінного струму. Вентильні системи СД і АД розрізняються також за ознакою напруги живлення – постійного струму BLDC (Brush Less DC) і змінного РМАС (Permanent Magnet AC). На електробілях використовуються системи, що належать до першої групи.

Алгоритм функціонування частотного перетворювача в системі управління визначає метод управління ВЕД змінного струму [45, 46].

Скалярний метод управління передбачає підтримку постійного відношення між значеннями напруги і частоти напруги живлення ВЕД в усьому робочому діапазоні швидкостей. У цьому випадку сила струму в обмотках, а отже, і обертаючий момент на валу, залишаються сталими. Хоча така система є простою в реалізації, вона має свої недоліки:

- неможливість впровадження системи управління АД при різкому збільшенні навантаження без використання датчиків кутового положення ротора;
- система управління швидкістю з використанням зворотного зв'язку при навантаженні СД має низьку точність і може втратити синхронізацію;
- неможливість одночасного керування як моментом, так і швидкістю.

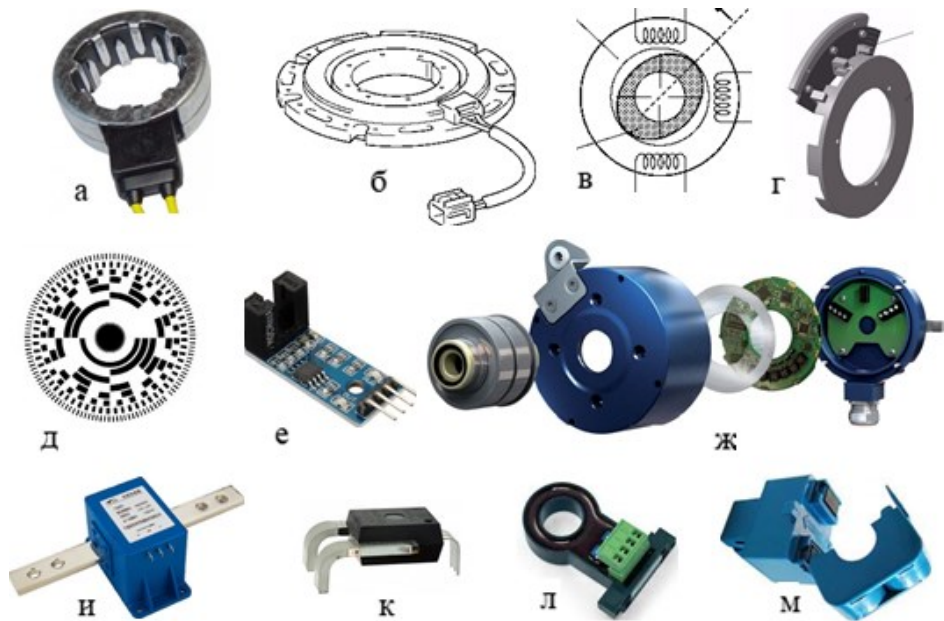
Векторне управління, на відміну від скалярного, дозволяє незалежно і без затримки управляти як швидкістю обертання, так і моментом на валу двигуна. Крім того, крім вказаних параметрів, необхідно також управляти фазою напруги живлення (контролювати значення і кут просторового вектору) [45, 47, 48]. Для отримання обертаючого магнітного поля використовується перехід від параметрів напруги до параметрів струму в фазах за допомогою перетворювача координат, залежно від навантаження двигуна. Обертова система координат фазних струмів створює максимальний обертаючий момент двигуна, коли вектор потоку фази зсунутий на 90^0 відносно вектору потоку ротора. Векторне управління може бути реалізовано:

- поле-орієнтоване управління;
- управління моментом з просторово-векторною модуляцією потоку;
- пряме управління моментом з таблицею вмикання;
- адаптивне пряме управління моментом;
- пряме управління моментом з ШІМ-модуляцією;
- пряме самостійне управління.

Для впровадження алгоритму керування ВЕД, яка отримує живлення від мережі постійної напруги, необхідна інформація про поточне положення та частоту обертання ротора машини. Цю інформацію отримують на основі

сигналів від датчиків кутового положення ротора (ДКПР) або миттєвих значень струмів в фазах (ДМЗС).

Для визначення положення ротора використовуються аналогові та цифрові датчики різних конструкцій та принципів роботи, рисунок 2.1. Тахогенератори трифазного змінного струму з постійними магнітами використовуються в схемі СД, рисунок 2.1, а.



а – генераторного типу; б, в – трансформаторного типу; г – датчик Холла;
д – індукуючий диск енкодера; е – вимірювальна частина енкодера; ж – збірка енкодера; і-м – датчики струму різного виконання

Рисунок 2.1 – Датчики в системі ВЕД

Сигнал, що надходить від електромеханічного датчика, імітує фазні напруги, які подаються до СД. Він містить інформацію про кутове положення ротора та частоту обертання СД. Недоліки цього методу включають відсутність сигналу в початковий момент руху, придатний лише для СД, неадекватність сигналу при динамічних навантаженнях та необхідність конвертації сигналу в цифрову форму та модифікації базової конструкції електричної машини.

Датчик синхронізуючих сигналів трансформаторного типу, розташований на статорі, включає три обмотки (збудження і дві вимірювальні). Вимірювальні (вторинні) котушки зсунуті одна відносно одної на 90^0 , рисунок 2.1, в. На роторі датчика розміщено сердечник еліпсоїдальної форми. Первинні котушки

збудження живить напруга змінного струму несучої частоти, що трансформується у обмотках що вимірюють з різними коефіцієнтами передачі, в залежності від положення ротора.

Під час обертання ротора, сигнали у обмотках що вимірюють піддаються модуляції за амплітудою зі зсувом на 90^0 . Таким чином, за допомогою двох синусоїдальних сигналів ідентифікується не лише поточне положення ротора, а й напрямок його обертання. Головною перевагою трансформатора що модулює перед датчиком генераторного типу є наявність інформаційного сигналу навіть у нерухомому стані тягового ЕД.

Датчик Холла складається з набору цифрових датчиків, розташованих на статорі з певними кутовими зсувами, і роторного диска з пластинами, що екранують магнітний потік або є постійними магнітами, рисунок 2.1, г. При обертанні диска цифровий сигнал формується датчиком, розміщення якого відповідає кутовому положенню ротора двигуна. Головною перевагою є отримання сигналу у цифровому форматі під час обертання ротора і у початковому положенні.

Енкодери, незалежно від типу (оптичні, магнітні, ємнісні), включають кодуєний диск на роторі (рисунок 2.1, д) і вимірювальний вузол на статорі (рисунок 2.1, е) та виглядають як закінчена конструкція (рисунок 2.1, ж). Перевагою є можливість отримання сигналу у вигляді бінарного коду з високою роздільною здатністю, але недолік полягає в високій вартості.

Безконтактні датчики струму, що базуються на лінійних мікросхемах Холла, можуть мати гальванічне (рисунок 2.1, і, к) або безконтактне (рисунок 2.1, л, м) підключення до мережі вимірювання. На відміну від розглянутих вище датчиків, датчики струму встановлюються не в конструкції ВЕД, а монтується в блоку силової електроніки. Спеціальні датчики включають вбудований аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Інформація, отримана з датчиків струму фаз, може значно спростити алгоритм управління статорними обмотками АД.

В якості ілюстрації розглянемо структурну схему системи ВЕД, що включає в себе СД із координатним датчиком положення ротора (ДПР),

контролер електричної машини КЕМ і силові кола. Сигнал від ДПР одночасно містить інформацію про частоту обертання ротора СД ДЧО, рисунок 2.2.

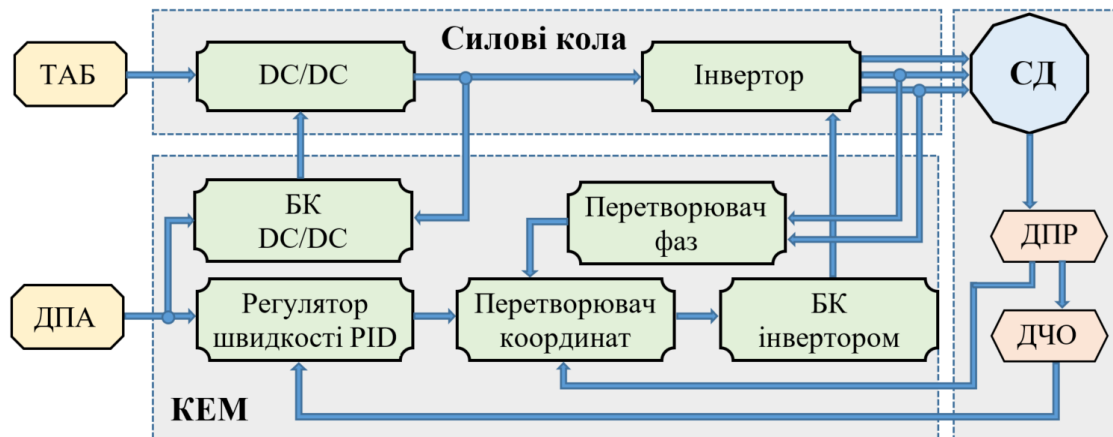


Рисунок 2.2 – Схема структурна системи ВЕД на базі СД

Режим обертання ВЕД залежить від сигналу датчика положення акселератора ДПА. На початку руху або у стаціонарному швидкісному режимі перетворювач координат розраховує оптимальні фазо-часові параметри фазних струмів на основі інформації, що надходить від ДПР та перетворювача фаз.

Блок керування інвертором генерує адресні імпульси для управління силовими ключами інвертора відповідно до отриманих даних, забезпечуючи послідовність та синхронізацію їх включення та виключення.

Силові кола інвертора перемикають струми фазних обмоток СД під напругою джерела живлення. Для вирівнювання номінальної напруги ТАБ з робочою напругою СД використовується перетворювач, який підвищує постійну напругу DC/+DC. З метою стабілізації обраного швидкісного режиму застосовується PID-регулятор, який працює на основі зворотного зв'язку від сигналу датчика частоти обертання ротора СД.

У динамічних режимах, коли потрібно змінити частоту обертання під певним навантаженням, це можна здійснити двома методами. Перший включає в себе регулювання напруги на виході DC/+DC, тим самим впливаючи на частоту або синхронізацію імпульсів управління ключем перетворювача DC/+DC. Другий метод передбачає зміну середнього значення струму за

допомогою ШІМ-регулювання в блоку керування інвертором. У першому випадку, регулюється частота або шпаруватість імпульсів керування ключем перетворювача DC/+DC, в другому, – шпаруватість імпульсів насічки сигналів керування ключами інвертора.

Керування вентильним АД вирішується аналогічно, але з урахуванням того, що вектор магнітного поля ротора визначається на основі параметрів обертового поля статора та розподілених параметрів короткозамкнутої обмотки ротора. Для врахування цих факторів здійснюється додатковий розрахунок координатних величин через похідні функції фазних струмів.

Обертальна можливість СД використовується для зарядки ТАБ за рахунок рекуперативної енергії гальмування. Режими електроприводу в статусах мотора "М" або генератора "G" активуються натисканням педалей відповідно акселератора або гальма, рисунок 2.3.

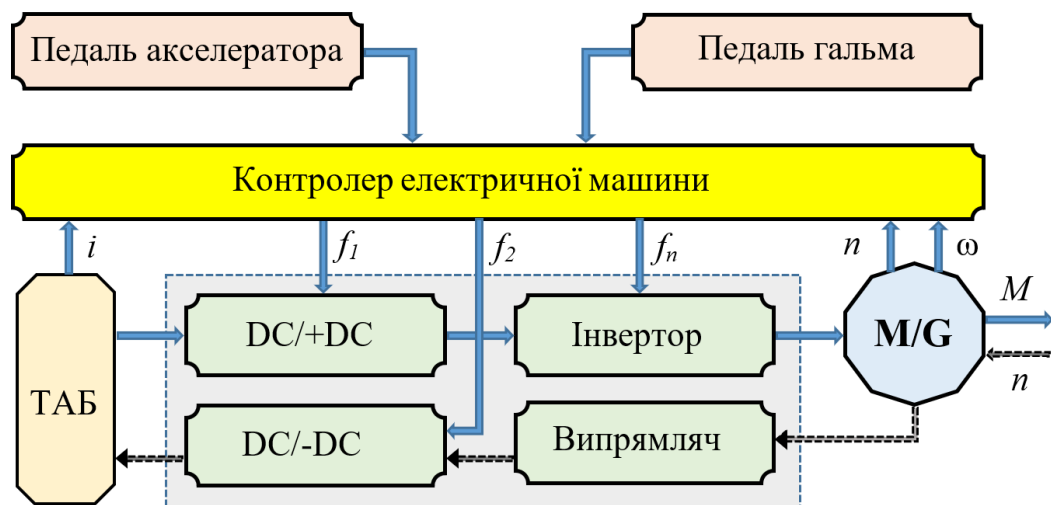


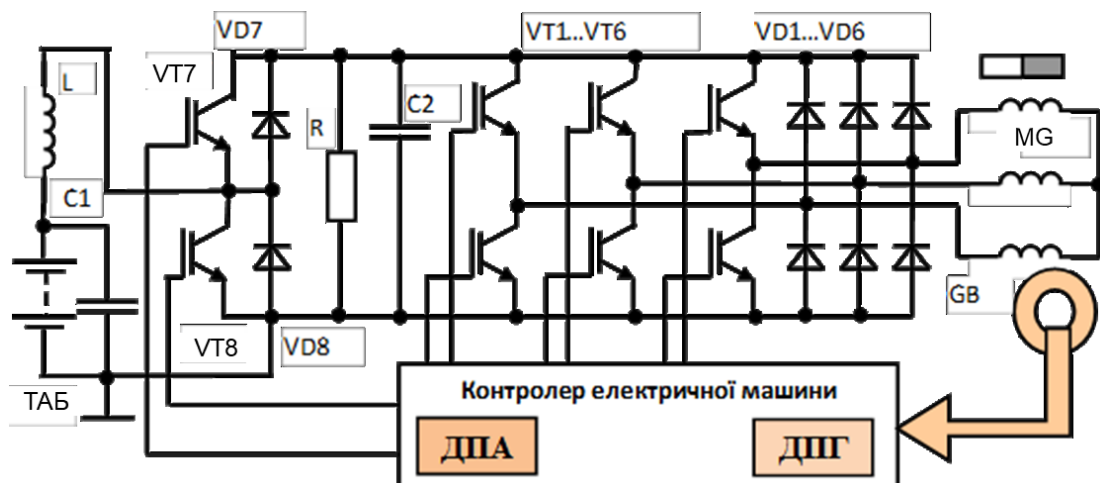
Рисунок 2.3 – Схема функціональна електроприводу з СД

У режимі мотора потужність передається згідно з вищезазначеним методом (зображено суцільними стрілками). У режимі генератора (пунктирні стрілки) використовується випрямляч і понижуючий перетворювач DC/-DC. Контролер електричної машини (КЕМ) отримує інформацію про частоту обертання ротора генератора (n) і рівень зарядного струму (i) акумуляторної батареї. На основі цих сигналів, КЕМ регулює коефіцієнт передачі

перетворювача DC/-DC, змінюючи частоту імпульсів керування (f_2) та обмежуючи струм заряду на припустимому рівні. У реальних системах також контролюється температура силових елементів для оцінки їхнього електричного навантаження і ступеня зарядження акумуляторної батареї.

Синтез окремих перетворювачів напруги з різними призначеннями дозволяє їх об'єднати в блок силових коліс, який регулюється КЕМ на основі вхідних сигналів від датчиків положення педалі акселератора (ДПА) і гальма (ДПГ), а також від датчика кутового положення ротору GB електричної машини MG, рисунок 2.4 [17].

Аналіз гібридних силових установок (ГСУ) автомобілів та їх структури приведено у Додатку А.



VT1...VT6 – транзисторні ключі інвертора CD/3AC; VD1...VD6 – діоди випрямляча 3AC/CD; VT7 – транзистор комутатора перетворювача DC/-DC; VT8 – транзистор комутатора перетворювача DC/+DC; VD7, VD8 – діоди складання імпульсної напруги (DC/+DC); C1 – згладжуючий фільтр; C2 – інтегруюча ємність; L – дросельний реактор; R – розрядний опір

Рисунок 2.4 – Електрична схема силових кіл ТЕП з використанням оборотної машини

Для досягнення поставленої задачі щодо дослідження принципу дії та особливостей конструкції пристроїв та системи генерації електричної енергії для електричного автомобільного транспорту та його зарядної інфраструктури виникає потреба у детальному розгляді структури електричної частини ГСУ. Це обумовлено тим, що системи генерації електричної енергії для електричного

автомобільного транспорту та його зарядної інфраструктури працюють за принципами ГСУ [4, 7, 9, 17].

Детально розглянемо функціональну структуру електричної частини ГСУ із однією обертовою електричною машиною, яка інтегрована у ГКП. Основним блоком управління такою системою є контролер високої напруги (КВН). Контролер розподіляє потужність між силовими агрегатами установки, забезпечуючи оптимальне використання ТЕП та ДВЗ для створення необхідного обертаючого моменту на колесах автомобіля під час прискорення та відновлення енергії при гальмуванні [8, 17].

Силова установка включає в себе електромеханічний компонент, який складається з ГКП, блоку перетворювачів напруги (БПН) і блоку високовольтної батареї (БВБ), рисунок 2.5.

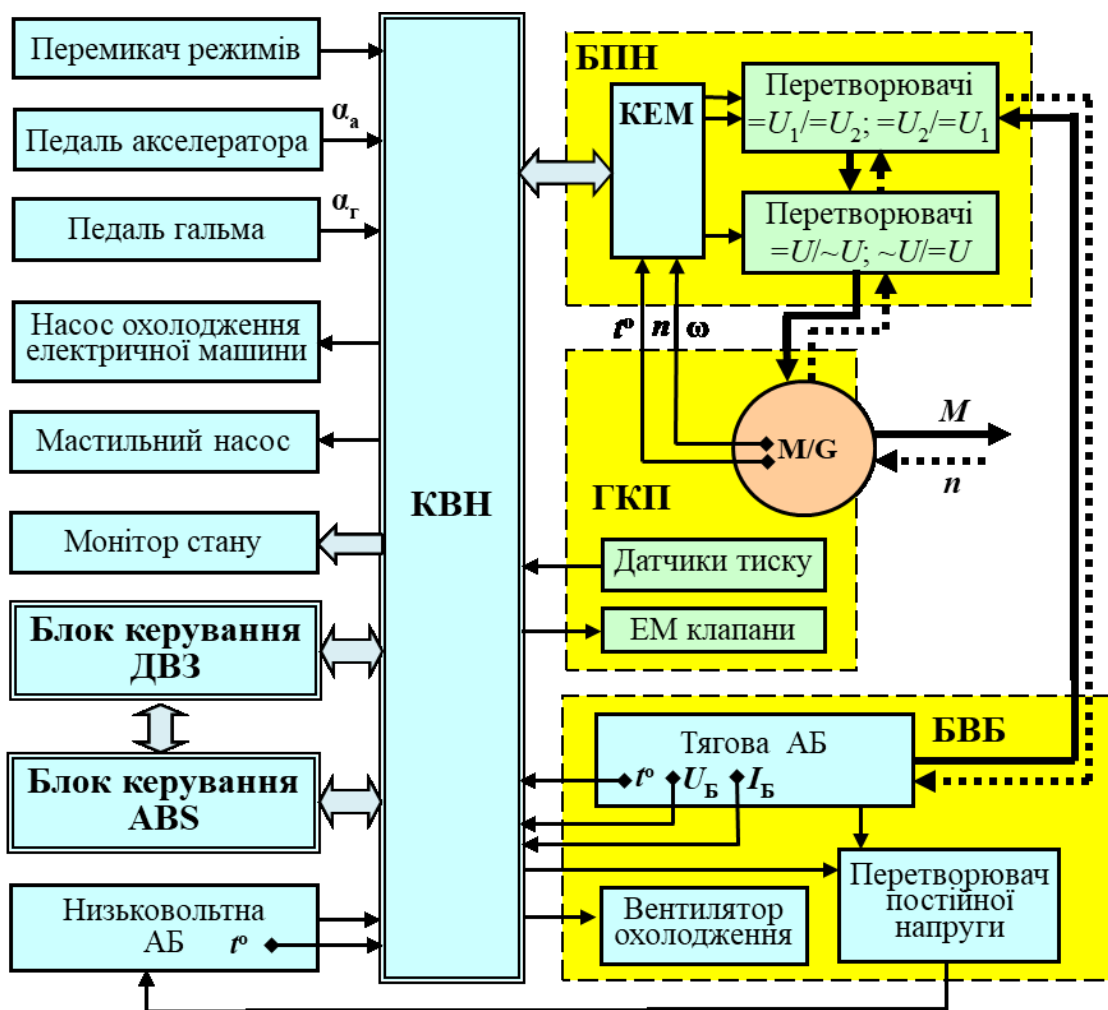


Рисунок 2.5 – Структурна схема системи керування ГСУ

ГКП представляє собою електромеханічну систему з подвійною функцією передачі потужності. Вентильна машина М/Г, що входить до складу ГКП, працює в режимах двигуна "М" або генератора "Г" в залежності від дій водія та умов на дорозі.

У режимі "М" електрична потужність, яка надходить від ТАБ до ЕД, перетворюється в блок БПН за допомогою DC/DC перетворювача підвищеної напруги ($=U_1/=U_2$) та трьохфазного інвертора ($=U/\sim U$). У цьому випадку робочі режими перетворювачів напруги (рівень напруги, значення струму і частота комутації інвертора) та, відповідно, ЕД (обертовий момент і частота обертання) визначаються на основі сигналів від датчиків положення педалі акселератора (α_a) та кутового положення валу машини (ω), які надходять в контролер електричної машини (КЕМ).

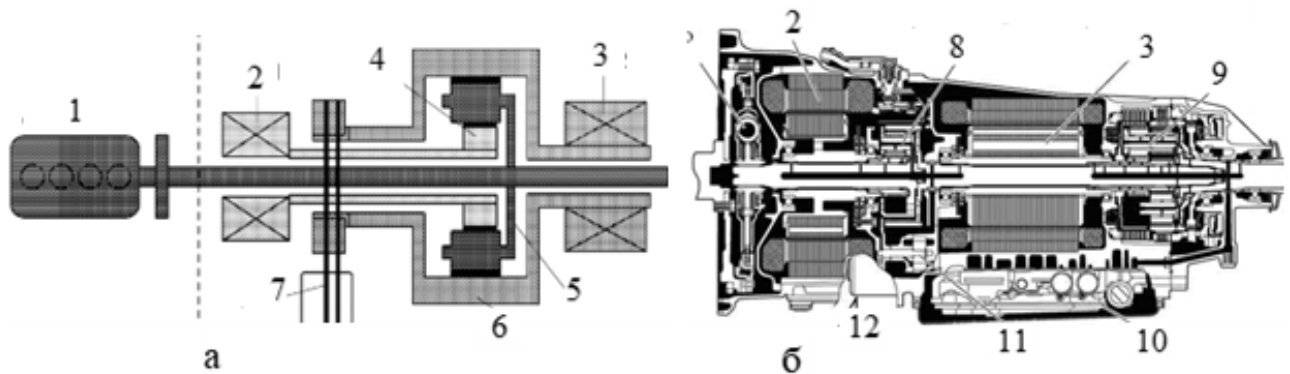
У процесі рекуперації енергії у режимі "Г" відбувається обернене перетворення механічної потужності, що виникає від обертання ротора електричного генератора, в електричну потужність для зарядження ТАБ.

У цьому режимі, в силовому колі ТЕП використовуються трифазний випрямляч ($\sim U/=U$) та DC/DC перетворювач пониженої напруги ($=U_2/=U_1$). Режим зарядження високовольної батареї (ВАБ) на кожному етапі процесу гальмування обчислюється контролером високої напруги (КВН) на основі інформації, яка надходить від датчиків системи ABS та педалі гальм (α_T).

Якщо режим руху автомобіля та дії водія викликають активацію гібридного приводу, контролер КВН визначає статус руху автомобіля та регулює моменти ДВЗ і ТЕД, враховуючи рівень зарядження ВАБ (напруга U_B та струм I_B у колі заряду ТАБ) і її температуру (t°). Різниця між потрібною потужністю для руху та потужністю ДВЗ компенсується потужністю ЕД.

Також можна використовувати інформацію щодо температурного стану електричної машини, інвертора та випрямляча, яка непрямо вказує на технічний стан цих компонентів. У цьому контексті, КВН керує вентилятором системи охолодження та зарядженням низьковольної батареї відповідно до її температури, використовуючи перетворювач постійної напруги.

З метою покращення характеристик їзди, енергоефективності та екологічних показників автомобілів Toyota Prius використовується ГСУ з двома електричними машинами, яка включає в себе ДВЗ, електричний стартер-генератор, ТЕД та безступеневу коробку передач [17, 25, 48]. Сила тяги від ДВЗ розподіляється на два потоки за допомогою планетарного механізму, один із вихідних валів якого з'єднаний з ЕД та колесами, а інший - з генератором. Обидва двигуни працюють через редуктор для приводу передніх ведучих коліс, рисунок 2.6,а.



1 – ДВЗ з зчепленням; 2, 3 – електричні машини MG1, MG2; 4 – сонячна шестерня; 5 – водило; 6 – коронна шестерня; 7 – ланцюгова передача на диференціал передньої осі; 8 – планетарний дільник потужності; 9 – двоступеневий планетарний понижуючий редуктор з двома гідравлічними гальмами; 10 – клапанна коробка; 11 – мастильний насос з механічним приводом; 12 – мастильний насос з електричним приводом

а – кінематична схема приводу на передню вісь; б – устрій електромеханічної трансмісії GS450h з приводом на задню вісь

Рисунок 2.6 – ГСУ з двома електричними машинами

Електромагнітні клапани (ЕК) гідравлічної коробки управляють тиском робочої рідини та переключають магістралі, викликаючи активацію гальмівних механізмів планетарної трансмісії.

У трансмісії з приводом на задню вісь використовується двоступеневий планетарний редуктор з електрогідравлічним керуванням, рисунок 2.6,б, який автоматично, за допомогою гальмівних пристроїв, змінює передавальне відношення при підключенні електричної машини MG2. Обертовий момент від MG2 передається через задню сонячну шестерню для приводу задніх коліс.

Тиск у гідравлічній системі ГКП забезпечує масляний насос з механічним приводом. Насос із електричним приводом виконує ту ж функцію, якщо ДВЗ не працює. Додатковий електронасос забезпечує циркуляцію рідини для охолодження MG1 і MG2 відповідно до визначеного алгоритму. Контроль роботи ГКП здійснюється за допомогою датчиків частоти обертання вхідного валу, температури охолоджуючої рідини та тиску масла в трубопроводах гідроелектричного блоку керування.

За допомогою перемикача режимів можна обрати один із режимів керування коробкою передач: PWR (Power – динамічний), Hybrid (гібридний нормальний), або SNOW (гібридний зимовий). Функціонування та призначення інших компонентів системи керування гібридною силовою установкою аналогічні системі з однією машиною, рисунок 2.5.

Алгоритми функціонування системи керування ГСУ, яка має дві оборотні електричні машини, розроблені відповідно до їхніх статусів у різних експлуатаційних режимах. У цьому випадку стратегія керування базується на виконанні певних правил:

- чим менше швидкість автомобіля, тим більше використовується рушійна сила від ЕД;
- під час гальмування надається пріоритет рекуперативній системі;
- ефективне розподілення потужності силових агрегатів досягається за рахунок перерозподілу енергетичних потоків між ними.

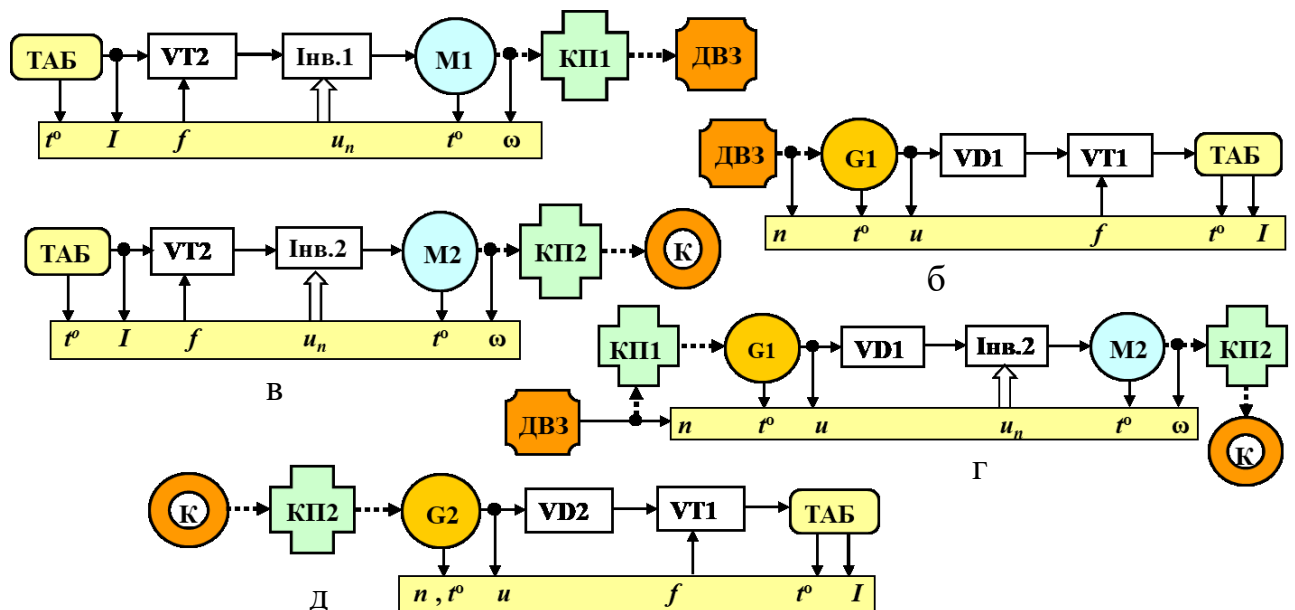
Реалізація алгоритму функціонування розподільника потужності ГСУ в транспортних режимах включає наступні етапи. Початковий рух автомобіля відбувається завдяки ЕД MG2. У випадку, якщо заряд ТАБ не є достатнім для цього, активується стартер MG1, який запускає ДВЗ. При цьому MG1, працюючи як генератор, забезпечує зарядку батареї. У гібридному режимі руху тягові зусилля від ДВЗ передаються частково через планетарні механізми на привід коліс, а частково на MG1 для генерації енергії для живлення двигуна MG2 і створення додаткового тягового зусилля. Під час прискорення разом з потужністю ДВЗ, ТАБ віддає енергію на MG2 для отримання додаткового

інформаційну шину. КЕМ, у свою чергу, видає відповідні сигнали управління по сигнальним лініям.

Задні колеса і ЕД MG2 з'єднані карданним валом і не розділені зчепленням. Щоб припинити передачу обертового моменту на задні колеса при нейтральному положенні селектора, вимикаються всі силові транзистори, які керують роботою ЕД. У результаті цього MG1 і MG2 не вносять внеску в роботу трансмісії.

При аналізі функціонування ГСУ в транспортних режимах можна систематизувати агрегати, що становлять ланцюг передачі енергії, за п'ятьма режимами функціонування ГСУ, рисунок 2.8.

Механічні ланки передачі потужності приведено на схемах рисунка 2.8: К – колесо, СГ – система гальмування, КП1/КП2 – трансмісія, яка понижує/підвищує.



ТАБ – високовольтна тягова АКБ; VT – ключі перетворювачів постійної напруги, VD – випрямлячі; «Інв.» – інвертори; n – частота обертання; r^0 – температура агрегатів; u_n – імпульси керування інверторами; u – вихідна напруга; f – частота керуючих імпульсів; I – середнє значення струму у колі заряду батареї; ω – кутове положення роторів електричних машин

а – пуску ДВЗ; б – заряд ТАБ від ДВЗ; в – електроприводу; г – послідовної роботи ДВЗ і електричних машин; д – рекуперативного заряду ТАБ

Рисунок 2.8 – Основні ланки передачі потужності в ГСУ

2.2 Будова пристроїв та систем генерації електричної енергії

Питання енергоефективності та збереження електроенергії на цей час набули не аби якої актуальності. Одним зі шляхів їх вирішення є впровадження різного роду систем та пристроїв, які не тільки виконують функцію енергозбереження, а ще й здатні самі генерувати певну кількість енергії для подальшого її використання.

У даному розділі представлено дослідження, щодо проблеми енергозбереження та енергоефективності в місцях де є велика прохідність людей та які можуть бути використані для транспорту та його інфраструктури. За основну ідею роботи покладено методи та способи перетворення кінетичної енергії від натискання в електричну енергію. Буде проведено аналіз декількох варіантів схем щодо створення енергогенеруючої плити (ЕПЛ) та проведено дослідження їх принципу роботи. За підсумком проведеного аналізу буде запропоновано найбільш ефективну конструкцію ЕПЛ для її практичної реалізації. Використання таких пристроїв та систем конвертації кінетичної енергії в електричну дозволяє генерувати необхідний обсяг електроенергії, що забезпечує систему електроживлення додатковими джерелами живлення малої потужності. Це сприяє більш ефективному розподілу електроенергії за потужністю, балансуванню системи електроживлення з урахуванням наявної потужності споживачів та впровадженню сучасних енергоефективних заходів для збереження електроенергії та її ефективного використання [29, 49-76].

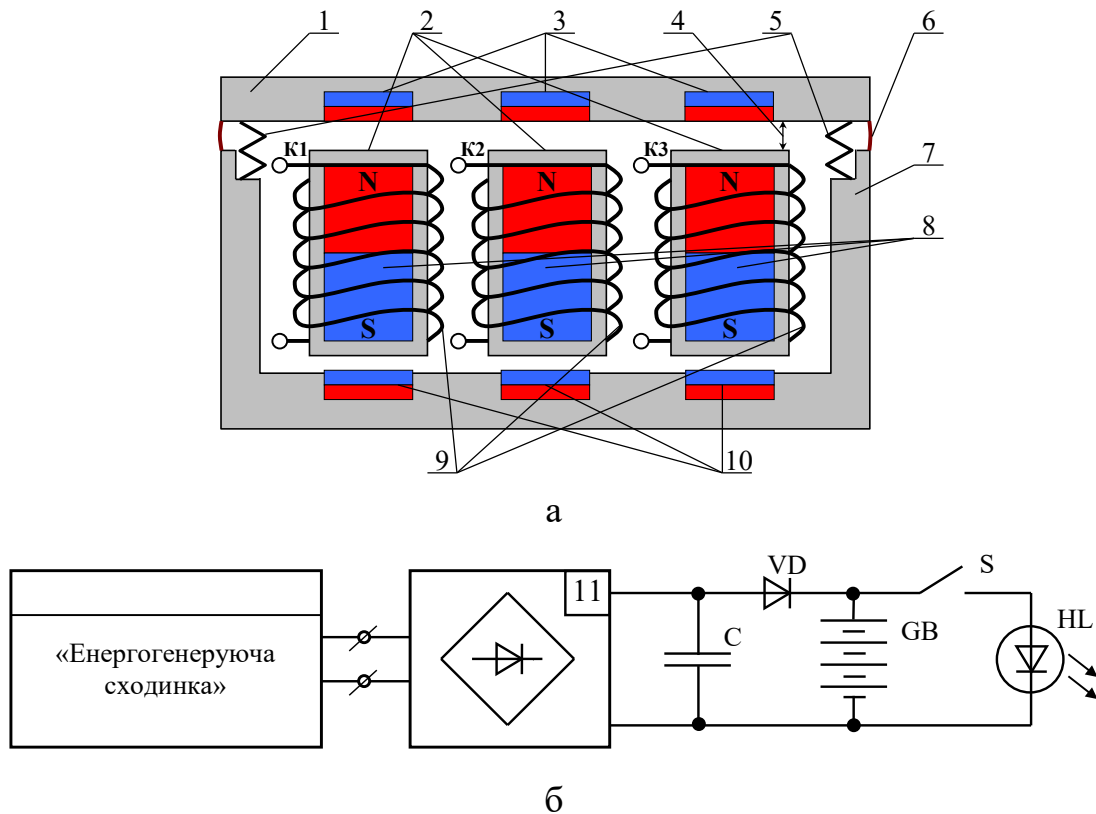
2.2.1 Основні завдання дослідження. Дослідження схемотехнічних рішень та моделей щодо розробки ЕПЛ, яка призначена для перетворення кінетичну енергію в електричну з подальшим її накопиченням в блоці АКБ.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз схем технічних рішень щодо розробки ЕПЛ, яка призначена для перетворення кінетичну енергію в електричну;
- визначити переваги та недоліки досліджуваних схем технічних рішень щодо розробки ЕПЛ.

Розглянемо конструкції систем генерації електричної енергії з електромашинним вузлом. Найбільш ефективно використовувати в електромашинному вузлу кроковий двигун (КД). Отже, представленні конструкції систем генерації електричної енергії з електромашинним вузлом мають КД, який працює в генераторному режимі. Але, спочатку представимо основну конструкцію, на базі якої побудовані всі решта запропонованих систем [50, 51].

2.2.2. ЕПЛ з лінійним генератором. Найбільш простим та очевидним рішенням представляється конструкція ЕПЛ, що заснована на принципі дії лінійного генератора. Суть запропонованого пристрою пояснюється схематичними кресленнями, рисунок 2.8 [29, 49, 50, 52, 55, 67, 68].



а – конструкція; б – схема електрична принципова: 1 - натисну кришку; 2 - статор; 3 - неодимові магніти в натискній кришці; 4 - робочий хід натискної кришки; 5 - пружини; 6 - герметичне сполучення кришки з корпусом; 7 - корпус; 8 - неодимові магніти ротора; 9 - обмотки котушок статора (K1–K3); 10 - неодимові магніти в корпусі; 11 - електричний випрямляч; C – ємнісний накопичувач; VD – діод; GB – акумулятор; S – вимикач; HL – світлодіодне навантаження

Рисунок 2.8 – Система ЕПЛ з лінійним генератором

ЕПЛ з лінійним генератором (дивись рисунку 2.8) складається з корпусу, де розташовані ротор і статор, що можуть рухатися вздовж один відносно одного в одній площині. Статор виготовлений у вигляді обмотки, яка охоплює ротор. Ротор виготовлений з цільних неодимових магнітів, а плоскі неодимові магніти використовуються як демпферні пружини, орієнтовані з однаковими полюсами до полюсів ротора. Кінці обмоток статора з'єднані між собою і підключені до електричного випрямляча, який перетворює змінний струм та заряджає ємнісний накопичувач - іоністор. Іоністор, через діод, заряджає АКБ, яка через перемикач підключається до електричного навантаження.

Принцип дії системи генерації електричної енергії – ЕПЛ з лінійним генератором, рисунок 2.8 приведено у п.п. 2.3.1.

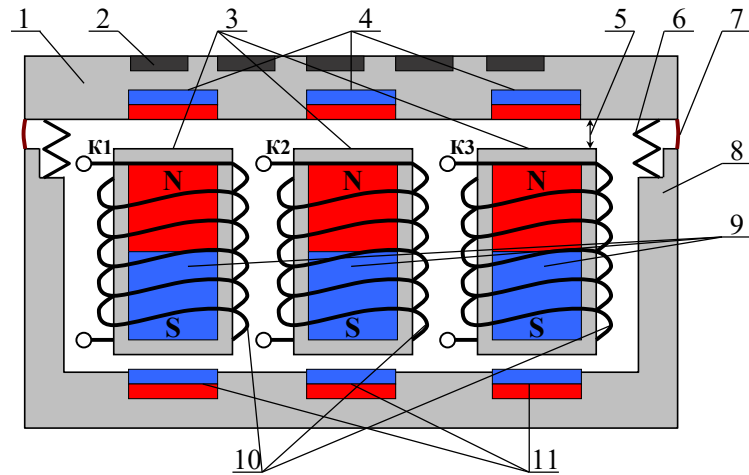
2.2.3 ЕПЛ з лінійним генератором та п'єзокерамікою. Цей пристрій призначено для перетворення кінетичної енергії від натискання в електричну. Принцип його дії засновано на схемі, рисунок 2.8. Його відмінність полягає в тому, що в натискну кришку пристрою вбудовано п'єзокерамічні елементи, електричний сигнал з яких при натисканні також заряджає ємнісний накопичувач та акумуляторну батарею. На рисунку 2.9 показано конструкцію ЕПЛ з лінійним генератором та п'єзокерамікою [11, 29, 50, 64, 66].

Принцип дії ЕПЛ з лінійним генератором та п'єзокерамікою, рисунок 2.9 приведено у п.п. 2.3.2.

2.2.4 ЕПЛ з електричною машиною оберտального типу. Принцип роботи даної ЕПЛ полягає в перетворенні кінетичної та механічної енергії в електричну енергію, що, за своєю суттю, віднесено до генераторів електричної енергії.

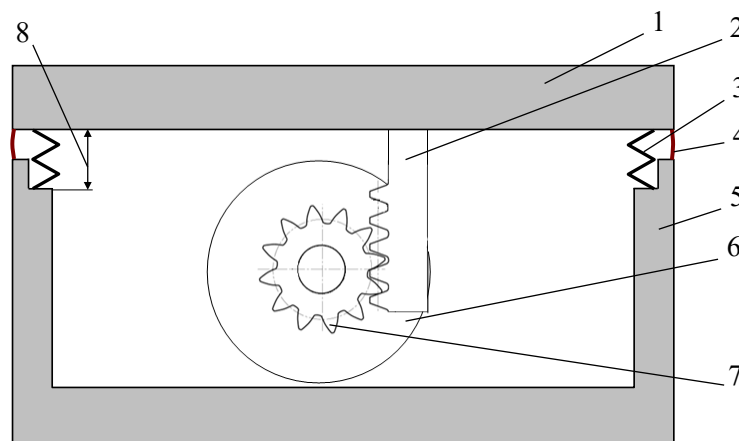
Суть запропонованого пристрою пояснюється схематичними кресленнями, рисунок 2.10 [29, 50, 70, 72]. Цей пристрій, так само як і два попередні, має корпус з натискною кришкою, всередині якого розташовані ротор і статор, здатність ротора обертатися в магнітному полі статора. Проте кінці обмоток статора з'єднані між собою та підключені до електричного випрямляча, який перетворює змінний струм і подає його на іоністор, Даний

іоністор через діод заряджає АКБ. АКБ можна підключити до навантаження через вимикач. Ротор електричної машини зроблено за конструкцією з неодимовими магнітами. Він обертається під впливом рейки приводу генератора, що приєднана до натискної кришки ЕПЛ.



1 - натискну кришку; 2 - п'єзoeлектричні елементи; 3 - статор; 4 - неодимові магніти в натискній кришці; 5 - робочий хід натискної кришки; 6 - пружини; 7 - герметичне сполучення кришки з корпусом; 8 - корпус; 9 - неодимові магніти ротора; 10 - обмотки котушок статора (К1-К3); 11 - неодимові магніти в корпусі

Рисунок 2.9 – Конструкція ЕПЛ з лінійним генератором та п'єзокерамікою

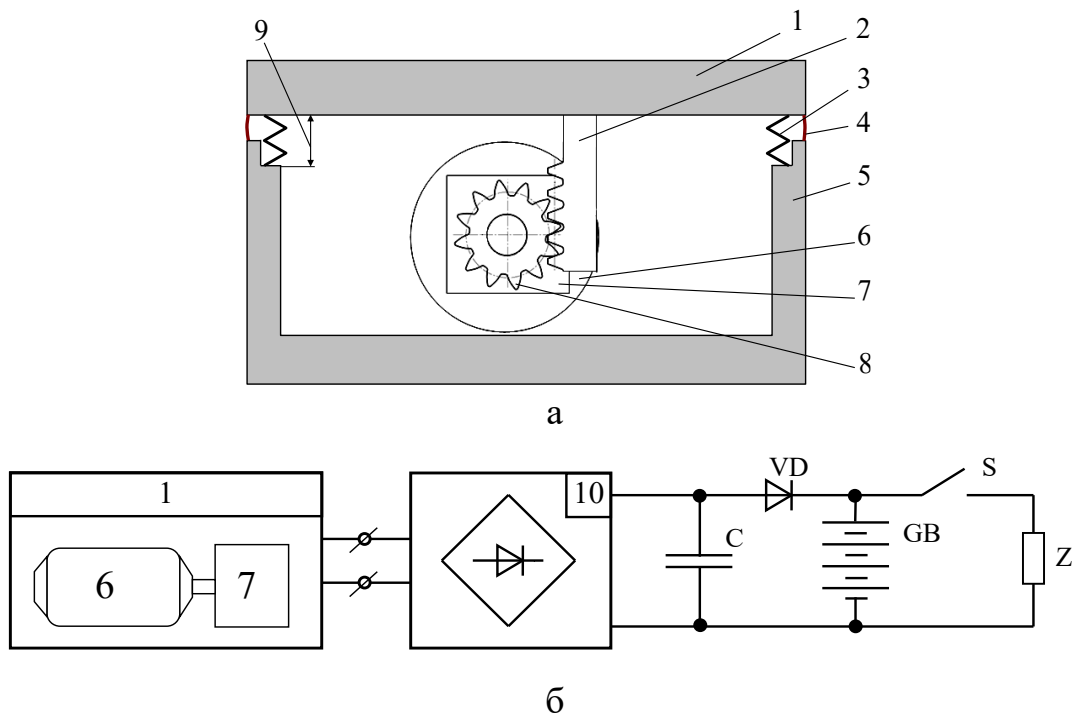


1 - натискну кришку; 2 - рейка приводу генератора; 3 - пружини; 4 - герметичне сполучення кришки з корпусом; 5 - корпус; 6 - електрична машина (генератор); 7 - шестерня приводу генератора; 8 - робочий хід натискної кришки

Рисунок 2.10 – Конструкція ЕПЛ з електричною машиною обертового типу

Принцип дії ЕПЛ з електричною машиною обертового типу, рисунок 2.10 приведено у п.п. 2.3.3.

2.2.5 ЕПЛ з електричною машиною обертового типу та мультиплікатором. Як і в попередньому випадку (дивись рисунок 2,11). Принцип роботи даної ЕПЛ, як і попередньої конструкції, полягає в перетворенні кінетичної та механічної енергії в електричну енергію, що, за своєю суттю, віднесено до генераторів електричної енергії [29, 50, 69, 71].



а - конструкція пристрою б - схема електрична принципова пристрою: 1 - натискна кришка; 2 - рейка приводу генератора; 3 - пружини; 4 - герметичне сполучення кришки з корпусом; 5 - корпус; 6 - електрична машина (генератор); 7 - мультиплікатор; 8 - шестерня приводу генератора; 9 - робочий хід натискної кришки; 10 - електричний випрямляч; С - ємнісний накопичувач; VD - діод; GB - акумулятор; S — вимикач; Z - навантаження

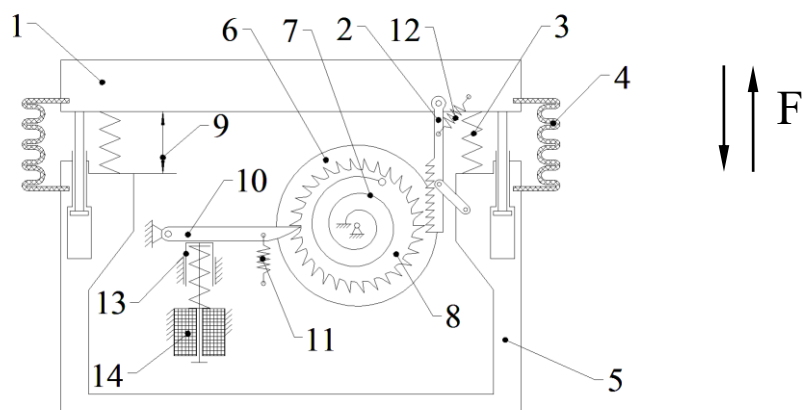
Рисунок 2.11 – Конструкція ЕПЛ з електричною машиною обертового типу та мультиплікатором

Пропонується конструкція ЕПЛ, яка перетворює кінетичну енергію у електричну за допомогою електрогенератора. Цей електрогенератор має корпус з натискною кришкою, де розташовані ротор і статор, які можуть

перемішуватися один відносно одного (дивись рисунок 2.11, а). Кінці обмоток статора з'єднані між собою та виведені до електричного випрямляча, а вихідні затискачі випрямляча підключені до іоністора. Через діод іоністор заряджає АКБ, яка, у свою чергу, може бути підключена до електричного навантаження через вимикач (дивись рисунок 2.11, б). Ротор генератора обертається навколо своєї осі під впливом рейки приводу генератора через циліндричний мультиплікатор, який збільшує кутову швидкість обертання.

Принцип дії ЕПЛ з електричною машиною обертального типу, рисунок 2.11 приведено у п.п. 2.3.4.

2.2.6 ЕПЛ з пружинним накопичувачем. У даній конструкції ЕПЛ є певні особливості: віна характеризується компактними розмірами і є простою у встановленні в областях з високою концентрацією пішохідного руху [29, 65, 73]. Однак процес перетворення кінетичної енергії в електричну в цій ЕПЛ виявляється більш ефективним порівняно з іншими конструкціями, що описані вище, завдяки використанню пружинного накопичувача. Роботу пристрою демонструють схематичні креслення, наведені на рисунках 2.12 - 2.14.



- 1 – натискна кришка; 2 – рейка приводу генератора; 3 – пружини; 4 – герметичне сполучення кришки з корпусом; 5 – корпус; 6 – електрична машина (генератор); 7 – плоска спіральна пружина; 8 – шестерня приводу генератора; 9 – робочий хід натискної кришки; 10 – фіксатор; 11 – пружина фіксатора; 12 – пружина рейки приводу генератора; 13 – якор електромагніту; 14 – електромагніт фіксатора; 15 – електричний випрямляч; F – сила натискання; ω – кутова швидкість обертання С – ємнісний накопичувач; VD – діод; GB – акумулятор; S – вимикач; Z – навантаження

Рисунок 2.12 – Конструкція ЕПЛ з пружинним накопичувачем

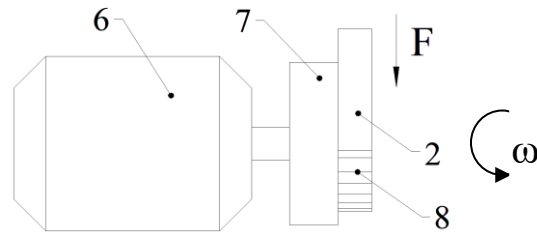


Рисунок 2.13 – Конструкція електромашинного вузлу ЕПЛ з пружинним накопичувачем

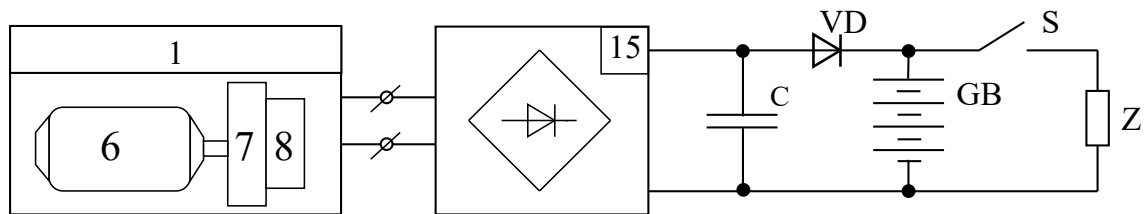


Рисунок 2.14 – Схема електрична ЕПЛ з пружинним накопичувачем

2.3 Особливості роботи енергогенеруючої плити

2.3.1 Принцип роботи ЕПЛ. Принцип роботи системи генерації електричної енергії – ЕПЛ з лінійним генератором, рисунок 2.8 [29, 49, 50, 52, 55, 67, 68]. Коли здійснюється натискання на ЕПЛ, його натискна кришка 1, що кріпиться до корпусу 6, починає рухатися вниз, тим самим забезпечує роботу ЕПЛ, як лінійного генератора (рисунок 2.8,а). Неодимові магніти в натискній кришці 3 ЕПЛ встановлено однаковими полюсами до полюсів магнітів ротора 8. Це призводить до того, що вони відштовхують ротор до низу. Це відбувається, поки натискна кришка 4 не пройде весь свій робочий хід. Коли натискна кришка 1 розташована на у нижньому положенні, неодимові магніти ротора 8 піддаються максимальному магнітному тиску від неодимових магнітів у корпусі 10, які також мають однакову орієнтацію полюсів відносно полюсів неодимових магнітів ротора 8 та відштовхують ротор вгору. Таким чином, неодимові магніти в натискній кришці 3 та неодимові магніти в корпусі 10 функціонують як демпферні

пружини. З механічною інерцією ротор коливається між неодимовими магнітами в натискній кришці 3 та неодимовими магнітами у корпусі 10, аналогічно руху між демпферними пружинами. Після відведення ноги від ЕПЛ пружини 5 повертають натискну кришку 1 у вихідне положення, що збільшує робочий хід натискної кришки 4, тим самим сприяючи переміщенню неодимових магнітів ротора 8 вгору, оскільки сила магнітного тиску від неодимових магнітів у корпусі 10 перевищує тиск від неодимових магнітів у натискній кришці 3. Зворотно-поступальний рух ротора створює змінний електричний струм у котушках статора (K1...K3) 9. Обмотки статора 2 з'єднані між собою та підключені до електричного випрямляча 11 (дивись рисунок 2.8,б), з якого через затискачі заряджається ємнісний накопичувач С – іоністор та, через діод VD, акумулятор GB. Вимикач S активує світлодіодне навантаження HL у електричному колі, де знаходиться акумулятор GB.

Особливістю запропонованої ЕПЛ є її компактні розміри та зручна установка в областях з високою концентрацією пішоходів та інтенсивним потоком людського руху.

2.3.2 Принцип роботи ЕПЛ з лінійним генератором та п'єзокерамікою. Принцип роботи цієї ЕПЛ ідентичний попередньому технічному рішенню (дивись рисунок 2.9), однак має одну відмінність: процес перетворення кінетичної енергії в електричну відбувається через два канали [29, 49, 70, 72]. Під час натискання на натискну кришку 1, окрім процесу, описаного на схемі на рисунку 2.9, вона також містить вбудовані п'єзоелектричні елементи 2, які генерують імпульс електричної енергії. Ця енергія накопичується в ємнісному накопичувачі С через електричний випрямляч 11 (дивись рисунок 2.9, б). Таким чином, ця конструкція дозволяє здійснювати більш ефективне перетворення кінетичної енергії від натискання в електричну.

2.3.3 Принцип дії ЕПЛ з електричною машиною обертового типу. Під час натискання на ЕПЛ з електричною машиною обертового типу, натискна кришка 1, що приєднана до корпусу 4, рухається вниз (дивись рисунок 2.10), переміщуючи рейку приводу генератора 2 [29, 49, 50, 70, 72]. Ця рейка з'єднана з

шестернею приводу генератора 7 за допомогою зубців шестерні. Рейка приводу генератора 2 опускається вниз на весь робочий хід натискної кришки 8, поки кришка 1 не опиниться на корпусі 5, внаслідок чого шестерня приводу генератора 7, що жорстко закріплена на валу ротора генератора 6, обертається. Ротор генератора виконано у вигляді ротора електричної машини з неодимовими магнітами, які обертаються навколо своєї осі, і створюють електрорушійну силу (ЕРС) у витках статора генератора 6. Коли натискна дія завершується, пружини 3 повертають кришку 1 в початкове положення, а ротор генератора, під впливом рейки приводу генератора 2 через шестерню приводу генератора 7, починає обертатися у зворотному напрямку, що також наводить ЕРС в обмотках статора з від'ємним значенням. Обмотки статора генератора підключені до електричного випрямляча 11 (дивись рисунок 2.8, б). Після наведення ЕРС в обмотках, через електричний випрямляч 11, створюється змінний електричний струм, який заряджає ємнісний накопичувач С - іоністор, а також акумулятор GB через діод VD. Вмикач S вмикає електроживлення до навантаження HL.

Отже, пропонована структура ЕПЛ з електричною машиною обертального типу сприяє підвищенню ефективності перетворення енергії від натискання на електричну, завдяки застосуванню електромеханічного перетворювача на основі електричної машини з обертальним ротором. При цьому розміри пристрою залишаються незмінними порівняно з попередніми моделями.

2.3.4 Принцип роботи ЕПЛ з електричною машиною обертального типу та мультиплікатором. Принцип дії даної ЕПЛ пояснюється схемними моделями, рисунок 2.11 [29, 49, 50, 69, 71].

Під час натискання на ЕПЛ з мультиплікатором, його натискна кришка 1 (дивись рисунок 2.11, а), яка приєднана до корпусу 4, рухається вниз під дією натиску, що в результаті переміщує рейку приводу генератора 2. Ця рейка з'єднана з шестернею приводу генератора 8 за допомогою зубців. Рейка переміщується вниз на весь робочий хід натискної кришки 9, поки кришка 1 не спирається на корпус 5, що в свою чергу обертає шестерню приводу генератора

8. Ця шестерня посаджена на вал ротора електричної машини 6 та мультиплікатора 7, який збільшує кутову швидкість обертання ротора електричної машини 6. Ротор генератора, обертаючись відносно своєї осі, створює електрорушійну силу в обмотках статора електричної машини 6. При зникненні натиску, пружини 3 повертають натискну кришку 1 в початкове положення, а ротор генератора, під дією рейки приводу генератора 2 через шестерню приводу генератора 8, починає обертатися у зворотному напрямку, що створює електрорушійну силу в обмотках статора з протилежним напрямом. Обмотки статора генератора підключені до електричного випрямляча 10 (дивись рисунок 2.11, б). При наявності електрорушійної сили в обмотках, починає протікати змінний електричний струм, який після випрямлення на електричному випрямлячі 10 заряджає ємнісний накопичувач С – іоністор та через діод VD – акумулятор GB. Вмикач S дозволяє увімкнутий для живлення навантаження Z.

Отже, використання запропонованої конструкції ЕПЛ, яка включає електричну машину обертального типу та мультиплікатор, дозволяє підвищити ефективність процесу генерації електроенергії. Це досягається завдяки застосуванню електромеханічного перетворювача енергії на основі електричної машини, який працює разом з мультиплікатором. При цьому розміри ЕПЛ залишаються на тому ж рівні, що й у попередніх моделях (дивись рисунки 2.8 – 2.10).

2.3.5 Принцип роботи ЕПЛ з пружинним накопичувачем. Під час натискання на ЕПЛ з пружинним накопичувачем, його натискна кришка 1, з'єднана з корпусом 4, починає опускатися під дією сили натискання F (дивись рисунки 2.12 - 2.14) [29, 65, 73]. Це призводить до переміщення рейки приводу генератора 2, яка з'єднана з шестернею приводу генератора 8. Рейка приводу генератора 2 рухається вниз на весь робочий хід натискної кришки 9, поки остання не дійде до корпусу 5, і тим самим приводить у рух шестерню приводу генератора 8. Шестерня приводу генератора 8 натягує плоску спіральну пружину 7. Щоб уникнути зворотного обертання шестерні приводу генератора 8,

встановлено фіксатор 10, який за допомогою пружини фіксатора 11 забезпечує обертання шестерні приводу генератора 8 тільки в одному напрямку. Після зняття натискання на електромеханічний пристрій для перетворення кінетичної енергії в електричну з пружинним накопичувачем, пружини 3 повертають натискну кришку 1 в початкове положення, а пружина рейки приводу генератора 12 фіксує рейку приводу генератора 2 у початковому положенні. Рейка приводу генератора 2 прикріплена до натискної кришки 1 шарнірним з'єднанням, що дозволяє їй відхилятися при русі угору. Після кількох натискань на натискну кришку 1, плоска спіральна пружина 7 натягується до максимального значення, і тоді спрацьовує електромагніт фіксатора 14, який притискає до себе якір електромагніту 13. Це спричиняє розкручування плоскої спіральної пружини 7 на роторі електричної машини (генератора) 6, який починає обертатися з кутовою швидкістю ω . Після повного розкручування плоскої спіральної пружини 7 вона фіксується у початковому положенні, в якому генератор вже не обертається від плоскої спіральної пружини 7. Ротор генератора з неодимовими магнітами обертається відносно своєї осі і наводить електрорушійну силу в обмотках статора електричної машини (генератора) 6. Обмотки статора генератора підключені до електричного випрямляча 15 (дивись рисунок 2.14). Після наведення ЕРС по обмотках починає протікати змінний електричний струм, який після випрямлення на електричному випрямлячі 15 заряджає ємнісний накопичувач С - іоністор та через діод VD - акумулятор GB. Вмикач S призначений для підключення живлення до навантаження Z.

Отже, запропоновано модель ЕПЛ, який має пружинний накопичувач, дозволяє підвищити ефективність процесу перетворення енергії від натискання в електричну за допомогою електромеханічного перетворювача енергії, що базується на електричній машині – генератору. Цей генератор приводиться в дію плоскою спіральною пружиною. В той же час, розміри ЕПЛ залишаються незмінними порівняно з вище приведеними моделями.

2.4 Аналіз схемних рішень

Найбільш простою та зрозумілою, як в плані технічної реалізації так і фізичних процесів, що протікають представляється перший з наведених моделей, рисунок 2.8. Але слід зазначити, що для його ефективної роботи повинні буди досить різкі натискання, це очевидно з фізичного принципу його роботи. Комбінування в одному пристрої двох джерел перетворення кінетичної енергії від натискання в електричну, що запропоновано у пристрої «ЕПЛ з лінійним генератором та п'єзокерамікою», рисунок 2.9 призведе до підвищення ефективності процесу, як перетворення енергії, так і її генерації. Але використання п'єзоелементів (п'єзогенераторів) призводить до значного подорожчання самого пристрою. Це обумовлено як наявністю додаткових перетворювачів енергії, так і систем електроживлення та управління цими системами. Також слід зазначити фактор невеликої надійності п'єзокераміки, тобто здатність їх працювати тривалий час в умовах постійного фізичного навантаження [77]. Отже, як з економічної точки зору, так і з позиції тривалої безвідмовної експлуатації до другої моделі є зазначені застереження.

Моделі ЕПЛ, що базуються на принципі дії електричних машин з обертовим ротором, виявляються більш ефективними у перетворенні кінетичної та механічної енергії обертання в електричну. Малопотужні електромашинні генератори також відзначаються прийнятною вартістю і надійністю. Це пояснюється їхнім довготривалим застосуванням у промисловості та побуті, що сприяло досягненню високих показників надійності та коефіцієнта корисної дії.

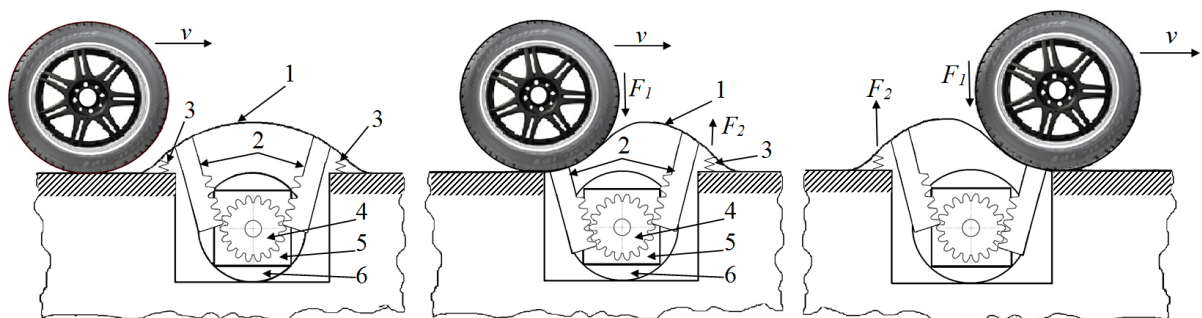
Модель пристрою «ЕПЛ з електричною машиною обертального типу» (рисунок 2.10) можна порівняти з динамо-машинами, що мають механічний привід від рейки приводу з передачею моменту. Переміщення натискної кришки в цих пристроях, з точки зору комфорту і зручності користувачів, має бути обмеженим до 10 мм або навіть менше, щоб перетворення лінійного руху на обертання (в зазначених межах) було ефективним. Зрозуміло, що для покращення цих показників необхідно ввести додатковий компонент -

мультиплікатор (редуктор). Використання механічних мультиплікаторів з різноманітними передаточними числами від 1:5 до 1:12 може значно підвищити ефективність пристрою та покращити його показники у кількості генерованої електроенергії. Очевидно, що передаточне число мультиплікатора можна збільшити, але варто розрахувати коефіцієнт корисної дії процесу перетворення енергії та передачі моменту. Вибір механічного мультиплікатора та його передаточного числа також залежить від конструктивних особливостей моделі ЕПЛ та потужності електромашинного вузла [11, 50, 55, 56, 59, 61-65].

Варто зазначити, що описані вище моделі ЕПЛ можна використовувати не тільки у місцях з великою щільністю людського потоку, а й наприклад, на місцях зупинки громадського транспорту, різного роду переходах тощо. Також, їх можна масштабувати і використовувати, як пристрої генерації електроенергії від проїзду АТЗ на дорогах загального користування [57, 60, 74, 75].

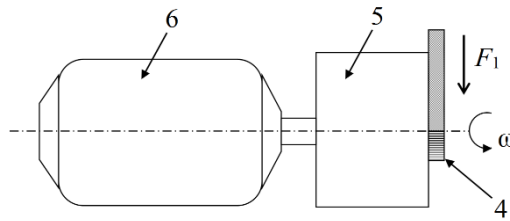
2.5 Штучна дорожня нерівність з функцією генерації електроенергії

Суть запропонованого пристрою пояснюється схематичними кресленнями. На рисунках 2.15 – 2.17 показано конструкцію та роботу штучної дорожньої нерівності з функцією генерації електроенергії [11, 29, 57, 60, 74, 75].



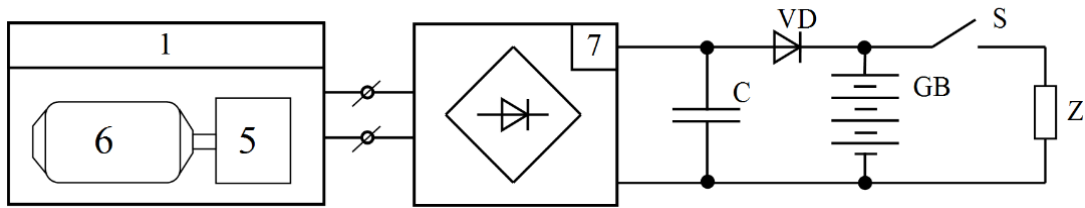
1 - товстолистова шина; 2 - рейки приводу електрогенератора; 3 - пружини; 4 - шестерня приводу електрогенератора; 5 - мультиплікатор; 6 - електрогенератор; F_1 – сила натискання; F_2 – сила дії пружини; v – швидкість руху транспортного засобу

Рисунок 2.15 – Схема роботи штучної дорожньої нерівності з функцією генерації електроенергії



4 - шестерня приводу електрогенератора; 5 - мультиплікатор; 6 - електрогенератор; F_1 – сила натискання; ω – кутова швидкість обертання

Рисунок 2.16 – Схема електромашинного вузла штучної дорожньої нерівності з функцією генерації електроенергії



1 - товстолистова шина; 5 - мультиплікатор; 6 - електрогенератор; 7 - електричний випрямляч; C - ємнісний накопичувач; VD - діод; GB - акумуляторна батарея; S - вимикач; Z - навантаження

Рисунок 2.17 – Схема електрична-принципова штучної дорожньої нерівності з функцією генерації електроенергії

Запропонований пристрій, штучна дорожня нерівність з функцією генерації електроенергії, має наступні конструктивні елементи (дивись рисунок 2.18): товстолистова шина 1; рейки приводу електрогенератора 2; пружини 3; шестерня приводу електрогенератора 4; мультиплікатор 5; електрична машина (електрогенератор) 6; електричний випрямляч 7; F_1 – сила натискання; F_2 – сила дії пружини; v – швидкість руху транспортного засобу; ω – кутова швидкість обертання C – ємнісний накопичувач; VD – діод; GB – акумулятор; S – вимикач; Z – навантаження.

Особливості роботи штучної дорожньої нерівності з функцією генерації електроенергії. Автомобільне колесо зі швидкістю v в'їжджає на товстолистову шину 1, прикріплену до дорожньої поверхні для уповільнення руху автомобілів, що з'єднана з рейками приводу електрогенератора 2 і пружинами 3, товстолистова шина 1 рухається вниз під впливом ваги автомобіля – сила натискання F_1 (дивись рисунки 2.15, 2.16). Це переміщення викликає рух одної з рейок приводу електрогенератора 2, яка зачеплена з шестернею приводу

електрогенератора 6. Рейка приводу електрогенератора 2 опускається вниз до повного стискання пружини 3, обертаючи при цьому шестерню приводу електрогенератора 4, яка кріпиться на валу мультиплікатора 5. Мультиплікатор збільшує кутову швидкість обертання ω ротора електричної машини (електрогенератора) 6. Коли колесо переходить на другу половину товстолистової шини 1, процес повторюється, але буде працювати друга рейка приводу електрогенератора 2. Під час цього перша пружина 3, яка була стиснута під впливом колеса, починає розпрямляється під дією сили F_2 , а друга пружина, навпаки, стискається під дією сили F_1 , і ротор електрогенератора, під впливом другої рейки приводу електрогенератора 2 через шестерню приводу електрогенератора 4, починає обертатися в зворотному напрямку. Це обертання утворює електрорушійну силу в обмотках статора, але зі знаком «мінус». До електричного випрямляча 7 підключаються затискачі обмотки статора електрогенератора (дивись рисунок 2.17). Під дією електрорушійної сили в обмотках збуджується змінний електричний струм, який, після випрямлення на електричному випрямлячі 7, заряджає ємнісний накопичувач C - іоністор та через діод VD - акумулятор GB . Вимикач S призначений для відключення електроживлення від навантаження Z .

Отже, використання штучної дорожньої нерівності з функцією генерації електроенергії сприяє підвищенню ефективності перетворення енергії, отриманої від натискання, в електричну енергію саме від АТЗ, що по ній проїжджають. Це досягається за допомогою електромеханічного перетворювача енергії, який побудовано на електричній машині та працює через редуктор, що підвищує швидкість обертання – мультиплікатор. Даний пристрій має подвійне призначення – це генерація електроенергії та обмеження швидкості АТЗ.

Пропонується замінити звичайні штучні дорожні нерівності розглянутою моделлю штучної дорожньої нерівності з функцією генерації електроенергії. Впровадження даного роду пристроїв дозволить не тільки поліпшити безпеку на дорогах загального користування, особливо в жилій зоні, а й генерувати певне значення електроенергії для використання в зарядній інфраструктурі електромобілів чи для електроживлення тих же об'єктів інфраструктури електричних АТЗ.

Висновки по розділу 2

Проведені дослідження в рамках Розділу 2 дозволяє сформулювати наступні висновки.

Застосування вентильних електричних машини в АТЗ визначається вимогами, що висуваються до управління тяговим електроприводом, що відповідають різним режимам руху автомобіля.

Найбільш інформативна класифікація електричних ГСУ визначається наступними ознаками: функціональне призначення; енергетична автономність; конфігурація схеми.

Запропоновано будову різноманітних пристроїв та систем генерації електричної енергії, які мають різний принцип дії та призначення.

Розглянуто різноманітні конструкції запропонованих пристроїв та систем генерації електричної енергії та вибрано для використання в якості енергогенеруючої плити на тротуарах та у місцях з значною густиною людського потоку конструкцію з електричною машиною обертового типу та мультиплікатором (рисунок 2.11). В той же час, для використання на дорогах загального користування, як штучна дорожня нерівність, вибрано та запропоновано пристрій, схему якого зображено на рисунку 2.15.

Запропонований штучна дорожня нерівність з функцією генерації електроенергії призначена для обмеження швидкості транспортних засобів та має функцію генерувати електричну енергію при проїзді по ній АТЗ. Електроенергія, вироблена пристроєм, може бути використана для додаткового електроживлення споживачів електроенергії – об'єктів інфраструктури сучасного автотранспорту, зарядних станцій електромобілів тощо.

Електромеханічний пристрій перетворення кінетичної енергії в електричну з пружинним накопичувачем (рисунок 2.12 – 2.14) володіє перевагами у порівнянні з пристроєм, що представлені на рисунках 2.8, 2.9. Але він в своєму складі має пружинний накопичувач. Останній можна розглядати, як слабе місце цього пристрою, бо він потребує значно більше складових

частин, ніж попередні конструкції пристроїв. Це призводить до ускладнення та збільшення собівартості пристрою у порівнянні з вище розглянутими конструкціями. Також, робота пружинного накопичувача супроводжується відповідним гучним шумом, що також слід віднести до його недоліків. Та й пружинний накопичувач, час від часу, вимагає додаткового технічного обслуговування.

Отже, найбільш привабливим та ефективним вважається пристрій «ЕПЛ з електричною машиною обертального типу та мультиплікатором» (дивись рисунок 2.11), який вибрано для кінематичного синтезу, виготовлення та подальших експериментальних досліджень.

Розділ 3

РОЗРОБКА ТА ПРАКТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧОЇ ПЛИТИ ДЛЯ ТРАНСПОРТУ ТА ЙОГО ЗАРЯДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

3.1 Конструкція енергогенеруючої плити для транспорту

3.1.1 Кінематичний синтез триступеневого мультиплікатора енергогенеруючої плити. Метою проведення кінематичного синтезу триступеневого мультиплікатора є пошуку шляхів мінімізації вартості його виробництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- вибрати тип і схемне рішення мультиплікатора з урахуванням вартості його складових елементів;
- визначити передаточне число мультиплікатора і момент опору на його валу;
- визначити умови, що забезпечують роботу електрогенеруючого механізму;
- запропонувати схему компоновки ЕПЛ з мультиплікатором.

На даний момент існує низка питань, відповіді на які дозволять створити ефективне, дешеве, універсальний пристрій, що генерує альтернативну електричну енергію [29, 51, 61, 62, 78]. А саме:

- наскільки ефективно здатний працювати КД в малопотужному електромашинному перетворювачі енергії;
- скільки електроенергії може згенерувати КД, використовуючи мультиплікатори в даних перетворювачах.

Відповіді на ці запитання частково будуть розкриті в представленій роботі.

Першу проблему, яку слід вирішити при розробці пристрою - це мінімізація переміщення (опускання) верхньої кришки пристрою в момент, коли на неї виконується силова дія при натисканні. Якщо переміщення буде

великим, то, наприклад людина, що робить на неї крок, може відчувати дискомфорт. Таким чином, для забезпечення прийняттого рівня напруги на виході генераторів, необхідно невелике переміщення вхідної ланки (верхньої кришки пристрою) перетворити в відносно великий кут повороту валу генератора електричної машини (КД).

Для цієї мети було вирішено використовувати мультиплікатор і куліснокривошипний механізмом.

Для кінематичного синтезу мультиплікатора вибрано його узагальнену схему (дивись рисунок 2.4). Прийнято рішення використовувати стандартні деталі передач побутової техніки, які можна придбати у вільному продажу. Такий підхід, зокрема, обумовлений тим, що вартість виготовлення зубчастого колеса може доходити до 1500 грн (ціна, станом на 2023 р.), в той час, як пара запасних коліс (шестерня - зубчасте колесо) коштує близько 120 грн.

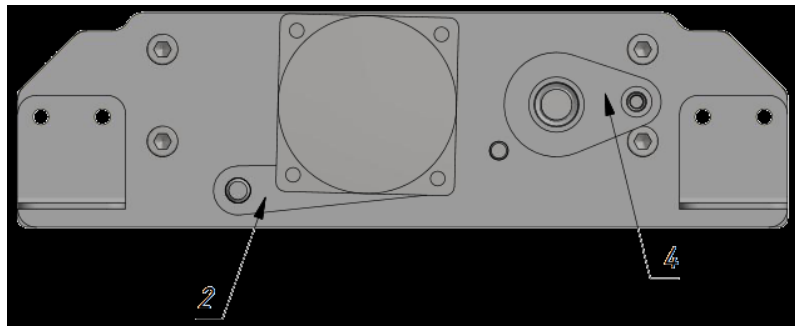
Таким чином, в якості основного елемента приводу обрана пара циліндричних косозубих зубчастих коліс з модулем 1,5, кількістю зубів шестерні рівним 14 і зубчастого колеса рівним 30. Така пара може забезпечити збільшення кута повороту валу генератора в 2,14 рази (дивись рисунок 3.1) .



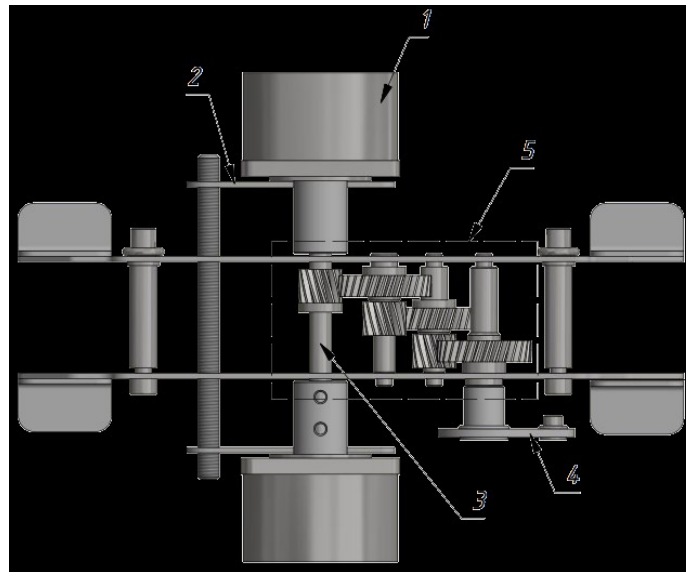
Рисунок 3.1 – Пара зубчастих коліс, що використовується у мультиплікаторі

Для забезпечення кута повороту валу генератора за один цикл близько від 400^0 до 500^0 необхідно використовувати триступеневий мультиплікатор.

Загальний вигляд компоувальною схеми мультиплікатора представлений на рисунку 3.2.



а



б

а - вид збоку; б - вид зверху: 1 - ШКД типу ДШП200; 2 - реактивні тяги; 3 - вихідний вал мультиплікатора; 4 - кривошип; 5 - триступеневий мультиплікатор

Рисунок 3.2 – Загальний вид мультиплікатора

Для вироблення напруги використовується два КД типу ДШП200 (дивись рисунок 3.2) 1, встановлених співвісно на вихідному валу мультиплікатора 3. Для запобігання обертання корпусів КД, виконана їх фіксація від повороту двома реактивними тягами 2. КД приводяться в рух триступінчатим мультиплікатором 5, вхідний рух якого задає кривошип 4. Таким чином, загальне передаточне число приводу становить

$$i_{\Sigma} = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 = 9,8. \quad (3.1)$$

3.1.2 Принцип роботи механізму. Важливим кроком для подальшого проектування електроприводу є вивчення реального моменту опору на вхідному валу мультиплікатора. Косозубі шестерні зумовлюють появу осьової сили, що в свою чергу призводить до зниження ефективності роботи механізму.

Замір моменту опору проводився виміром максимальної сили, що прикладається до кривошипа і приводить механізм у рух. Загальна компоновка стенду для вимірювання сили показана на рисунку 3.3.

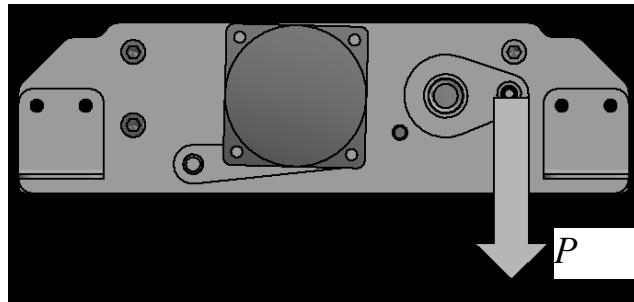


Рисунок 3.3 – Схема прикладання сили корисного опору

При експериментальних вимірах сила склала $P = 98 \text{ Н}$.

Для аналізу силової схеми впливу на верхню кришку (плиту) зобразимо всі діючі на неї сили.

По кутах на плиту будуть встановлені пружини, які будуть деформуватися під дією ваги, наприклад, людини чи транспортного засобу і забезпечувати повернення плити в початкове положення. Сили пружності пружин зображені на рисунку 3.4 ($F_{\text{пр}}$). По центру плити прикладена реакція $F_{\text{пс}}$ з боку шатуна, встановленого на вхідний кривошипний механізм мультиплікатора.

Зверху на плиту здійснюється натискання (від людини чи транспортного засобу). Прийmemo середнє значення цієї сили рівним 700 Н (для людини).

Таким чином, аналізуючи наведену силову схему можемо виділити кілька умов які забезпечують роботу механізму:

- вага людини/транспортного засобу ($G_{\text{ч}}$) повинна бути більше суми сили корисного опору ($F_{\text{пс}}$) і максимальної сумарної сили опору пружин ($4F_{\text{пр}}$), щоб забезпечити переміщення плити вниз;
- сумарна сила опору пружин ($4F_{\text{пр}}$) повинна бути більше сили корисного опору ($F_{\text{пс}}$), щоб забезпечити повернення плити в початкове положення.

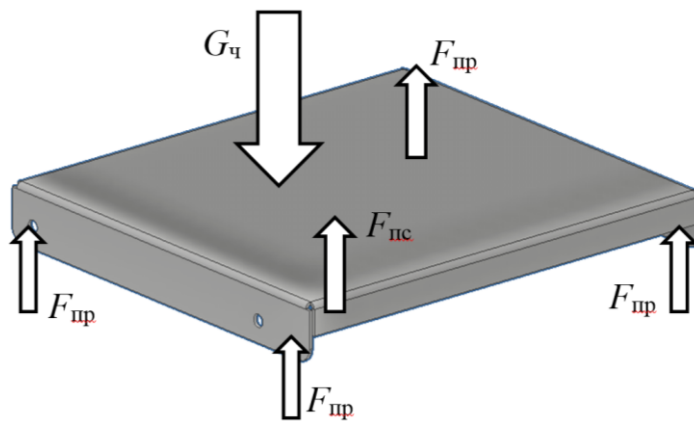


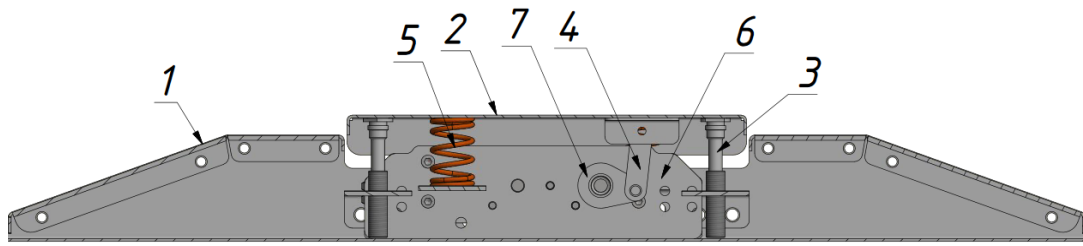
Рисунок 3.4 – Схема силових впливів, прикладених до плити

Аналітично ці умови можна записати в наступному вигляді

$$\begin{cases} G_{\text{ч}} > F_{\text{пс}} + 4F_{\text{пр}}; \\ 4F_{\text{пр}} > F_{\text{пс}}. \end{cases} \quad (3.2)$$

Таким чином, плита при настанні на неї людини вагою близько 70 кг, повинна забезпечувати зусилля на кривошипі близько 100 Н, що призведе до деформації пружин. Виходячи з наведених умов можна підібрати пружини з відповідним коефіцієнтом жорсткості. Аналогічним чином, в залежності від середньої ваги транспортного засобу, підбираються відповідні пружини (якщо силову дію на пристрій буде здійснювати транспортні засоби).

Загальна схема компоновання пристрою показана на рисунку 3.5 [78-80].



1 – бокові скати; 2 – верхня кришка (плита); 3 – циліндричні направляючі; 4 – шатун; 5 – зворотні пружини; 6 – корпус; 7 – кривошип

Рисунок 3.5 – Загальна схема компоновання ЕПЛ

Поступальний рух плити 2 забезпечують чотири циліндричні направляючі 3. Це поступальний рух перетворюється в обертальний рух кривошипного механізму 7 триступеневого мультиплікатора 6 за допомогою шатуна 4. При цьому верхня кришка плити приводиться в початок робочого ходу за допомогою 4-х зворотних пружин 5. З двох сторін робочі елементи прикриті двома скатами 1.

3.1.3 Висновки щодо кінематичного синтезу триступеневого мультиплікатора системи генерації електричної енергії.

Представлено розгляд загальної компоновки ЕПЛ. При її проектуванні доцільно використовувати готові деталі існуючих серійних електроприладів. Це забезпечить економічну доцільність виготовлення таких пристроїв на етапі запуску їх в серійне виробництво.

Представлений проектний кінематичний розрахунок триступінчатого мультиплікатора електроприводу генератора. Як генератор використовуються два крокових двигуна типу ДШІ200.

Запропоновано і спроектований мультиплікатор на основі пари циліндричних косозубих зубчастих коліс з модулем 1,5 і з сумарним передаточним числом $i = 9,8$.

Сформульовано силові умови, що забезпечують роботу системи генерації електричної енергії.

Запропоновано схему компоновки ЕПЛ з мультиплікатором з косозубими шестернями.

3.2 Експериментальні дослідження енергогенеруючої плити та мультимікатором з косозубими шестернями

3.2.1 Схема електрична енергогенеруючої плити. Запропонований пристрій може включати декілька електромашинних вузлів, що генерують електроенергію (декілька електроприводів з КД), або декілька електродвигунів в одному електромашинному вузлу. Необхідно визначити ступінь впливу кількості електродвигунів в електромашинному вузлу ЕПЛ на значення згенерованої електроенергії.

Схема електрична-принципова ЕПЛ представлена на рисунку 3.6. У відповідності до представленої схеми розроблено дослідний зразок ЕПЛ, рисунку 3.2.

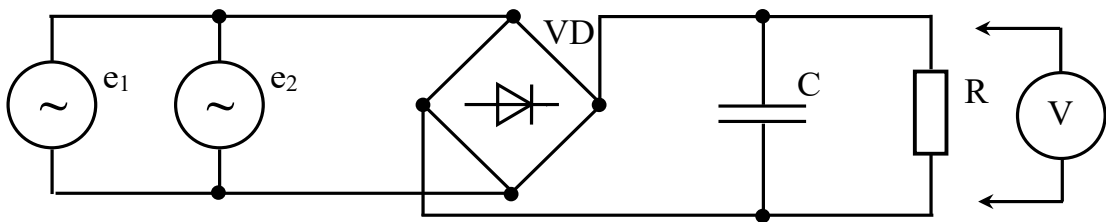


Рисунок 3.6 – Схема електрична ЕПЛ

У відповідності до рисунку 3.2 та 3.6, ЕПЛ має у своєму складі електромашинного вузла два КД, які з'єднані паралельно у відношенні до електричного навантаження, тобто, працюють за паралельною схемою на одне навантаження, якщо розглядати їх генераторний режим роботи [29, 51].

Зі статорної обмотки КД вимірюється сигнал напруги на активному опорі R . При відомому значенні опору навантаження (шунта) та проводячи вимірювання залежності напруги від часу $u = f(t)$, визначається, у відповідності до закону Ома, залежність згенерованої потужності від часу $p = f(t)$ [61]

$$u(t) = R \cdot i(t), \quad (3.3)$$

де $u(t)$ – змінна напруга, В;

R – активний опір кола, Ом;

$i(t)$ – змінний струм, А.

Миттєва потужність, що виділяється на опорі визначається [29, 54]

$$P = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R}, \quad (3.4)$$

де P – миттєва потужність, Вт;

$$u = u(t) = U_m \sin(\omega t + \psi_u);$$

$$i = i(t) = I_m \sin(\omega t + \psi_i).$$

Відомо, що для резистора $\psi_u = \psi_i$, тоді для потужності p отримаємо

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = U_m I_m \sin^2(\omega t + \psi_u); \quad (3.5)$$

З рівняння (3.5) видно, що миттєва потужність завжди більше нуля і змінюється у часі. У таких випадках прийнято розглядати середню за період T потужність

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{U_m I_m}{T} \int_0^T \sin^2(\omega t + \psi_u) dt. \quad (3.6)$$

Виконавши інтегрування отриманих кривих $p = f(t)$ визначається значення згенерованої потужності.

3.2.2 Дослідження ЕПЛ з косозубим типом зубчатих коліс у мультиплікаторі. У відповідності до рисунків 3.2 та 3.6 було розроблено дослідний зразок ЕПЛ, зовнішній вигляд якої представлено на рисунку 3.7. Конструктивні особливості розробленого пристрою дозволяють проводити дослідження як кожного КД окремо, так і разом при спільній роботі на загальне навантаження.



а – зовнішній вигляд; б – електромашинний вузол

Рисунок 3.7 – ЕПЛ з косозубим типом зубчатих коліс у мультиплікаторі

Умови експерименту.

1. Дослідження роботи електромашинного вузлу ЕПЛ при підключенні одного КД.

2. Дослідження роботи електромашинного вузлу ЕПЛ при підключенні 2-х КД.

Метою експериментальних досліджень є визначення доцільності використання в електромашинному вузлу двох КД. А також визначення значення згенерованої електроенергії ЕПЛ при одному натисканні на неї.

У відповідності до електричної схеми, рисунок 3.6, було вибрано опір навантаження $R = 18 \text{ Ом}$. Цифровим вольтметром V вимірюється сигнал напруги на опорі R та розраховується струм навантаження (за законом Ома). Потім розраховується потужність, яка виділяється на даному опорі [29, 51].

Для зменшення похибки вимірювання досліди були поділені на 100 серій по 30 кроків на ЕПЛ. В експериментальних дослідженнях приймало участь 10 чоловік з вагою від 50 кг до 90 кг. Темп та швидкість кроків відповідала звичайному темпу ходи зі швидкістю 5 км/год.

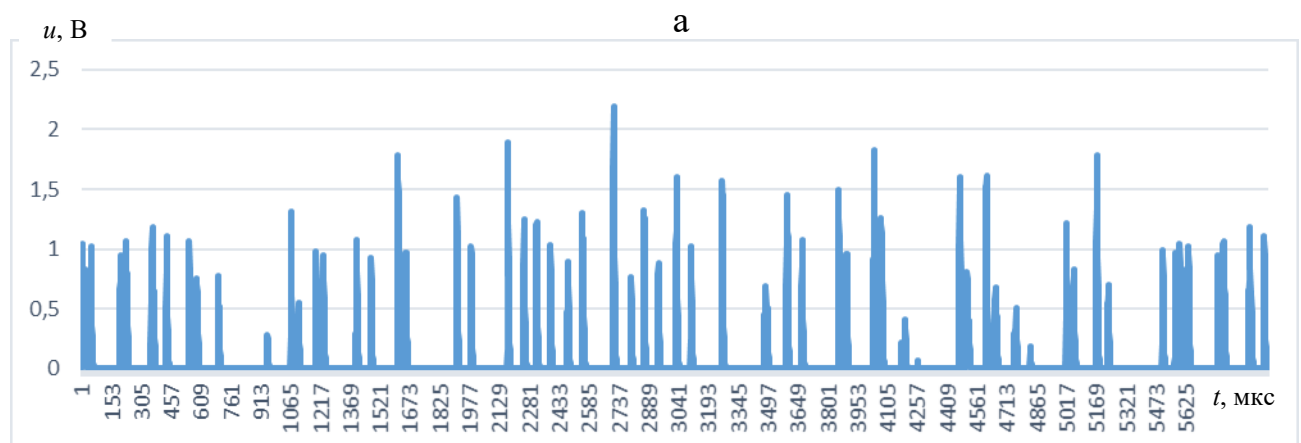
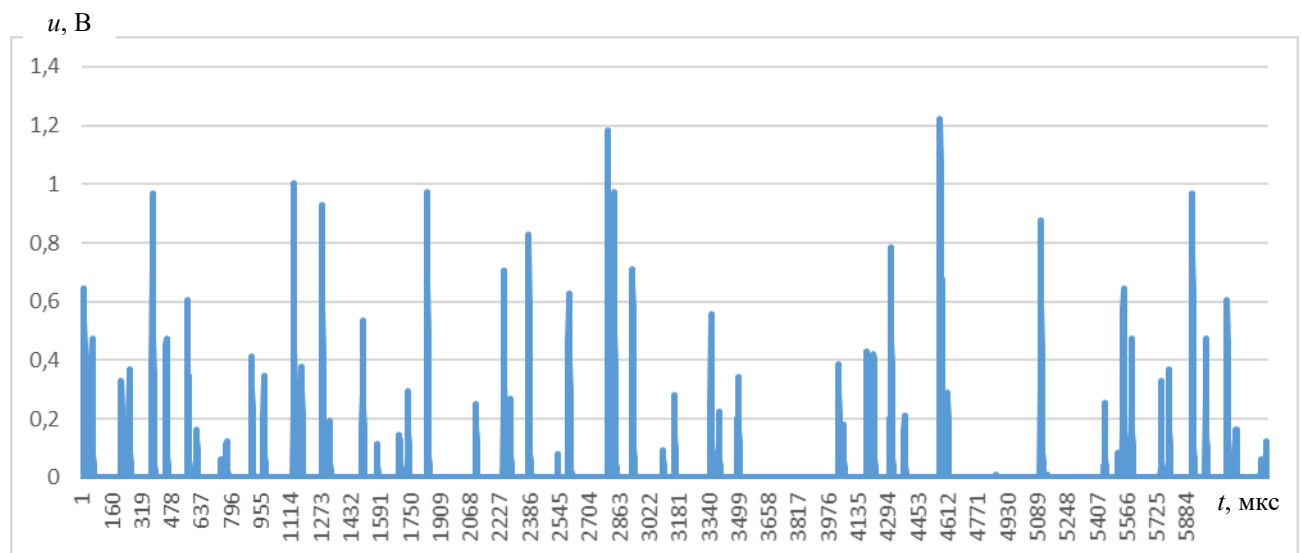
Результати експериментальних досліджень для одної з серій з 30 кроків у вигляді осцилограми залежності $u=f(t)$ представлено на рисунку 3.8.

Кожен крок генерує два імпульси напруги: перший відповідає переміщенню верхньої кришки системи генерації електроенергії вниз під дією зовнішньої ваги від натискання; другий – переміщенню верхньої кришки вгору,

під дією пружин, на яких вона кріпиться. На рисунку 3.9 показано хід експериментальних досліджень.

3.2.3 Обробка експериментальних досліджень. Експериментальні дослідження виконувались з використанням опору з номінальним значенням $R = 18 \text{ Ом}$. За математичними виразами (3.3) – (3.6) проведено розрахунок значення сили струму та потужності на зазначеному опорі при здійсненні впливу на ЕПЛ.

Графік згенерованої потужності у відповідності до виразів (3.4) та (3.6), можна отримати виконавши інтегрування вимірних осцилограм, рисунок 3.8.



б

а – при підключенні одного КД; б – при підключенні двох КД

Рисунок 3.8 – Осцилограми залежності $u = f(t)$, виміряні при 30 кроках на ЕПЛ

Інтегрування осцилограм проведено у відповідності до методу трапецій [29, 51]

$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{h}{2} \cdot \left(f(x_0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) + f(x_n) \right), \quad (3.7)$$

де $[a; b]$ – відрізок (границі) інтегрування;

$h = \frac{a-b}{n}$ - крок розбиття;

$i = 0, 1, \dots, n$;

$f(x)$ - значення підінтегральної функції.



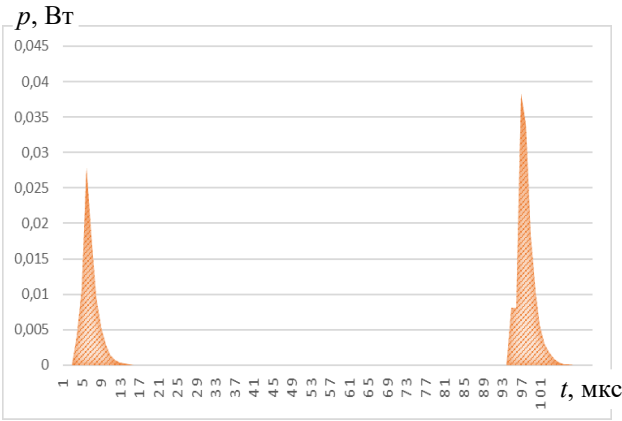
Рисунок 3.9 – Хід експериментальних досліджень ЕПЛ

Вираз (3.7), може бути записаний у вигляді

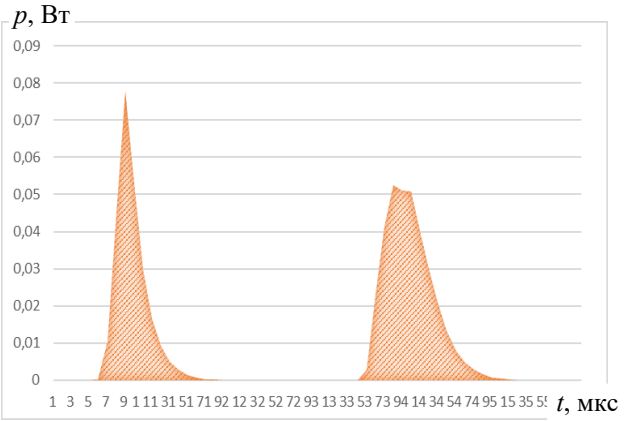
$$P = \int_0^T p(t)dt \approx \frac{h}{2} \cdot \left(p(t_0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} p(t_i) + p(t_n) \right). \quad (3.8)$$

За формулою (3.8) проведено інтегрування отриманих графіків залежності $u = f(t)$, які приведені на рисунку 3.8.

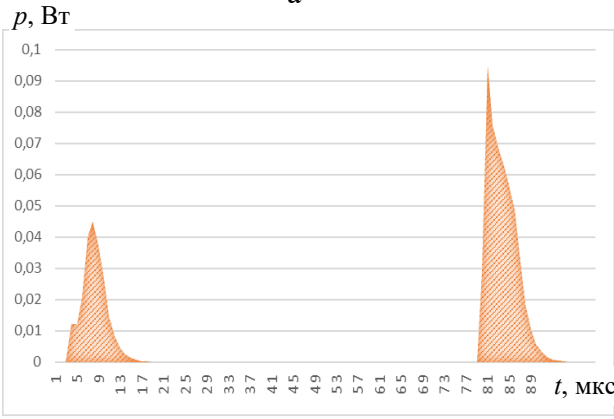
На рисунку 3.10 представлено отриману графічну залежність $p = f(t)$ при одному кроці на ЕПЛ. Графіки, рис. 3.10, а, в відповідають руху пішоходів у прямому напрямку, графіки рис. 3.10, б, г - у зворотному напрямку. На рисунку 3.11 представлено отриману графічну залежність $p = f(t)$ при 30 кроках на ЕПЛ з косозубим типом зубчастих коліс.



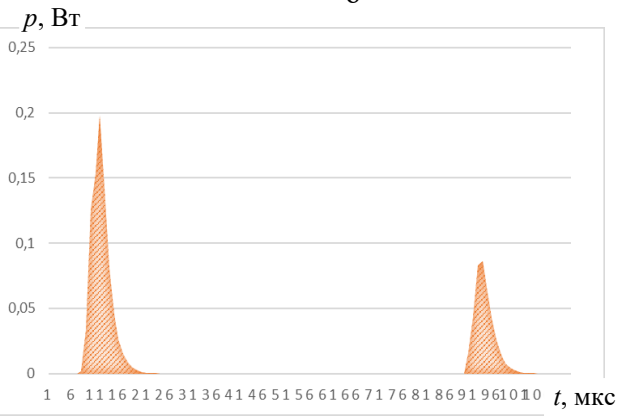
а



б

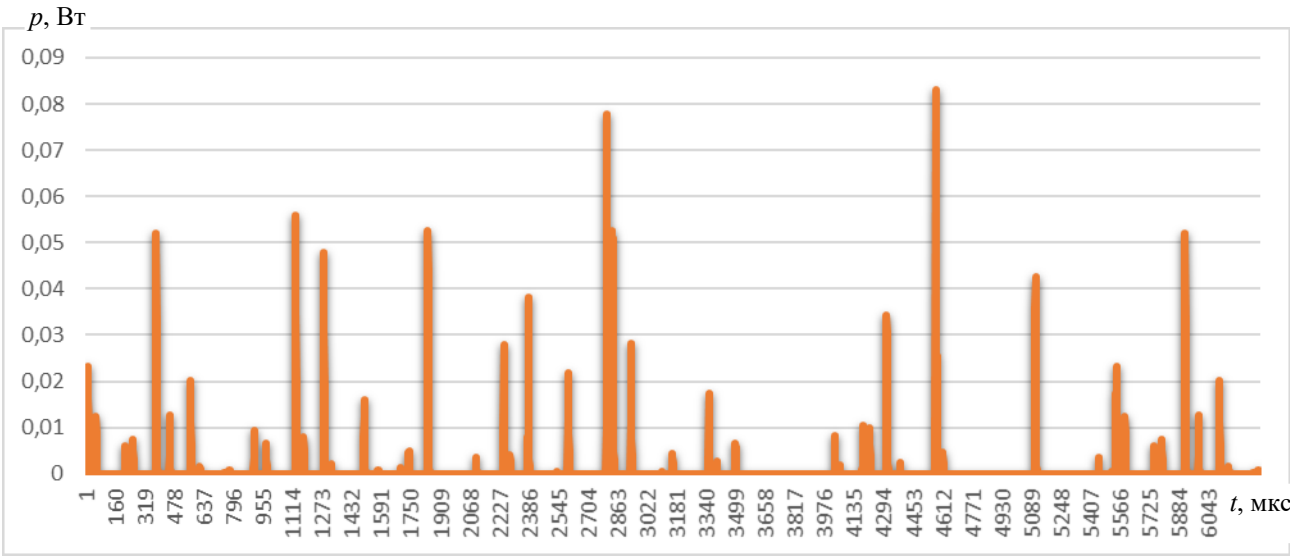


в

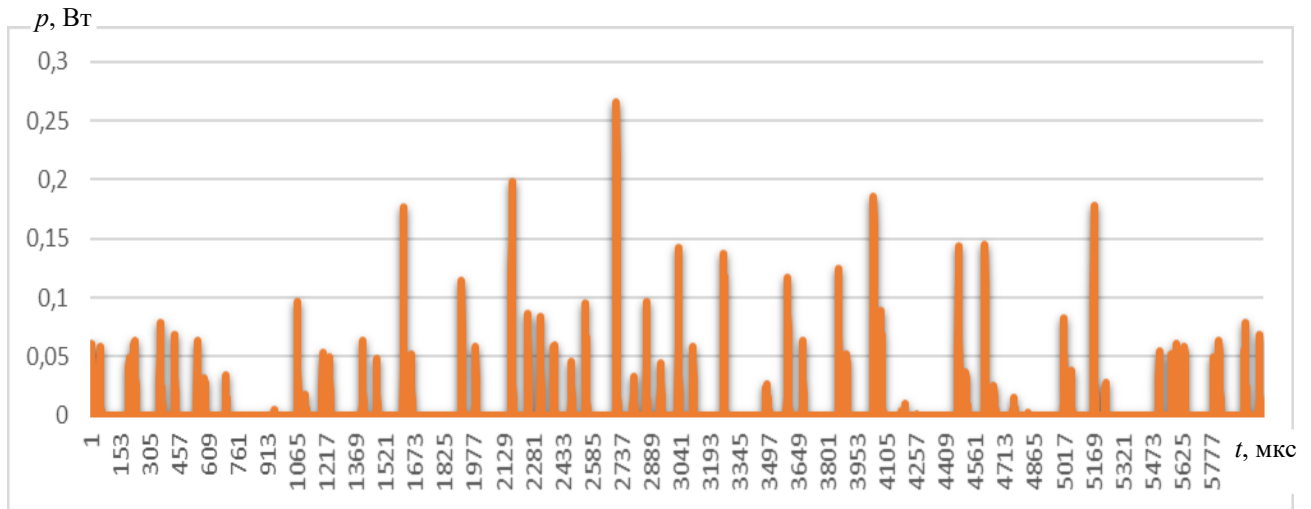


г

а, б - при підключенні одного КД; в, г - при підключенні двох КД
Рисунок 3.10 – Залежність генерованої потужності від часу при одному кроці на ЕПЛ



а



б

а - при підключенні одного КД; б - при підключенні двох КД

Рисунок 3.11 – Залежність згенерованої потужності від часу при 30 кроках на ЕПЛ з косозубим типом зубчастих коліс

Значення згенерованої потужності, розраховані при обробці експериментальних досліджень за виразом (3.8) для перших 10 серій по 30 кроків на ЕПЛ приведено в таблиці 3.1, де k - коефіцієнт посилення, що показує у скільки разів ЕПЛ з двома підключеними КД генерують більше електроенергії порівняно з одним КД.

Таблиця 3.1 – Значення згенерованої потужності ЕПЛ та мультиплікатором з косозубим типом зубчастих коліс

	Серії по 30 кроків									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Прямий напрямок										
1 КД, Вт	10,59	9,96	10,88	9,13	9,32	10,66	11,30	11,91	10,13	10,61
2 КД, Вт	22,26	23,59	22,90	22,88	20,16	23,12	20,38	21,87	22,54	23,29
Коефіцієнт посилення, k	2,10	2,37	2,10	2,50	2,16	2,17	1,80	1,84	2,23	2,19
Зворотній напрямок										
1 КД, Вт	7,24	6,93	7,08	7,16	6,30	6,73	8,48	6,62	7,40	7,06
2 КД, Вт	12,88	11,86	12,21	14,28	12,14	12,07	16,26	13,03	13,92	12,58
Коефіцієнт посилення, k	1,78	1,71	1,72	2,00	1,93	1,79	1,92	1,97	1,88	1,78

Для максимального наближення умов експерименту до реальних, на ЕПЛ здійснюється дія в прямому та зворотному напрямку. Це пов'язано з тим, що пішоходи, рухаючись по тротуару, наступають на ЕПЛ з різних сторін, умовно позначмо їх, як прямий та зворотній напрям.

3.3 Експериментальні дослідження енергогенеруючої плити та мультиплікатором з прямозубими шестернями

3.3.1 Конструктивні особливості ЕПЛ та мультиплікатором з прямозубими шестернями. Проведені дослідження з ЕПЛ разом з мультиплікатором, що побудований на косозубому типу зубчатих коліс показав, досить низьку ефективність генерації електроенергії. Основною причиною цьому може бути використання саме мультиплікатора з косозубим типом зубчатих коліс. Тому, для підвищення ефективності ЕПЛ та процесу генерації електроенергії було спроектовано та розроблено мультиплікатор з прямозубим типом зубчатих коліс.

Відповідно до розробленої конструкції ЕПЛ (дивись рисунок 3.7), а також спроектованим мультиплікатором з прямозубим типом зубчастих коліс (дивись рисунок 3.12) і представленої на рисунку 3.6. електричної принципової схемою було зроблено експериментальний варіант ЕПЛ. Зовнішній вигляд ЕПЛ, а також будову його електромашинного вузла представлено на рисунку 3.12 [16].

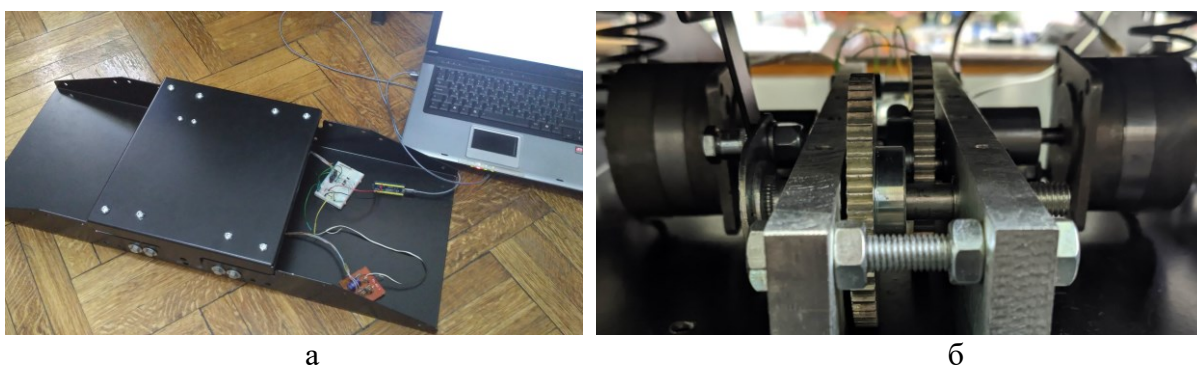


Рисунок 3.12 - ЕПЛ: а - зовнішній вид; б - мультиплікатором з прямозубими шестернями

Конструктивні особливості розробленої ЕПЛ дозволяють проводити дослідження як кожного КД окремо, так і разом при їхній паралельній роботі в

режимі генерації електроенергії.

3.3.2 Дослідження ЕПЛ з прямозубим типом зубчастих коліс у мультиплікаторі. Метою експериментальних досліджень є визначення доцільності використовувати в електромашинному вузлу двох КД як генераторів електроенергії, а також визначення значення згенерованої електроенергії ЕПЛ та мультиплікатором з прямозубим типом зубчастих коліс при одному кроці на неї.

Завдання та умови експериментальних досліджень.

1. Дослідження можливості генерації електроенергії ЕПЛ та мультиплікатором з прямозубим типом зубчастих коліс при підключенні одного КД у електромашинному вузлу.

2. Дослідження можливості генерації електроенергії ЕПЛ та мультиплікатором з прямозубим типом зубчастих коліс при підключенні двох КД, що працюють паралельно в електромашинному вузлу.

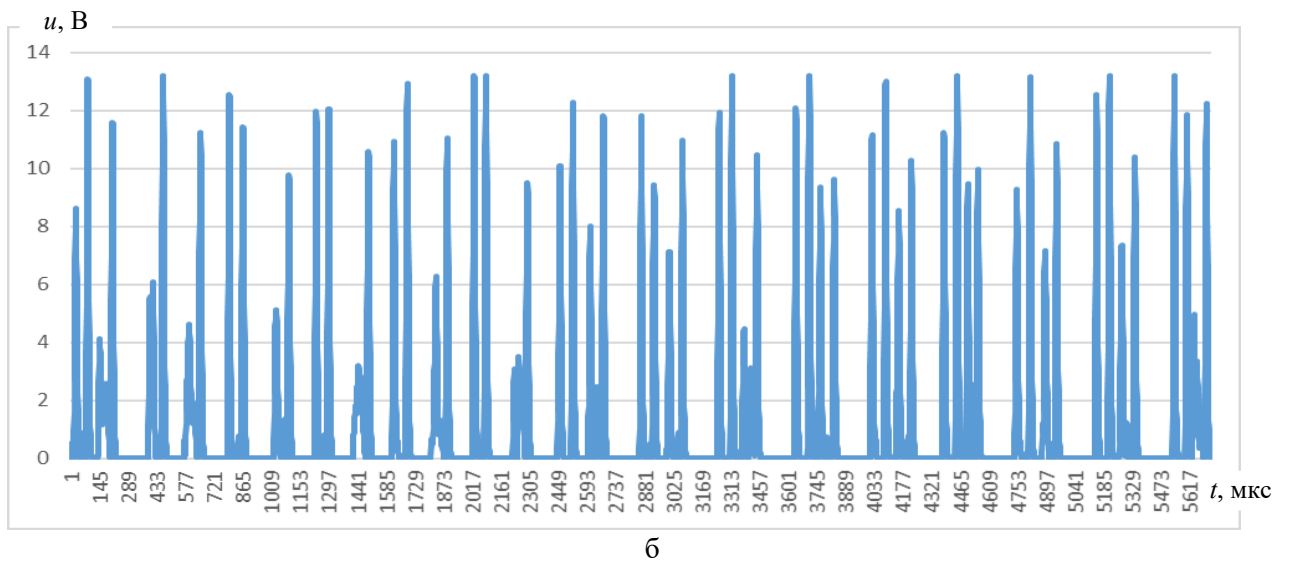
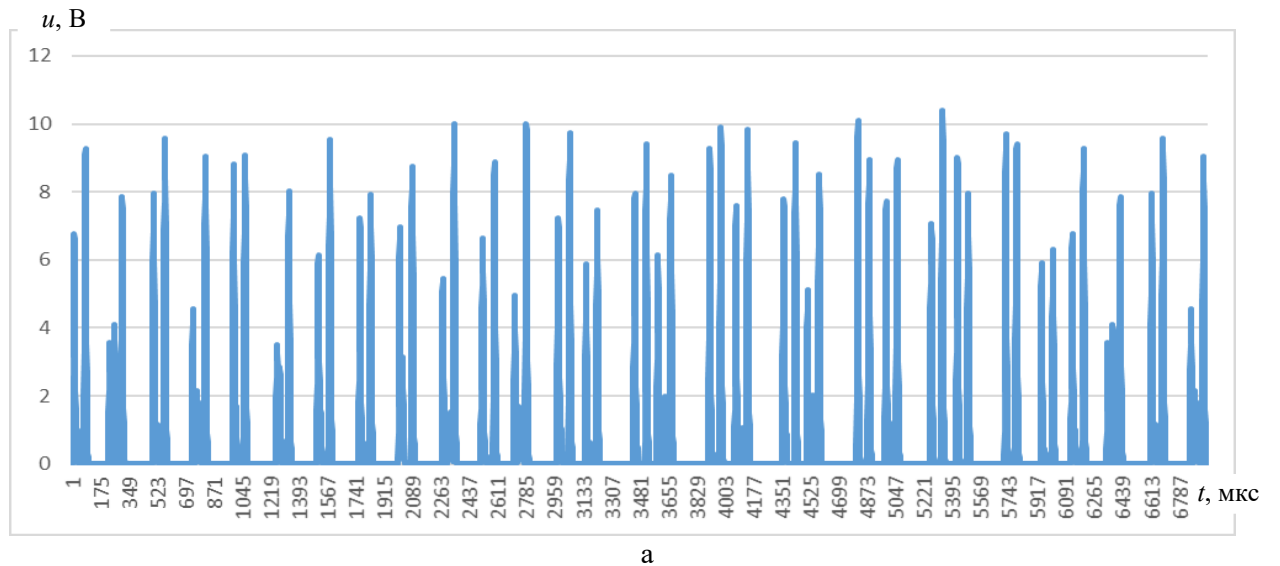
3. Визначення значення згенерованої електроенергії ЕПЛ та мультиплікатором з прямозубим типом зубчастих коліс при одному кроці на неї як у прямому, так і у зворотному напрямку.

Опір шунта (рисунок 3.6) відповідає $R = 18 \text{ Ом}$. Вольтметр V вимірюється сигнал напруги на опорі шунта R і розраховується струм навантаження. Потім розраховується електрична потужність, що виділяється на цьому опорі.

Проводилося 100 серії вимірів по 30 кроків на ЕПЛ. В експериментальних дослідженнях, як і в попередньому випадку (дивись п.п. 3.2), брало участь 10 осіб вагою від 50 кг до 90 кг. Швидкість ходьби 5 км/год. Вимірювання сигналів проводилося при ходьбі як у прямому, так і у зворотному напрямку. Такий підхід дозволяє максимально наблизити умови експерименту до реальних умов, де люди наступатимуть на ЕПЛ рухаючись у різних напрямках (прямому та зворотному).

Результати експериментальних досліджень для однієї серії з 30 кроків у вигляді осцилограми залежності $u = f(t)$ представлено на рисунку 3.13.

Один крок генерує два імпульси напруги: перший відповідає переміщенню натискної кришки ЕПЛ вниз під дією зовнішнього натискання; другий - переміщенню кришки натискної ЕПЛ вгору під дією пружин, на яких вона кріпиться. На рисунку 3.14 показано хід експериментальних досліджень.



а - при підключенні одного КД; б - при підключенні двох КД

Рисунок 3.13 - Осцилограми залежності $u=f(t)$, що виміряні при 30 кроках на ЕПЛ

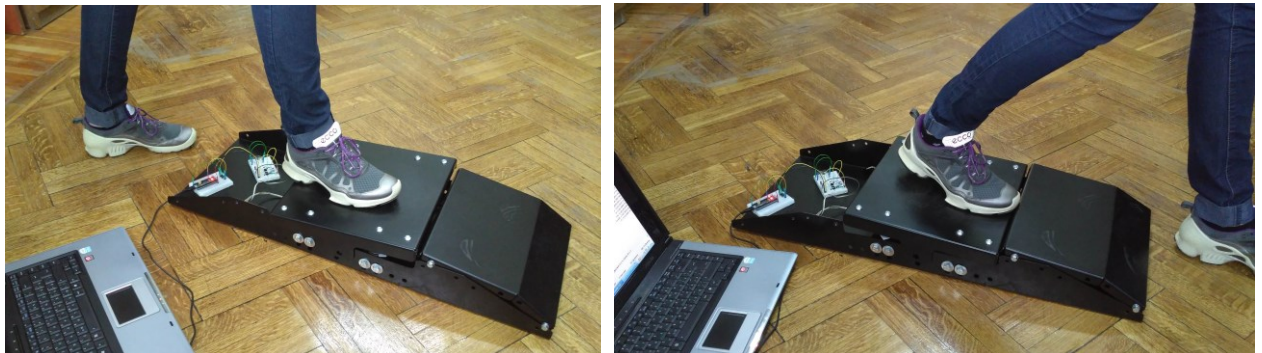
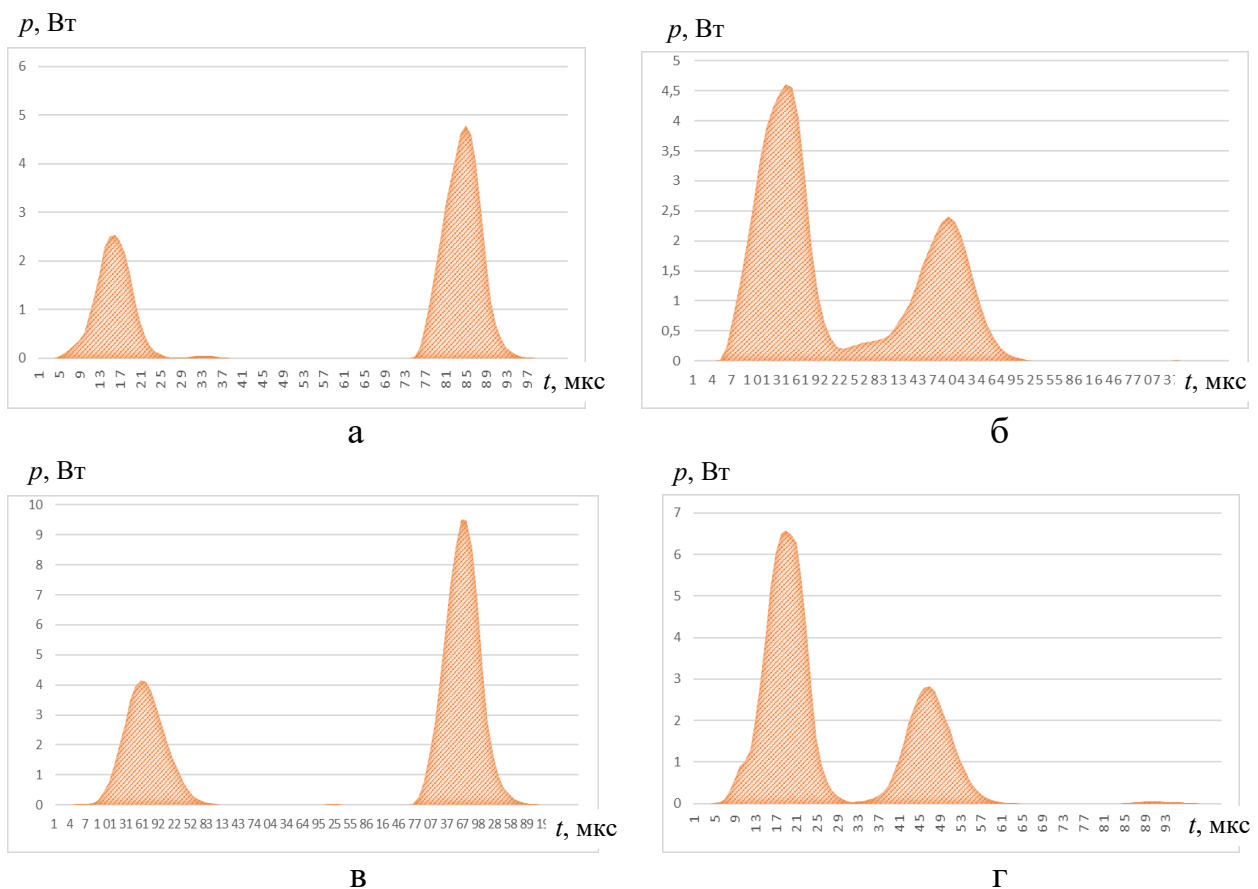


Рисунок 3.14 - Експериментальні дослідження ЕПЛ та мультиплікатором з прямозубим типом зубчастих коліс

3.3.3 Обробка експериментальних досліджень. У відповідності до виразу (3.8) проведемо інтегрування виміряних осцилограм $u = f(t)$. На рисунку 3.15 представлені отримані графічні залежності $p = f(t)$ при одному кроці на ЕПЛ з працюючим одним і двома КД. Графіки, рисунку 3.15, а, в відповідають руху пішоходів у прямому напрямку, графіки рисунку 3.15, б, г - у зворотному напрямку. На рисунку 3.16 представлено отриману графічну залежність $p = f(t)$ при 30 кроках на ЕП з прямозубим типом зубчастих коліс.

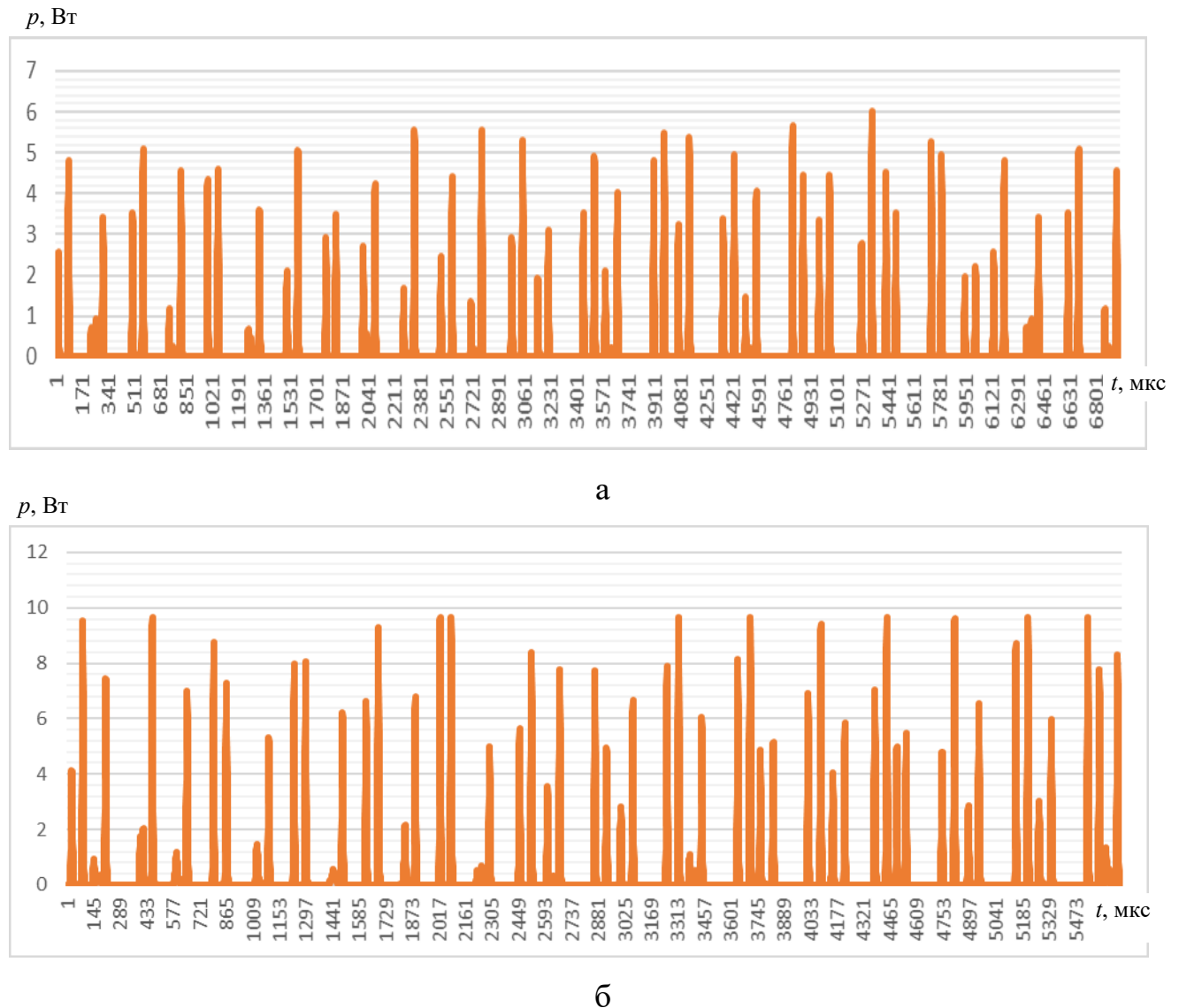


а, б - при підключенні одного КД; в, г - при підключенні двох КД

Рисунок 3.15 - Залежність згенерованої потужності від часу при одному кроці на ЕПЛ

Значення згенерованої електричної потужності, яка виділилася на активному опорі шунта ЕПЛ, визначається за виразом (3.8) для 10 серій експериментальних досліджень по 30 кроків у кожній. Результати розрахунків наведено у таблиці 3.2, де k - коефіцієнт посилення, що показує у скільки разів ЕПЛ з двома

підключеними КД генерують більше електроенергії порівняно з одним КД.



а - при підключенні одного КД; б - при підключенні двох КД

Рисунок 3.16 – Залежність згенерованої потужності від часу при 30 кроках на ЕПЛ з прямозубим типом зубчастих коліс

3.3.3 Аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень. Обробка результатів проведених експериментальних досліджень показує, що з прямого і зворотного напрямками руху одних і тих самих людей ЕПЛ генерує різне значення електроенергії. Заміна у мультиплікаторі косозубого типу зубчастих коліс на прямозубий дала очікуваний результат у підвищенні значення згенерованої потужності.

Таблиця 3.2 – Значення генерованої потужності ЕПЛ та мультиплікатором з прямозубим типом зубчастих коліс

	Серії по 30 кроків									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Прямий напрямок										
1 КД, Вт	18,92	19,15	21,76	19,03	19,82	20,12	20,54	19,85	18,76	20,02
2 КД, Вт	31,80	33,23	32,57	32,26	32,00	32,56	30,88	31,24	30,88	33,27
Коефіцієнт посилення, k	1,68	1,74	1,50	1,70	1,61	1,62	1,50	1,57	1,65	1,66
Зворотній напрямок										
1 КД, Вт	12,48	15,06	12,88	13,50	14,00	14,02	14,87	14,40	15,11	13,32
2 КД, Вт	20,06	16,96	19,69	19,05	18,68	18,86	21,68	20,05	19,89	19,97
Коефіцієнт посилення, k	1,61	1,13	1,53	1,41	1,33	1,34	1,46	1,39	1,32	1,50

Так, при *прямому напрямку* руху, середнє значення генерованої електроенергії за один крок при підключенні 2 КД становить:

- з косозубим мультиплікатором - 0,74 Вт;
- з прямозубим мультиплікатором - 1,07 Вт.

При *зворотному напрямку* руху, середнє значення генерованої електроенергії за один крок при підключенні 2 КД становить:

- з косозубим мультиплікатором - 0,44 Вт;
- з прямозубим мультиплікатором - 0,65 Вт.

Аналогічно, при *прямому напрямку* руху, середнє значення генерованої електроенергії за один крок при підключенні 1 КД становить:

- з косозубим мультиплікатором - 0,35 Вт;
- з прямозубим мультиплікатором - 0,66 Вт.

При *зворотному напрямку* руху, середнє значення генерованої електроенергії за один крок при підключенні 1 КД становить:

- з косозубим мультиплікатором - 0,24 Вт;
- з прямозубим мультиплікатором - 0,47 Вт.

Отримані результати генерації електроенергії при використанні різних типів мультиплікаторів зведено у таблицю 3.3. Також в цій таблиці приведено

значення коефіцієнту посилення k , що показує у скільки разів ЕПЛ з 2 КД генерують більше електроенергії порівняно з 1 КД.

Таблиця 3.3 – Середнє значення генерованої потужності ЕПЛ за один крок з різними типами мультиплікаторів

	1 КД	2 КД	k
Прямий напрямок			
Косозубий мультиплікатор	0,35	0,74	2,11
Прямозубий мультиплікатор	0,66	1,07	1,62
Зворотний напрямок			
Косозубий мультиплікатор	0,24	0,44	1,83
Прямозубий мультиплікатор	0,47	0,65	1,38

Отже, різниця генерованої енергії при підключенні 2 КД у порівнянні з підключеним 1 КД становить, у відповідності до напрямку руху,

прямий напрямок:

- 47 % - для косозубого мультиплікатора;
- 62 % - для прямозубого мультиплікатора,

зворотний напрямок:

- 55 % - для косозубого мультиплікатора;
- 72 % - для прямозубого мультиплікатора.

Обробка отриманих результатів показує очевидну вигоду використання двох КД в електромашинної вузі ЕПЛ. Відмінності значення генерованої електроенергії при прямому і зворотному русі людей по ЕПЛ обумовлено конструктивними особливостями даного пристрою. Це пояснюється тим, що привід кривошипно-шатунного механізму зміщений щодо центру натискної кришки ЕПЛ (дивись рисунок 3.3), відповідно, зусилля від натискання буде передаватися на КД по-різному і залежатиме від центру дії зусилля на плиту. Також, слід зазначити той факт, що при прямому русі ЕПЛ генерується більше електроенергії чим при зворотному ході натискної кришки. У свою чергу, при зворотному русі ЕПЛ спостерігається процес більшої генерації електроенергії

при натисканні на натискну кришку ЕПЛ (дивись рисунки 3.10, 3.15). Це можна пояснити, як конструктивними особливостями ЕПЛ, так і особливостями моторики людського кроку. У зв'язку з цим можна зробити висновок, що при установки ЕПЛ врівень з поверхнею дороги (тротуару, підлоги) буде спостерігатися інша картина процесу генерації електроенергії у порівнянні з тим, що дану ЕПЛ буде встановлена у сходинки. Реальну картину генерації електроенергії можна побачити лише після проведення відповідних експериментальних досліджень.

Під час проведення експериментальних досліджень також було виявлено, що значення генерованої енергії від одного кроку на ЕПЛ переважно залежить не від ваги людини, а від того, як швидко (різко) робиться крок. Чим швидше темп ходьби і більш різко виконуються кроки, тим більше енергії генерується. Останнє зауваження слід брати до уваги при розрахунку місця встановлення ЕПЛ. Отже, правильне розміщення ЕПЛ з урахуванням основного потоку пішоходів може значно підвищити її ефективність як джерела електроенергії.

Знаючи потенційні можливості ЕПЛ та її технічні характеристики, можна розрахувати значення генерованої електроенергії в залежності від кількості кроків на цю платформу. Це дає уявлення про потенціал ЕПЛ при її розміщенні в місцях з великою прохідністю людей. Наприклад, маючи інформацію щодо щільності людського потоку на конкретному об'єкті, можна розрахувати значення генерованої електроенергії від однієї ЕПЛ на зупинках громадського транспорту, або у якості сходинок автобусу чи будь-якого об'єкту транспортної інфраструктури. Відповідно, маючи данні щодо потужності споживання, наприклад, на освітлення конкретного об'єкту (зупинки громадського транспорту), можна визначити, скільки таких ЕПЛ необхідно встановити для автономної роботи освітлення на цьому об'єкті.

Висновки по розділу 3

Розробка нових відновлюваних джерел електроенергії, які не утворюють

шкідливих викидів та не забруднюють навколишнє середовище, є актуальним науково-технічним завданням. Для її вирішення розглядаються та застосовуються цілі комплекси заходів щодо розробки, дослідження та впровадження нових зелених джерел електроенергії. При цьому використовуються методи та способи перетворення різних видів енергії на електричну. Базуючись на цьому, розробляються та впроваджуються різні пристрої, які можна розглядати як автономні децентралізовані джерела зеленої енергії. Особливий інтерес викликають пристрої, які можна встановлювати фактично в будь-якому доступному місці, де забезпечується висока густина руху людського потоку або, наприклад, проїзду автотранспорту через пристрій «лежачий поліцейський». Тобто, пішоходи, роблячи крок на подібний пристрій (або АТЗ переїжджаючи через нього), самі генерують електроенергію, яку можна надалі використовувати. Це дозволить частково або повністю забезпечити електроенергією необхідних споживачів, у тому числі транспортної інфраструктури.

Викладені у Розділі 3 дослідження дозволяють сформулювати наступні висновки:

- проведено кінематичний синтез триступеневого мультиплікатора ЕПЛ, що забезпечило мінімізацію вартості його виробництва;
- проведено експериментальні дослідження процесу генерування електроенергії ЕПЛ в залежності від кількості та схеми підключення КД до її електромашинного вузла та напрямку руху людського потоку по відношенню до положення ЕПЛ. Такий пристрій має компактні габаритні розміри та призначений для встановлення у місцях з великою густиною людського потоку. При цьому він може бути встановлена як усередині приміщення, так і ззовні в забезпечувати електроживлення окремих об'єктів транспортної інфраструктури
- за результатами обробки отриманих даних з експериментальних досліджень визначено:
 - а) підключення двох КД до електромашинного вузла ЕПЛ дає змогу підвищити значення генерованої електроенергії, у *прямому напрямку дії*,

при використанні косозубих шестерень у мультиплікаторі на 47,3 %, а з прямозубими шестернями на 61,7%, у *зворотному напрямку дії* – на 54,5% і 72,3% відповідно;

б) один крок на ЕПЛ, в середньому, забезпечує генерацію, у *прямому напрямку дії*, при використанні косозубих шестерень у мультиплікаторі – 0,74 Вт електроенергії, а з прямозубими шестернями – 1,07 Вт електроенергії відповідно; у *зворотному напрямку дії*, при використанні косозубих шестерень у мультиплікаторі – 0,44 Вт електроенергії, а з прямозубими шестернями – 0,65 Вт електроенергії відповідно;

– враховуючи всі отримані дані експериментальних досліджень ЕПЛ та знаючи густину людського потоку, можна, оцінити потенціал даного пристрою. Тобто, яке значення електроенергії він здатен згенерувати за визначений час своєї роботи. Можна визначити, скільки таких пристроїв потрібно встановити на об'єкті транспортної інфраструктури для забезпечення його потреб в електричній енергії.

– маємо достатньо ефективне (з урахуванням густиною людського потоку) альтернативне поновлювальне джерело електроенергії, яке легко монтується в існуючу транспорту інфраструктуру та може повністю або частково забезпечити потреби в електроенергії. При цьому, запропонована ЕПЛ має малі масо-габаритні показники та нескладну конструкцію, що робить процес її обслуговування та експлуатації доволі простим.

По проведеним дослідженням виконано технічні креслення ЕПЛ, які представлені у Додатку Г.

Широке використання таких систем – це суттєвий вклад щодо розбудови та втілення енергоефективних та енергоощадних технологій на транспорті.

Розділ 4

АВТОНОМНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ ТА ЙОГО ЗАРЯДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

4.1 Спосіб активного балансування при заряді - розряді Li-ion АКБ

Запропонований спосіб стосується методів і засобів обслуговування, перевірки та підтримки справного технічного стану акумуляторних батарей і призначений для застосування на сучасному електричному транспорті та його інфраструктурі, а також в автономних системах живлення та накопичення енергії [81].

Відомий спосіб балансування Li-ion акумуляторів, який описано у дослідженні [82], передбачає включення резистора навантаження паралельно з певною коміркою акумулятора, якщо під час заряду вона досягає максимальної зарядної напруги. Через цей резистор протікають зарядний і розрядний струми для даної комірки. З часом, напруга на цій комірці знижується до рівня, при якому резистор відключається. Такий процес сприяє урівнюванню напруги на всіх комірках батареї. Недоліком цього способу балансування є значна потужність, яка витрачається на навантажувальних резисторах, і зниження ККД процесу заряду.

Аналогом запропонованого способу є «Активне балансування елементів батареї» [83]. В ньому використовуються спеціалізовані мікросхеми Analog Devices, Inc., та передбачає балансування комірок Li-ion акумуляторів при їх заряді та розряді. Для забезпечення такого балансування використовуються послідовно включені елементи, при цьому, зарядний струм відключається на тих елементах, на яких напруга досягла гранично допустимого рівня. Також, відключається розрядний струм на тих елементах, на яких напруга опустилася до граничного рівня при розряді. В цьому аналогу застосовуються двонаправлені гальванічно-розв'язані перетворювачі постійної напруги для кожної комірки АКБ та мікроконтролерний моніторинг їх параметрів. В

зазначеному аналогу передбачається мікроконтролерне управління процесами заряду - розряду та балансування комірок АКБ.

Основними недоліками вказаного аналогу є висока складність та заплутаність алгоритму його функціонування, що призводить до ускладнення його технічної реалізації. Це, в свою чергу, призводить до створення пристрою із складною конструкцією, яка характеризується низькою надійністю та ефективністю роботи, а також високою собівартістю.

Основною метою нового методу активного балансування під час заряду та розряду Li-ion АКБ є вдосконалення роботи зарядно-балансируючого пристрою. Головною задачею, в свою чергу, є спрощення алгоритму його впровадження та покращення співвідношення між ціною та якістю даного пристрою.

Для вирішення поставленої задачі потрібно вдосконалити спосіб активного балансування при заряді - розряді Li-ion АКБ, які складаються з послідовно включених комірок. Для цього у спосіб, що описує роботу аналогу, введені нові операції, які передбачають проведення заряду АКБ у два етапи. Коли оператор підключає зарядний пристрій, на першому етапі заряджання для всіх комірок АКБ використовується спільне джерело зарядного струму з обмеженням загального струму до його номінального значення. Важливо відзначити, що кожна окрема комірка АКБ одночасно отримує заряд від свого індивідуального джерела струму. Цей струм менший за номінальний та формується як частина загального зарядного струму. Індивідуальні джерела зарядного струму починають обмеження свого зарядного струму, а потім забезпечують стабілізацію граничної зарядної напруги для кожної комірки АКБ.

Важливо відзначити, що вхід кожного індивідуального джерела, яке забезпечує заряд, живиться від напруги загального потужного джерела зарядного струму, і вихід кожного окремого джерела гальванічно розв'язаний з його входом.

Другий етап заряду наступає у випадку досягнення будь-якою коміркою АКБ граничного значення зарядної напруги. На цьому етапі загальний зарядний струм відключається, і всі комірки продовжують заряджатися, використовуючи

індивідуальні джерела зарядного струму. Під час цього процесу заряду, комірки АКБ заряджаються до досягнення граничного значення зарядної напруги. Коли це значення наближається, зарядний струм комірки поступово зменшується. Другий етап процесу заряду завершується, коли зарядний струм кожної комірки АКБ стає менше заданого значення, і тоді всі окремі джерела зарядного струму будуть відключені.

Розряд АКБ також відбувається у два етапи. Під час першого етапу застосовується загальний розрядний струм. Проте, якщо напруга на будь-якій комірці АКБ знижується нижче попередньо встановленого значення, визначеного під час калібрування для даної комірки, вхід його індивідуального джерела зарядного струму активується, з'єднуючись із загальною напругою АКБ. Індивідуальне джерело починає дозаряджати цю комірку від загальної енергії АКБ.

Такий процес відбувається з кожною коміркою АКБ, і він триває до тих пір, поки, в процесі розряду, напруга хоча б у однієї комірки не опуститься нижче визначеного мінімально допустимого рівня. У цьому випадку розрядний струм вимикається, і завершується другий етап розряду.

4.2 Конструкція та принцип роботи системи активного балансування при заряді - розряді Li-ion АКБ

Модель системи, у якому здійснюють запропонований спосіб роботи приведено на рисунку 4.1 [13].

Принцип роботи системи активного балансування при заряді - розряді Li-ion АКБ, що розкриває заявлений спосіб, здійснюється наступним чином. Під час розряду АКБ, коли оператор підключає зарядний пристрій, спочатку відбувається зарядка батареї загальним струмом від потужного джерела заряду (2).

індивідуальних джерел (3), кожне з яких має блок контролю та балансування. Після цього, зарядка кожної комірки АКБ триває при малому струмі від блоків контролю та балансування у режимі балансування. Під час розряду батареї, коли оператор натискатиме на педаль акселератора, розрядний струм буде введено на корисне навантаження АКБ (5) через контакти відключення навантаження (10). Балансування може тривати безстроково, оскільки струм заряду від малопотужних зарядних пристроїв $I_{ЗП}$ визначається, як у технологіях балансування, що використовуються у мобільних телефонах

$$I_{ЗП} = \frac{U_{ЗП} - U_{БА}}{R}, \quad (4.1)$$

де $U_{ЗП}$ – гранична стабілізована напруга кожного малопотужного зарядного пристрою, що дорівнює гранично-допустимій зарядній напругі комірки АКБ;

$U_{БА}$ – напруга на банку акумулятора;

R – опір зарядного кола.

В процесі балансування зарядний струм зменшується пропорційно наближенню напруги на комірці АКБ до її верхнього гранично допустимого значення. Таким чином, процес балансування продовжується до тих пір, поки зарядний струм комірки не досягне нижнього порогового значення, наприклад, менше 10% від номінального зарядного струму.

Пропонований метод активного балансування під час заряду - розряду Li-ion АКБ, який використовує балансуючий зарядний пристрій для Li-ion АКБ, потребує економічних індивідуальних джерел зарядного струму, наприклад, для АКБ ємністю 100 А·год. Потужність цих зарядних пристроїв становить приблизно від 5 Вт до 15 Вт на комірку.

Під час розряду акумулятора, коли оператор натискає на педаль акселератора, індивідуальні джерела зарядного струму (3) з блоками контролю і балансування напруги контролюють напругу на комірках (дивись рисунок 4.1). Кожне індивідуальне джерело зарядного струму має блок контролю, який, при

зниженні напруги на комірці до певного, індивідуально встановленого порогового значення між верхнім і нижнім граничними значеннями, видає команду на включення контактів включення індивідуального джерела зарядного струму (8). Ці контакти підключають вхід цього індивідуального джерела до повної напруги АКБ, після чого індивідуальне джерело розпочинає заряджати комірку до завершення процесу заряду. При цьому струм, який споживається блоком від акумулятора, буде у n разів менший, ніж зарядний струм батареї від цього джерела. Таким чином, від зарядного струму АКБ буде відніматися значно менший розрядний струм, який витрачається на живлення від усієї батареї цього індивідуального джерела.

Під час розряду акумулятора схеми контролю та балансування напруги в індивідуальних джерелах для кожної комірки стежать за напругою на комірках і видають команду на відключення загального розрядного струму, як тільки напруга на хоча б одній комірці опускається до мінімально допустимого рівня. Ця команда передається за допомогою гальванічно розв'язаного замикача (7) через керуючу шину (6) і доходить до блоку управління (4).

Встановлення середньої порогової напруги, що керує контактами включення індивідуального джерела зарядного струму (8), для кожної комірки робиться на більш високій напрузі, чим менша ємність цієї комірки. Таким чином, можна забезпечити приблизно одночасне завершення розряду для всіх комірок і отримати максимально можливу ємність АКБ.

Блок управління (4) діє в різних режимах під час заряду та розряду. Режим заряду завжди активний, коли напруга від потужного джерела зарядного струму (2) подається на точку з'єднання контактів (11) - контакти відключення заряду та (12) - контакти включення режиму заряду, для всіх індивідуальних джерел зарядного струму. У режимі заряду при отриманні сигналу по керуючій шині (6), потужний зарядний пристрій відключається через контакти відключення навантаження (10), щоб уникнути неприпустимого перезаряду комірок АКБ.

У режимі розряду, при отриманні сигналу по керуючій шині (6), блок управління (4) відключає потужне корисне навантаження АКБ (5), запобігаючи таким чином неприпустимому перерозряду комірок АКБ.

Застосування запропонованого способу активного балансування під час заряду - розряду Li-ion АКБ дозволяє спростити алгоритм роботи зарядно-балансуючого пристрою, поліпшити його схемну та конструктивну реалізацію, підвищити надійність і ККД його роботи, а також покращити співвідношення ціна-якість даного пристрою.

4.3 Автономне джерело живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури

Виходячи з проведених досліджень щодо тенденцій розвитку сучасного енергоефективного автомобільного транспорту (дивись Розділ 1), пристроїв та системи генерації електричної енергії для транспорту (дивись Розділ 2), а також способу активного балансування при заряді - розряді Li-ion АКБ (дивись п.п. 4.1) [13] пропонується розробка та дослідження автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури [5, 6, 12].

Запропонований проект автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури базується на використанні гібридного інвертора, які широко застосовуються при розбудові гібридних сонячних електростанцій [84].

Гібридні інвертори мають більшу вартість порівняно з мережевими, проте вони мають перевагу в тому, що можуть працювати в автономному режимі, коли мережа електроживлення відключена. Це основна перевага гібридних систем. Вони дозволяють уникнути проблем з електропостачанням, а також повного розряду АКБ під час відсутності сонячної енергії, оскільки енергію можна взяти з електромережі для їх заряду. Залежно від моделі, гібридні інвертори можуть автоматично включати бензинові або дизельні

генератори, якщо АКБ розряджені, і не мають доступу до енергії з електромережі.

Маємо кілька джерел електроенергії: сонячна енергія, енергія, збережена в АКБ, енергія з мережі та енергія від бензинового або дизельного генератора. Більшість гібридних інверторів дозволяють налаштувати пріоритет джерела електроенергії. Наприклад, енергію від сонячних фотоелектричних панелей можна використовувати протягом дня, а ввечері - енергію з електромережі, не використовуючи АКБ, тим самим продовжуючи їхній ресурс і використовуючи їх лише в аварійних випадках. Заряд АКБ від фотоелектричних панелей здійснюється за допомогою контролера заряду, який може бути вбудованим в гібридний інвертор або окремим блоком. Система з окремими контролерами заряду не може живити електроспоживачів безпосередньо від фотоелектричних панелей, міняючи АКБ. У цьому випадку спочатку заряджаються АКБ, а потім з них енергія подається до гібридного інвертора, який перетворює постійний струм в змінний, необхідний для електроживлення споживачів.

Автономне джерело живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури не пов'язана фізично із загальною електромережою, і як випливає з назви, призначено для забезпечення електроенергією електромобілів та їх об'єктів зарядної інфраструктури, у яких немає можливості (тимчасово або постійно) отримувати електроживлення від централізованої електромережі [84]. В автономному джерелу живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури присутні накопичувачі електроенергії – АКБ. Енергія що генерується, наприклад, від фотоелектричних панелей по проводах подається на контролер заряду, який управляє режимами заряду АКБ і виключає перезаряд комірок АКБ. Дотримуватися режимів заряду і розряду для комірок АКБ дуже важливо, оскільки від цього залежить їх термін служби. У контролері заряду (або в BMS - Battery Managment System, якщо така передбачена у даній схемі) ці режими налаштовуються під певний тип акумуляторів або автоматично, або вручну. Струм, що надходить від фотоелектричних панелей і запасений в АКБ, є постійним. Для того, щоб його перетворити в змінний

струм, необхідний для роботи більшості електроприладів, та заряду електромобіля від звичайної мережі змінного струму, потрібен інвертор. Інвертор (автономний або гібридний) підбирається так, щоб його потужності вистачило для постійної номінальної роботи зарядного пристрою електромобіля (3,5 кВт, 5,5 кВт або 7 кВт).

Отже, пропонується проєкт автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури, який побудовано на базі автономного інвертора, як накопичувачі енергії використовуються комірки тягових АКБ електромобілів. Модель автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури представлена на рисунку 4.2.

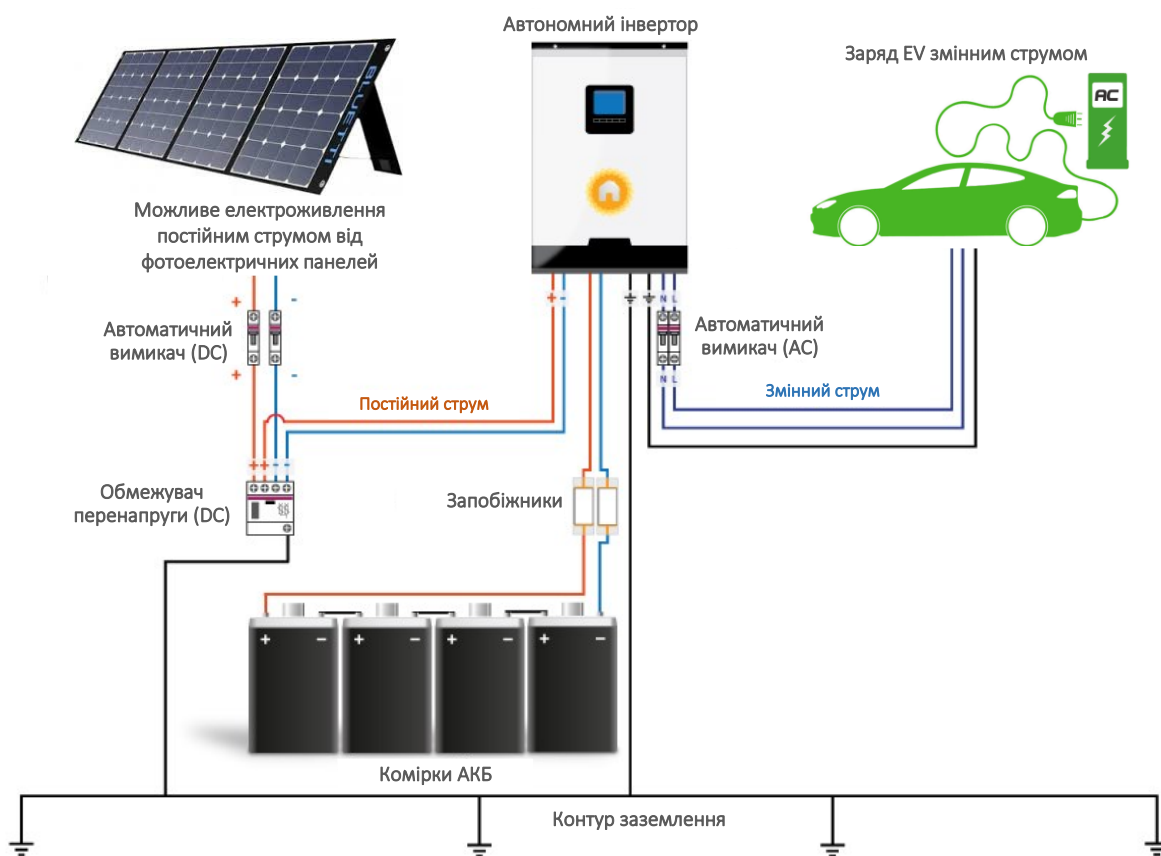


Рисунок 4.2 – Модель автономного джерела живлення з автономним інвертором для електромобілів та їх зарядної інфраструктури

Аналогічно запропонованому проєкту автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури, схема якого представлено на

рисунку 4.2, пропонується автономне джерело живлення на базі гібридного інвертора, рисунок 4.3.

Фотоелектричні панелі підключаються до гібридного інвертора (DC). Мережа змінного струму (для заряду АКБ) при відсутності фотоелектричних панелей, або неможливості з'явитися від них (несприятливі погодні умови або темна пора доби) підключається на вхід гібридного інвертора (AC), також до гібридного інвертора підключені АКБ, рисунок 4.3. Вихід гібридного інвертора має автоматичний вимикач (AC) і забезпечує електроживленням споживачів змінного струму або заряд змінним струмом електромобілів.

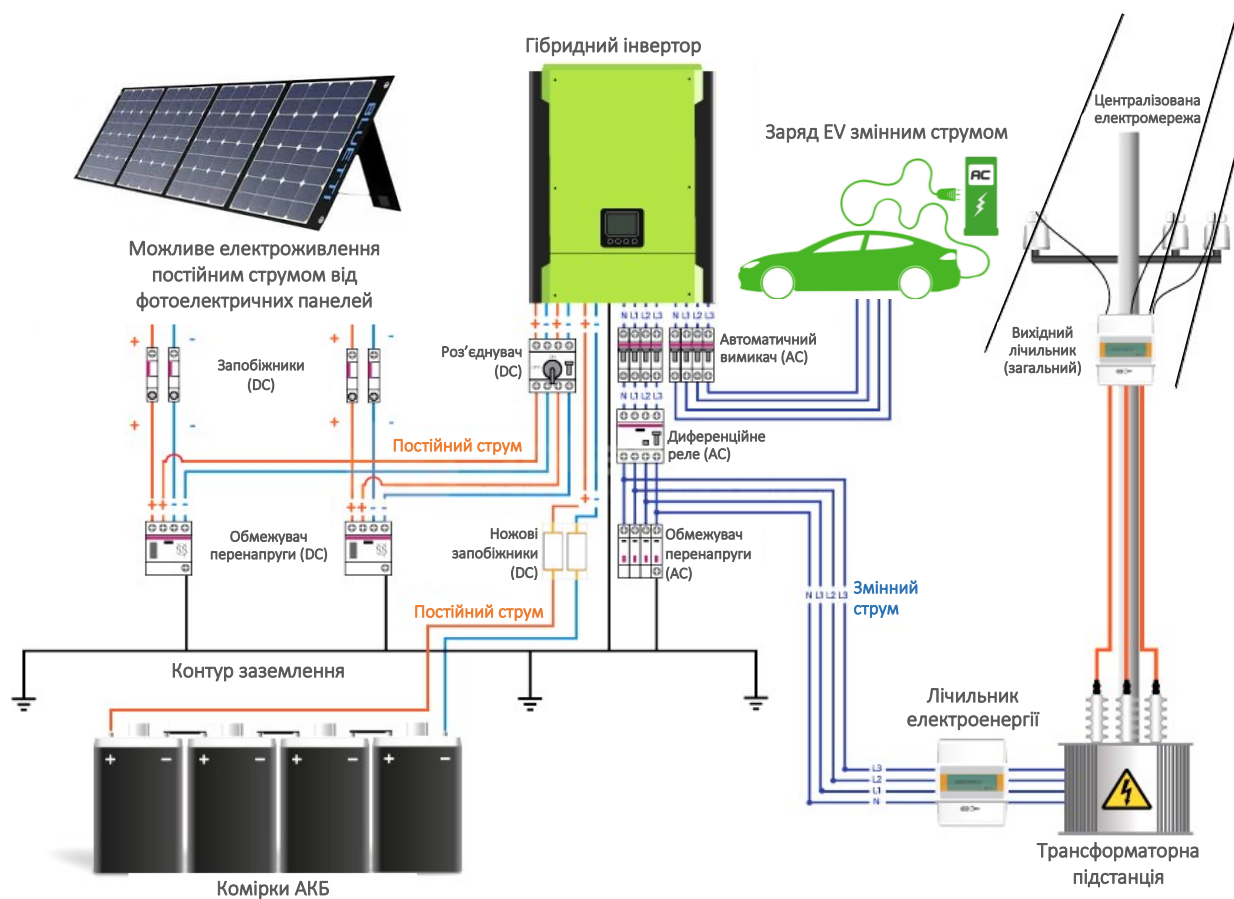


Рисунок 4.3 – Модель автономного джерела живлення з гібридним інвертором для електромобілів та їх зарядної інфраструктури

Застосування автономного джерела живлення з гібридним інвертором для електромобілів та їх зарядної інфраструктури забезпечує ряд переваг – він здатен

працювати при відсутності напруги в мережі змінного струму, а також в умовах нестабільної мережі. Доступно кілька режимів роботи, які можуть гнучко налаштовуватися за технічними потребами і відповідно до пори доби та року [85].

Розглянемо основні режими роботи автономного джерела живлення для електромобілів.

Режим 1. Автономна робота. Згенерована електроенергія, наприклад, від фотоелектричних панелей, накопичується в акумуляторах, гібридний інвертор заряджає АКБ та подає змінну напругу до зарядної станції електромобілів. У вечірній і нічний час електроживлення забезпечується гібридним інвертором від АКБ. В цьому режимі роботи енергія що надходить від автономного джерела живлення визначається

$$W_{\text{дж}} = W_{\text{фп}} - \Delta W_{\text{і}} + W_{\text{акб}}, \quad (4.2)$$

де $W_{\text{дж}}$ – енергія що надходить від автономного джерела живлення, Дж;

$W_{\text{фп}}$ – енергія що надходить від фотоелектричних модулів, Дж;

$\Delta W_{\text{і}}$ – енергія що втрачається при роботі інвертора, Дж;

$W_{\text{акб}}$ – енергія що надходить від АКБ, Дж.

$$\Delta W_{\text{і}} = I_{\text{і}}^2 \cdot R_{\text{і}} \cdot t_{\text{і}}, \quad (4.3)$$

де $I_{\text{і}}$ – загальний еквівалентний струм в електричних колах інвертора, А;

$R_{\text{і}}$ – загальний еквівалентний опір в електричних колах інвертора, Ом;

$t_{\text{і}}$ – час роботи інвертора, с.

Режим 2. Змішане електропостачання. В даному випадку допускається незначний розряд АКБ або повний, після чого електроживлення буде переключено від мережі змінного струму. Гібридний інвертор продовжує заряджати АКБ та забезпечує подачу змінної напруги до зарядної станції

електромобілів. В цьому режимі роботи енергія що надходить від автономного джерела живлення визначається

$$W_{\text{ДЖ}} = W_{\text{МЖ}} + W_{\text{ФП}} - \Delta W_{\text{I}} + W_{\text{АКБ}}, \quad (4.4)$$

де $W_{\text{МЖ}}$ – енергія що надходить від мережі живлення, Дж.

Режим 3. Резервне електропостачання. У цьому випадку схема налаштована таким чином, що АКБ задіяні тільки при відсутності електричної мережі (аварія, планове відключення, віялові відключення тощо). Гібридний інвертор подає енергію від АКБ до зарядної станції електромобілів. В цьому режимі роботи енергія що надходить від автономного джерела живлення визначається

$$W_{\text{ДЖ}} = W_{\text{АКБ}} - \Delta W_{\text{I}}. \quad (4.5)$$

При розрахунках кількості енергії, що можна отримати від автономного джерела живлення слід зважати також на ККД її складових елементів. Так, ККД Li-ion АКБ залежить від терміну їх роботи і кількості циклів заряд-розряд і визначається

$$\eta_W = \frac{W_p}{W_3}, \quad (4.6)$$

де η_W – ККД акумулятора

W_3 – енергія що надходить в акумулятор при заряді, Дж;

W_p – енергія отримана з акумулятора при розряді, Дж.

$$W_p = I_p \cdot U_p \cdot t_p, \quad (4.7)$$

де I_p – розрядний струм акумулятора, А;

U_p – напруга на затискачах акумулятора при розряді, В;

t_p – час розряду акумулятора, с.

$$W_3 = I_3 \cdot U_3 \cdot t_3, \quad (4.8)$$

де I_3 – зарядний струм акумулятора, А;

U_3 – напруга на затискачах акумулятора при заряді, В;

t_3 – час зряду акумулятора, с.

У нашому випадку енергія що надходить від АКБ ($W_{\text{АКБ}}$) буде дорівнювати енергії отриманої з акумулятора при розряді (W_p), а енергія, що надходить від мережі живлення використовується для заряду АКБ автономного джерела живлення і буде дорівнювати W_3 . Також, слід зауважити, що коли автономне джерело живлення підключено до централізованої мережі живлення, то в залежності від функціоналу його гібридного інвертора, при підключенні електромобіля на заряд (або іншого електричного навантаження до автономного джерела живлення), є можливість віддавати енергію (електромобілю чи іншому навантаженню), як від АКБ автономного джерела живлення, так і від централізованої мережі живлення. Отже, маємо

$$W_p = W_{\text{АКБ}}, \quad (4.9)$$

$$W_{\text{МЖ}} = U_{\text{МЖ}} \cdot I_{\text{МЖ}} \cdot t, \quad (4.10)$$

де $U_{\text{МЖ}}$ – напруга мережі живлення, В;

$I_{\text{МЖ}}$ – струм мережі живлення, А;

t – час роботи автономного джерела живлення від централізованої мережі живлення, с.

Кількість енергії, що генерують фотоелектричні панелі $W_{\text{ФП}}$ залежить від їх типу, тобто, від номінальної потужності і від їх кількості. Отримаємо рівняння для визначення енергії, яку генерують фотоелектричні панелі, Дж:

$$W_{\text{ФП}} = \frac{3600 \cdot a \cdot J \cdot K_0 \cdot P_{\text{ном}} \cdot K_{\text{втр}}}{1000}, \quad (4.11)$$

де a – кількість фотоелектричних панелей;

J – кількість сонячної енергії, що потрапляє на фотоелектричні панелі, кВт·год/м² (таблична величина);

K_0 – корегувальний коефіцієнт кількості сонячної енергії, що потрапляє на фотоелектричні панелі. Він залежить від кута нахилу фотоелектричних панелей і кута її відхилення від південного напрямку (таблична величина);

$P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність однієї фотоелектричної панелі, Вт;

$K_{\text{втр}}$ – коефіцієнт, який враховує, скільки електроенергії втрачається у всій системі електропостачання (втрати в проводах, в інверторі, втрати пов'язані з ростом температури фотоелектричного модуля, втрати в процесі роботи фотоелектричних панелей в період низького рівня сонячного випромінювання, втрати пов'язані з затінюванням і забрудненням фотоелектричних панелей, втрати шунтуючих діодів).

У загальному випадку математична модель, що описує енергетичний баланс потужності при роботі автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури має вид

$$W_{\text{ДЖ}} = (U_{\text{МЖ}} \cdot I_{\text{МЖ}} \cdot t) + \left(\frac{3600 \cdot a \cdot J \cdot K_0 \cdot P_{\text{ном}} \cdot K_{\text{втр}}}{1000} \right) - (I_{\text{І}}^2 \cdot R_{\text{І}} \cdot t_{\text{І}}) + (I_{\text{р}} \cdot U_{\text{р}} \cdot t_{\text{р}}). \quad (4.12)$$

Подібні автономні джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури знижують залежність від загальної електромережі або при наявності можливості отримувати електроенергію від децентралізованих

джерел енергії (сонячні панелі, вітро-генератори, дизель-генератори тощо) дозволяють повністю відмовитися від неї.

4.4 Дослідження основних електричних параметрів при роботі автономного джерела живлення

Проведемо дослідження та визначення основних електричних параметрів при роботі автономного джерела живлення. По суті, це показники електромагнітних завад, що утворюються в процесі роботи автономного джерела живлення, які можуть вплинути на роботу електричних та електронних пристроїв та систем.

Заряд тягових АКБ електромобілів та живлення об'єктів їх зарядної інфраструктури відбувається через електричні кабелі (провідники), що мають достатньо значний переріз, що забезпечує їх безаварійну роботу. Умовно, будемо називати ці провідники «масивними». З метою спрощення розрахунку індуктивності «масивного» провідника (що володіє певними розмірами) припускаємо, що провідник є прямокутним (дивись рисунок 4.4) довжиною $l+m$ і висотою $m-r$. Можна знехтувати індуктивність іншої частини провідника, оскільки найсильніше магнітне поле спостерігається на поверхні «масивного» провідника. Залежність струму від часу $i(t)$ в проміжку часу τ змінюється лінійно (дивись рисунок 4.5) [1, 86, 87].

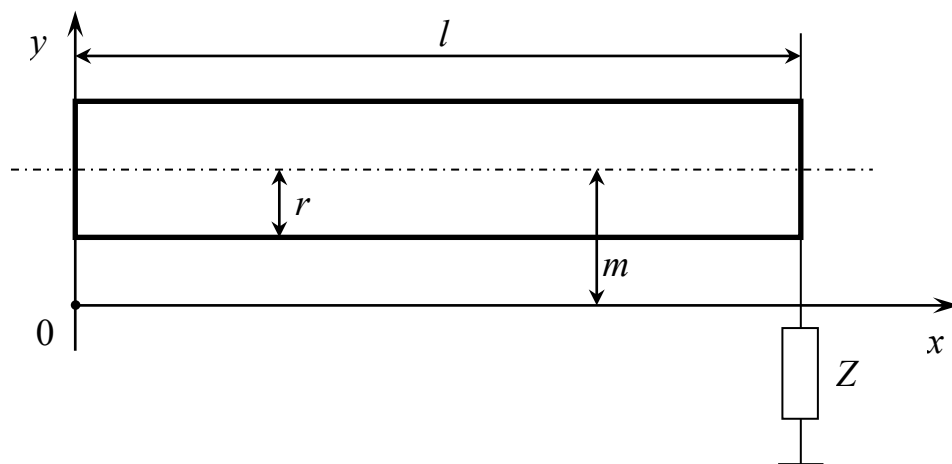


Рисунок 4.4 – Технічні характеристики «масивного» провідника

У відповідності з законом повного струму значення напруженості магнітного поля H на відстані y від центру «масивного» провідника визначається, як

$$i(t) = H 2\pi y, \quad (4.13)$$

де $i(t)$ – струм, який протікає по «масивному» провіднику, А;

H – напруженість магнітного поля, А/м;

y – відстань від центру «масивного» провідника до розгляданої точки.

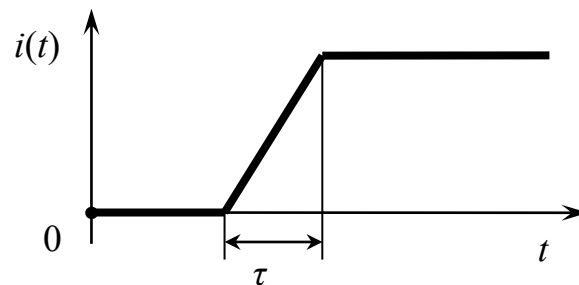


Рисунок 4.5 – Закон зміни струму в «масивному» провіднику в проміжки часу τ

Напруженість магнітного поля H визначається, як $H = \frac{i(t)}{2\pi y}$, а його індукція

$$B = \mu_0 H = \mu_0 \frac{i(t)}{2\pi y}. \quad (4.14)$$

Потік зачеплення Φ з контуром визначається, як

$$\begin{aligned} \Phi &= \frac{\mu_0 i(t)}{2\pi} \int_r^m \int_0^{l+m} \frac{dy}{t} dx = \frac{\mu_0 i(t)}{2\pi} (l+m) \int_r^m \frac{dy}{y} = \frac{\mu_0 i(t)(l+m)}{2\pi} \ln y \Big|_r^m = \\ &= \frac{\mu_0 i(t)(l+m)}{2\pi} (\ln m - \ln r) = \frac{\mu_0 i(t)(l+m)}{2\pi} \ln \frac{m}{r}. \end{aligned} \quad (4.15)$$

Визначимо електрорушійну силу (ЕРС) завади, що утворюється при роботі автономного джерела живлення

$$\left. \begin{aligned} e_{AC} &= -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{\mu_0(l+m)}{2\pi} \ln \frac{m}{r} \cdot \frac{di(t)}{dt}; \\ \frac{di(t)}{dt} &= \frac{I}{\tau}; \quad e_{AC} = -\frac{\mu_0(l+m)}{2\pi} \frac{I}{\tau} \ln \frac{m}{r} \cdot \frac{di(t)}{dt}; \\ e_{AC} &= -L \frac{di(t)}{dt}; \quad L = \frac{e_{AC}}{\frac{I}{\tau}} = \frac{e_{AC}\tau}{I}; \end{aligned} \right\} \quad (4.16)$$

$$e_{AC} = -\frac{\mu_0(l+m)}{2\pi} \ln \frac{m}{r}, \quad (4.17)$$

де μ_0 – магнітна стала, Гн/м.

m – відстань від землі до центральної осі провідника, м;

r – радіус провідника, м;

l – довжина провідника, м;

$i(t)$ – струм, який протікає по «масивному» провіднику, А;

y – відстань від центру «масивного» провідника до розгляданої точки, м;

Φ – потік зачеплення, Вб;

τ – проміжок часу, с;

e_{AC} – електрорушійна сила, що утворюється при роботі автономного джерела живлення, В;

L – індукція «масивного» провідника, Тл.

Запропонована методика оцінки основних електричних параметрів при роботі автономного джерела живлення передбачає, що він працює в своєму номінальному режимі роботи. Але слід зазначити, що електромагнітні завади також утворюються і при різних перехідних імпульсних процесах, які діють або випадково, або у відповідності з алгоритмом роботи даного пристрою.

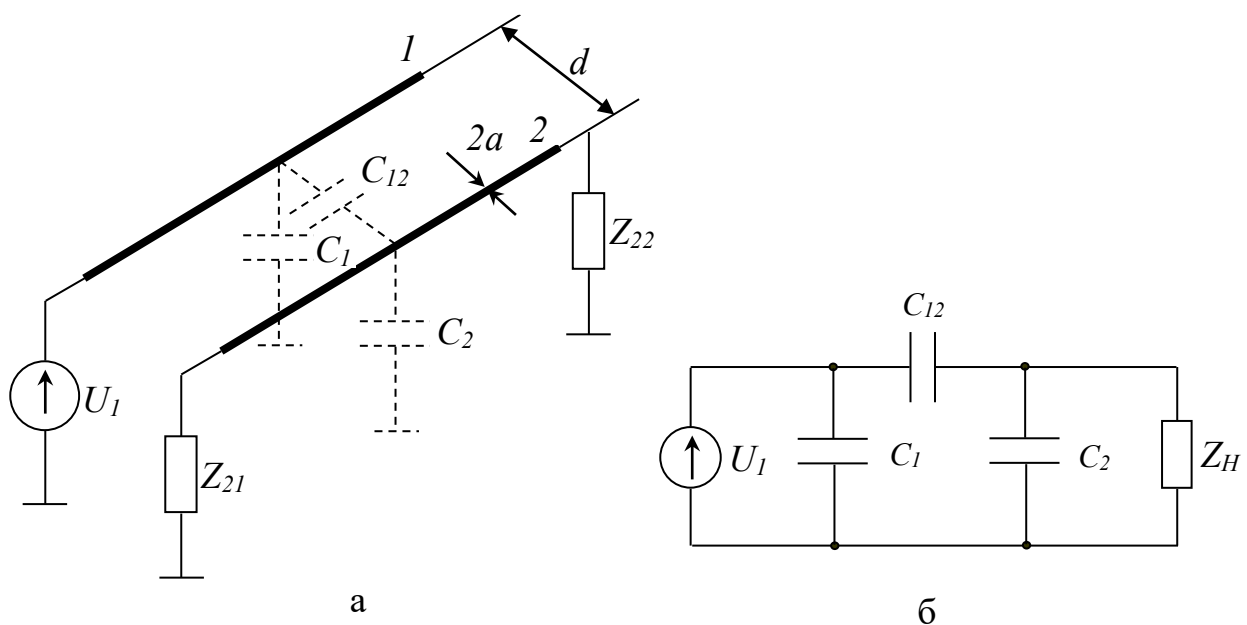
В таблиці 4.1 наведено параметри імпульсних електромагнітних завад від різних джерел [86, 87].

Таблиця 4.1 – Параметри імпульсних електромагнітних завад

Джерело завад	Частота повторення, с-1	Тривалість імпульсу, с
Люмінесцентні лампи	10^2	10^{-7}
Системи запалення: - на холостому ходу - в робочому режимі	10^2 10^3	10^{-8}
Реле та соленоїди	10^3	10^{-7}
Колекторні двигуни	10^3	10^{-8}
Вмикачі: - настінні - верстатні	10^{-4} 10^{-3}	10^{-6} 10^{-7}

Всі кабелі живлення і дрони, зазвичай, прокладаються в окремому тунелі де вони розташовані поруч один до одного. Отже, виникає необхідність у визначенні та розрахунку можливості їх сумісної роботи.

Проведемо визначення наведеної напруги в колі через ємнісний зв'язок для неекранованого провідника. На рисунку 4.6 представлено модель ємнісного зв'язку між двома провідниками, де електричні параметри провідника 1 впливають через ємнісний зв'язок на провідник 2.



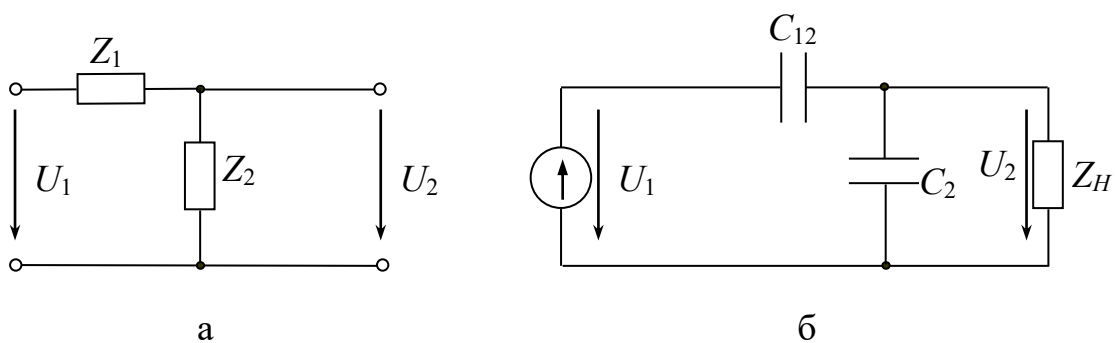
а – фізична модель; б – еквівалентна схема заміщення

Рисунок 4.6 – Модель ємнісного зв'язку між провідниками

Виходячи з фізичних процесів очевидно, що ємністю C_1 можна зневажати, то еквівалентна схема заміщення рисунку 4.6, б буде відповідати Г-подібній схемі чотириполюсника, яка представлений на рисунку 4.7, а і перетворена в розрахункову схему, яка приведена на рисунку 4.7, б.

Вирази для сталих чотириполюсника через елементи схеми заміщення (рисунок 4.7, а)

$$\left. \begin{aligned} \underline{A} &= 1 + \underline{Z}_1 \underline{Y}_2; \\ \underline{B} &= \underline{Z}_1. \end{aligned} \right\} \quad (4.22)$$



а- схема заміщення; б- розрахункова схема

Рисунок 4.7 – Г-подібна схема чотириполюсника

Тоді сталі чотириполюсника визначаються

$$\left. \begin{aligned} \underline{A} &= 1 + \frac{C_2 \cdot j\omega}{j\omega \cdot C_{12}} = \frac{1 + C_2}{C_{12}}; \\ \underline{B} &= \frac{1}{j\omega \cdot C_{12}}; \underline{Z}_1 = \frac{1}{j\omega \cdot C_{12}}; \\ \underline{Y}_2 &= \frac{1}{\underline{Z}_2} = \frac{1}{\frac{1}{j\omega \cdot C_2}} = j\omega C_2. \end{aligned} \right\} \quad (4.23)$$

Тепер підставимо значення коефіцієнтів в формулу (4.21)

$$\begin{aligned}
\dot{U}_2 &= \dot{U}_1 \cdot \frac{1}{\left(\frac{1+C_2}{C_{12}}\right) \cdot Z_H + \frac{1}{j\omega \cdot C_{12}}} \cdot \frac{1}{\left(\frac{C_{12}+C_2}{C_{12}}\right) \cdot Z_H + \frac{1}{j\omega \cdot C_{12}}} \cdot \frac{\frac{C_{12}}{(C_2+C_{12}) \cdot Z_H}}{\frac{C_{12}}{(C_2+C_{12}) \cdot Z_H}} = \\
&= \dot{U}_1 \cdot \frac{Z_H \cdot \frac{C_{12}}{(C_2+C_{12}) \cdot Z_H}}{\frac{(C_{12}+C_2) \cdot Z_H}{C_{12}} \cdot \frac{C_{12}}{(C_2+C_{12}) \cdot Z_H} + \frac{C_{12}}{j\omega \cdot C_{12} \cdot (C_2+C_{12}) \cdot Z_H}} = \\
&= \dot{U}_1 \cdot \frac{\frac{C_{12}}{C_2+C_{12}}}{1 + \frac{C_{12}}{j\omega \cdot C_{12} \cdot (C_2+C_{12}) \cdot Z_H}} \cdot \frac{j\omega \cdot \frac{C_{12}}{C_2+C_{12}}}{j\omega + \frac{C_{12} \cdot j\omega}{j\omega \cdot C_{12} \cdot (C_2+C_{12}) \cdot Z_H}} = \\
&= \dot{U}_1 \cdot \frac{j\omega \cdot \frac{C_{12}}{C_2+C_{12}}}{j\omega + \frac{1}{(C_2+C_{12}) \cdot Z_H}}.
\end{aligned}$$

Таким чином величини $\dot{U}_1$ і $\dot{U}_2$ зв'язані виразом

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 \cdot \frac{j\omega \frac{C_{12}}{C_{12}+C_2}}{j\omega + \frac{1}{Z_H(C_{12}+C_2)}}. \quad (4.24)$$

Для випадку низькочастотного впливу, коли формула (4.24) приймає вигляд

$$\dot{U}_2 = \dot{U}_1 \cdot \frac{C_{12}}{C_{12}+C_2}. \quad (4.25)$$

Якщо ємнісний зв'язок здійснюється по високій частоті, коли

$$Z_H = \frac{1}{j\omega(C_{12} + C_2)}, \quad (4.26)$$

тоді

$$U_2 = - \frac{1}{C_{12} + C_2} \cdot \quad (4.27)$$

Проведемо визначення напруги, що утворюється у колі за рахунок впливу індуктивного зв'язку. Коли наведений струм заводи проходить по провіднику, навколо провідника 1 (дивись рисунок 4.8) буде збуджуватися магнітне поле, яке охоплює провідник 2 і індукує у ньому відповідний струм. Цей струм може бути визначений за формулою взаємно зв'язаних електричних контурів

$$i_2(t) = - \frac{M_{12}}{Z_{21} + Z_{22}} \cdot \frac{di_1(t)}{dt}, \quad (4.28)$$

де M_{12} – взаємна індуктивність, між провідниками 1 і 2, Гн;

$i_1(t)$ – струм в провіднику, як залежність від часу, А;

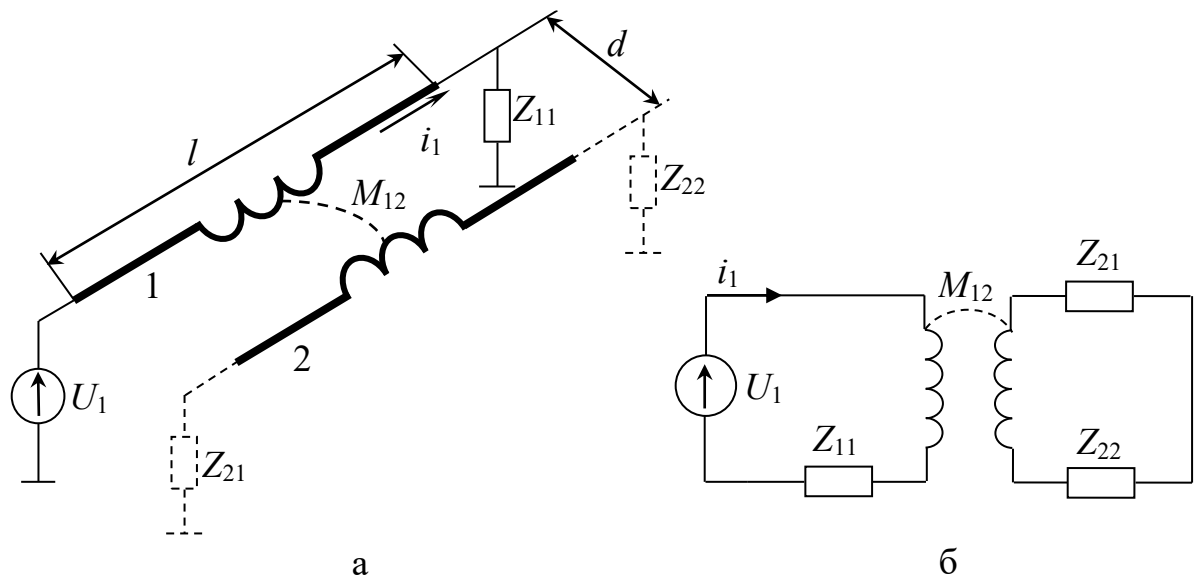
Z_{21} і Z_{22} – опір провідників, що мають індуктивний вплив, Ом.

Взаємна індуктивність визначається

$$M_{12} = \frac{\mu l}{2\pi \ln\left(\frac{l}{d}\right)}, \quad (4.29)$$

де μ – магнітна проникність простору, що навколо провідника, Гн/м.

Припустимо, що опори Z_{21} і Z_{22} володіють лише активною складовою, тоді залежність індукованого струму в провіднику 2 буде відповідати похідної від форми струму в провіднику 1.



а – фізична модель; б – еквівалентна схема заміщення

Рисунок 4.8 – Магнітний зв'язок між провідниками

Коли провідник 1 з струмом $i_1(t)$ робить вплив на контур «провідник – земля» площиною $A=hl$, причому, магнітне поле провідника 1 перпендикулярне площині цього контуру (див. рисунок 4.9), то формулу (4.28) можна записати у вигляді

$$i_2(t) = \frac{\mu l}{2\pi(Z_{21} + Z_{22})} \ln\left(\frac{d+h}{d}\right) \frac{di(t)}{dt}. \quad (4.30)$$

Аналізуючи вираз (4.30) стає очевидним, що коли опори Z_{21} і Z_{22} мають активний характер, то наведений в провіднику 2 струм за формою буде відповідати похідної по часу від струму в провіднику 1.

Якщо врахувати, що згідно з символічним методом $\frac{di(t)}{dt} = j\omega I$, тоді вираз (4.30) буде записано

$$i_2 = \frac{\mu l}{2\pi(Z_{21} + Z_{22})} \ln\left(\frac{d+h}{d}\right) j\omega I. \quad (4.31)$$

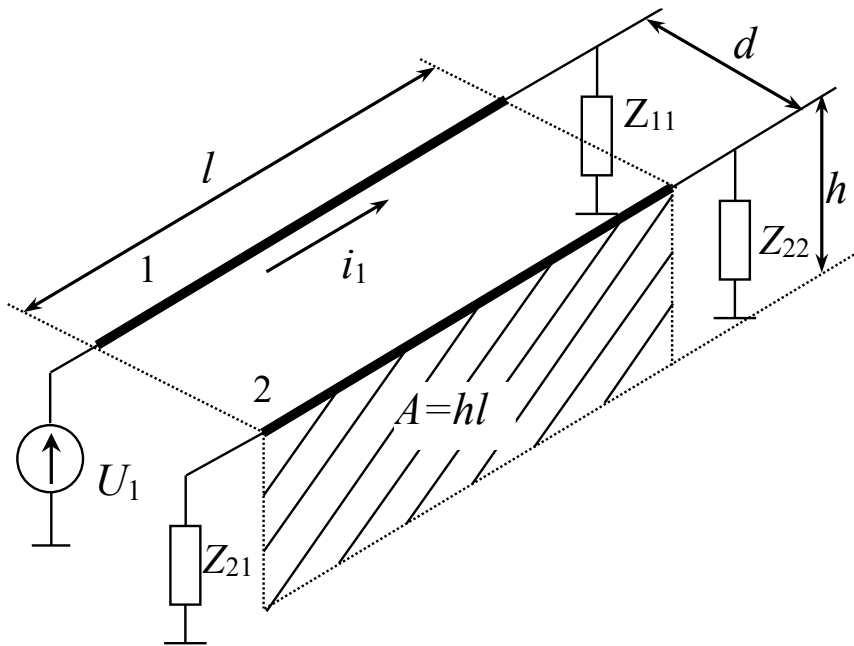
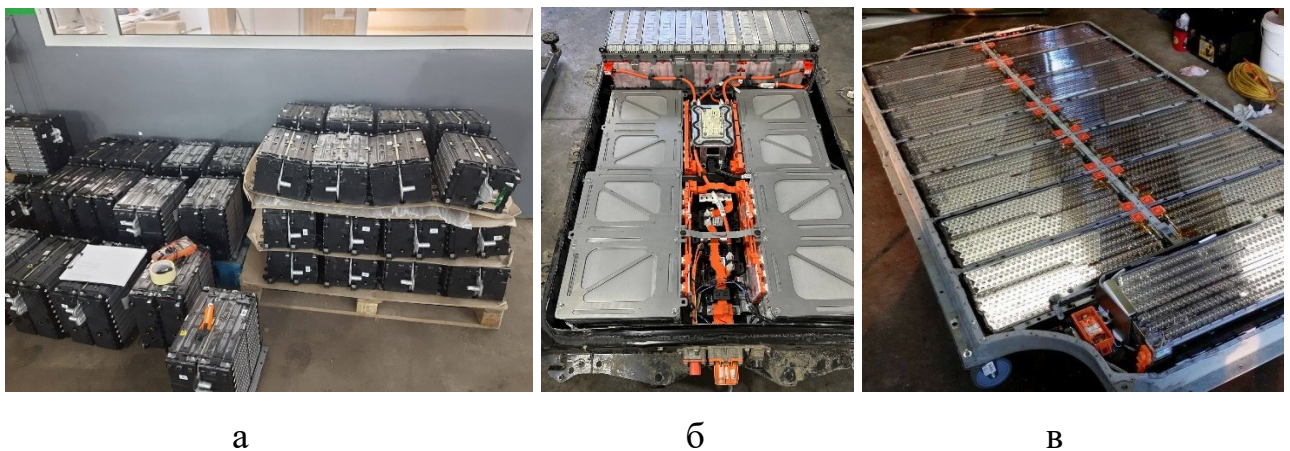


Рисунок 4.9 – Магнітний зв'язок між провідниками зі струмом і контуром «провідник – земля»

4.5 Розроблені зразки автономних джерел живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури

АКБ у запропонованому автономному джерелі живлення пропонується набирати з комірок тягових АКБ електромобілів, рисунок 4.10 [6, 88].



а - Hyundai Ioniq; б - Nissan Leaf; в - Tesla Model S

Рисунок 4.10 – Комірки тягових АКБ електромобілів

Комірки тягових АКБ електромобілів збираються у модулі на загальну напругу 12 В, 24 В, 48 В. Номінальне значення напруги зібраного АКБ залежить від значення вхідної напруги постійного струму на гібридному/автономному інверторі, який буде використовуватися у даному автономному джерелі живлення. Один з варіантів гібридного інвертора, на базі якого пропонується розбудувати автономне джерело живлення представлено на рисунку 4.11. Технічні характеристики гібридного інвертора 2E VP 3K24 3000VA ШІМ приведено в таблиці 4.2.

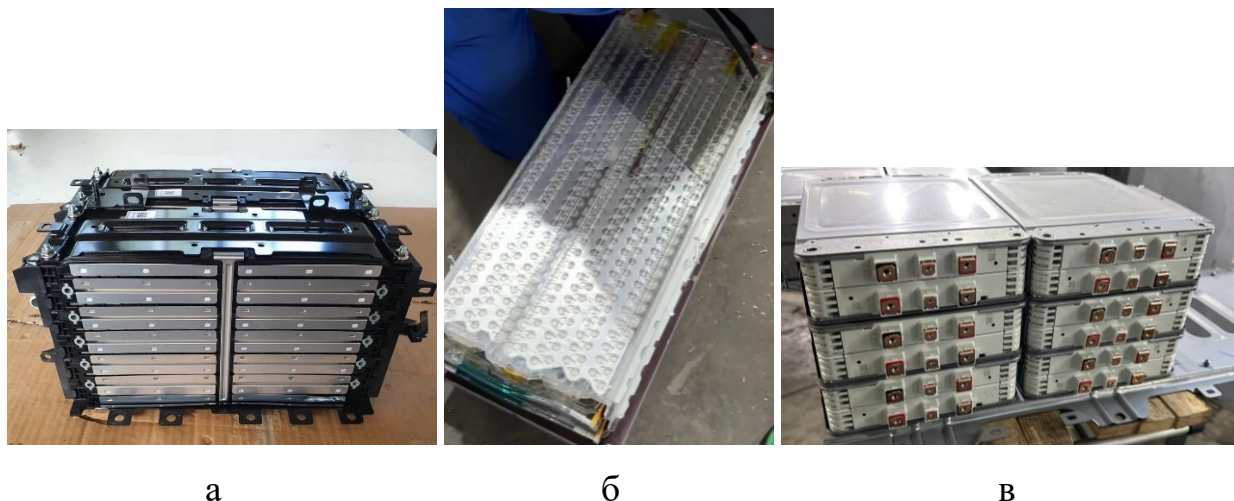


Рисунок 4.11 – Зовнішній вигляд гібридного інвертора EaSun 3000W 24V

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики гібридного інвертора EaSun 3000W 24V

Тип інвертора	Гібридний
Кількість фаз	1
Номінальна потужність навантаження, Вт (ВА)	3000
Вихідна напруга	Синусоїдальна
Вихідна напруга АКБ, В	24
Струм заряду, max, А	50
Струм номінальний, А	80
Режим заряду АКБ	PWM (ШИМ)
Номінальна вхідна напруга, В	220
Номінальна вихідна напруга, В	230
ККД, %	97
Максимальна потужність, Вт (ВА)	6000
Перевантажувальна здатність, %	200
Розміри (д/ш/в), мм	100 / 220 / 330
Вага, кг	8

Вибраний гібридний інвертор має номінальну вхідну напругу від АКБ 24 В. Тому, зібрані блоки накопичення енергії з комірок АКБ електромобілів, також, мають номінальну напругу на затискачах 24 В, рисунок 4.12.



а - Hyundai Ioniq; б - Tesla Model S; в - Nissan Leaf

Рисунок 4.12 – Блоки накопичення енергії з комірок АКБ електромобілів автономного джерела живлення

Для реалізації управління процесом заряду-розряду зібраного блоку накопичення енергії застосовується система BMS (Battery Managment System) - це набір підсистем за допомогою яких здійснюється управління, моніторинг та безпечна експлуатація АКБ.

Використання системи BMS значно підвищує ефективність самого автономного джерела живлення та продовжує його термін експлуатації, т.я. постійно відслідковує номінальні показники кожної комірки і реалізує запропонований у п.п. 4.1 спосіб активного балансування при заряді - розряді Li-ion АКБ.

Для зручності, автономне джерело живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури зроблено на пересувні платформі, що обладнана поворотними колесами. Автономні джерела живлення для електромобілів їх зарядної інфраструктури представлено на рисунку 4.13- 4.16.



Рисунок 4.13 – Автономне пересувне джерело живлення, потужність гібридного інвертора 3 кВт і блок накопичення енергії на 10 кВт·год (36 МДж)

Особливість конструкції розроблених автономних джерел живлення полягає у тому, що їх можна застосовувати на будь-якому об'єкті, де є потреба в електроживленні при відсутності централізованого електропостачання чи в його перерві (аварійні ситуації, несприятливі погодні умови, військові дії тощо). Так, для військових потреб було розроблено автономні пересувні джерела живлення у спеціальному, підвищеної міцності, герметичному корпусі, рисунок 4.15 [6, 88].



а

б

в

а - потужність гібридного інвертора -5,5 кВт, ємність блоку накопичення – 20 кВт·год;
 б - потужність гібридного інвертора -5 кВт, ємність блоку накопичення – 15 кВт·год;
 в - потужність гібридного інвертора -3 кВт, ємність блоку накопичення – 10 кВт·год

Рисунок 4.14 – Автономні пересувні джерела живлення



Рисунок 4.15 – Автономне пересувне джерело живлення для військових потреб, потужність гібридного інвертора - 3 кВт, ємність блоку накопичення – 9,1 кВт·год, габарити 420х340х300 мм

Також, запропоноване автономне пересувне джерело живлення можна використовувати у домашніх умовах, як резервне джерело живлення квартири чи будинку під час відключення централізованого електропостачання, наприклад, під час блекаутів чи віялових відключень, чи аварійних відключень. Використання розробленого автономного пересувного джерела живлення в умовах звичайної квартири приведено на рисунку 4.16.



Рисунок 4.16 – Використання автономного пересувного джерела живлення у цивільному помешканні, потужність гібридного інвертора - 3 кВт, ємність блоку накопичення – 10 кВт·год (36 МДж)

Проведені дослідження дозволяють розробляти та виготовляти автономні джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури, що володіють наступними параметрами та характеристиками:

- потужність гібридного інвертора від 3 кВт до 10 кВт з вихідною напругою чистої синусоїди;
- ємність АКБ (набраного з комірок Li-ion батарей) від 5 кВт·год до 50 кВт·год;
- стабілізована напруга 50 Гц (при роботі від АКБ);
- максимальна потужність з короткостроковими навантаженнями до 3,5 кВт, 6 кВт або 11 кВт (залежно від характеристик інвертора);
- постійне управління, моніторинг та калібрування комірок АКБ (здійснюється встановленою BMS, що реалізує запропонований спосіб активного балансування при заряді - розряді Li-ion АКБ [13, 89]);
- мобільність та зручність у пересуванні (обладнано поворотними колесами).

Далі проведемо розрахунок генерації електроенергії фотоелектричними модулями загальною потужністю 3 кВт, що працюють на заряд АКБ автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури [3, 90]. Т.я територія України поділяється на декілька зон по інтенсивності сонячного випромінювання (див. рис. 4.17), то виберемо декілька найбільших міст України, які входять до різних зон, це Київ/Харків, Дніпро, Одеса [91].

В таблиці 4.3 приведено показники генерації електроенергії фотоелектричними модулями загальною потужністю 3 кВт у вибраних містах України, що працюють на заряд АКБ автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури [2, 5, 6].

За приведеними даними показників генерації електроенергії фотоелектричними модулями загальною потужністю 3 кВт у Києві/Харкові, Дніпрі та Одесі (дивись таблицю 4.3) побудовано гістограму, рисунок 4.18.

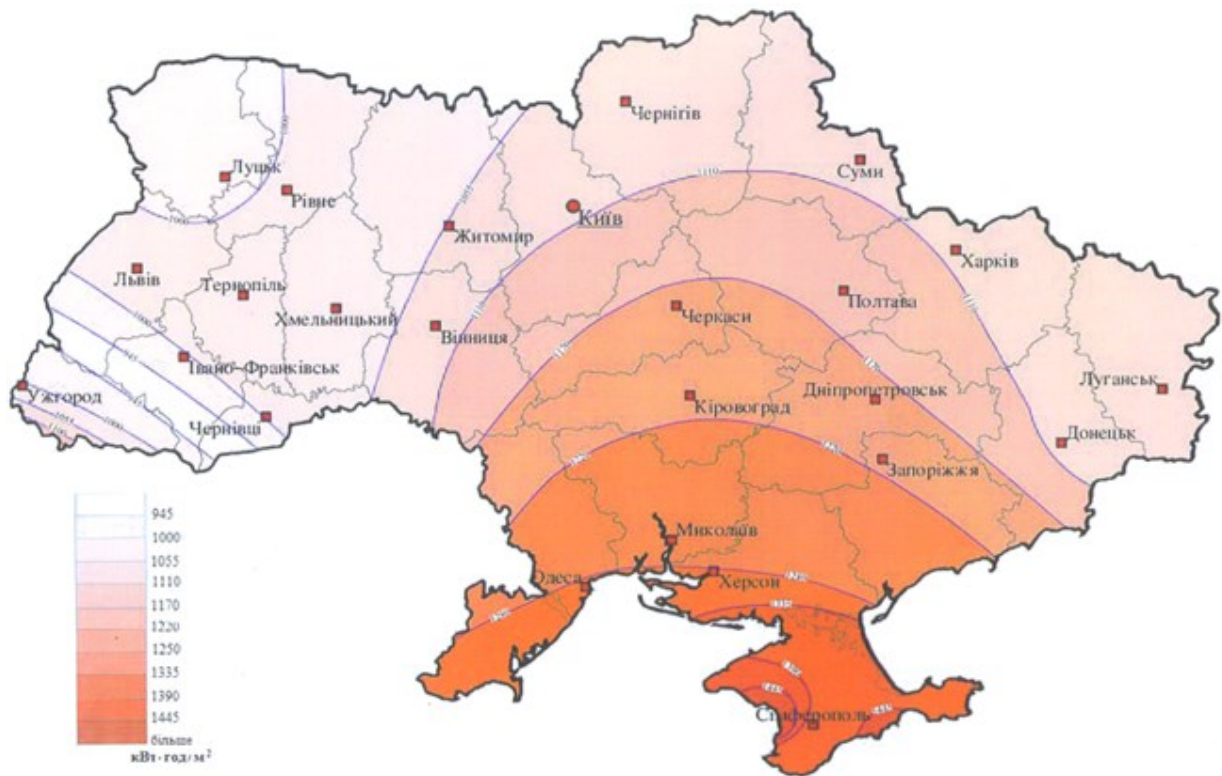


Рисунок 4.17 – Зони сонячної інсоляції на території України

Таблиця 4.3 – Показники генерації електроенергії фотоелектричними модулями загальною потужністю 3 кВт у вибраних містах України

	Середньомісячна генерація електроенергії, кВт·год		
Місяць	Київ/Харків	Дніпро	Одеса
Січень	90	100	110
Лютий	145	162	181
Березень	240	245	255
Квітень	320	333	365
Травень	443	458	470
Червень	427	450	486
Липень	440	473	500
Серпень	391	427	442
Вересень	250	297	331
Жовтень	173	190	206
Листопад	88	97	111
Грудень	78	83	90
Разом	3085	3315	3547

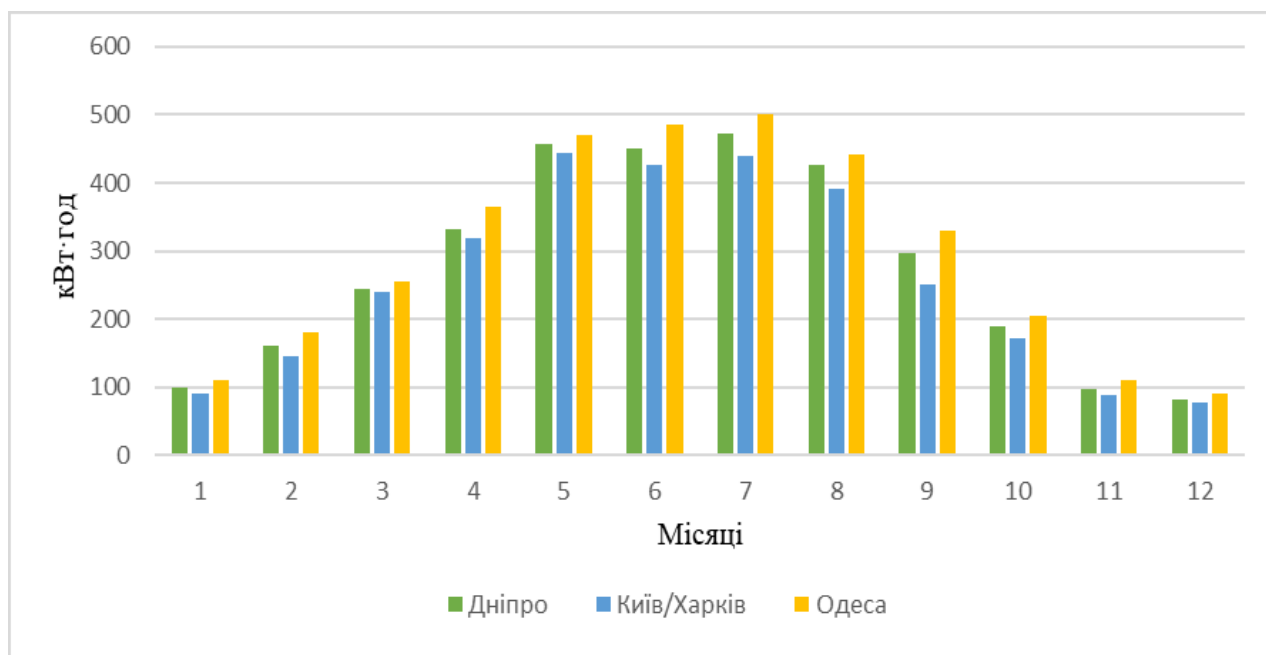


Рисунок 4.18 – Гістограма генерації електроенергії фотоелектричними модулями автономного джерела живлення, потужністю 3 кВт у вибраних містах України

Проведений розрахунок генерації електроенергії фотоелектричними модулями загальною потужністю 3 кВт, що працюють на заряд АКБ автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури показують, що використовуючи лише це поновлювальне джерело живлення за рік його роботи буде згенеровано електроенергії для різних регіонів України та зон сонячної інсоляції (дивись рисунок 4.17) :

- Київ/Харків - 3085 кВт·год;
- Дніпро - 3315 кВт·год;
- Одеса – 3547 кВт·год.

Це, приблизно, забезпечить пробіг електромобіля від 19,2 тис. км до 22,2 тис. км (при його середніх витратах 160 Вт на 1 км) виключно на енергії, що отримано від фотоелектричних модулів.

Висновки по розділу 4

Проведені дослідження щодо ефективного управління та використання АКБ в електричному транспорті та його інфраструктурі дозволяють сформулювати наступні висновки:

- розроблено метод та спосіб активного балансування при заряді - розряді Li-ion АКБ, приведено його схемну реалізацію, описано конструкцію та принцип роботи. Показана модель системи активного балансування при заряді - розряді Li-ion АКБ. Використання запропонованого способу активного балансування під час заряду - розряду Li-ion АКБ дозволяє спростити алгоритм роботи зарядно-балансуючого пристрою, поліпшити його схемну та конструктивну реалізацію, підвищити надійність і ККД його роботи, а також покращити співвідношення ціна-якість даного пристрою;

- удосконалено методи побудови систем енергозбереження та генерації електричної енергії на електричному автомобільному транспорті та його зарядній інфраструктурі. Проведено розробку автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури. Дана розробка базується на використанні гібридного/автономного інвертора, які широко застосовуються при розбудові гібридних/автономних сонячних електростанцій. Запропоновано дві моделі реалізації автономного джерела живлення – це з гібридним та автономним інверторами. Приведена схемна реалізація запропонованих моделей;

- розроблено метод визначення енергетичного балансу потужності, що враховує різні режими роботи автономного джерела живлення для електричного автомобільного транспорту та його зарядної інфраструктури;

- проведено дослідження основних електричних параметрів автономного джерела живлення при його роботі. Отримано розрахункові співвідношення для визначення та розрахунку паразитних ємнісних та індуктивних впливів провідників автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури під час його роботи;

– розроблено та запропоновано різні конструкції автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури. Розроблені автономні джерела живлення розраховані на максимальна потужність з короткостроковими навантаженнями до 3,5 кВт, 6 кВт або 11 кВт (залежно від характеристик інвертора) та мають ємність АКБ (набраного з комірок Li-ion батарей) від 5 кВт·год до 50 кВт·год. Управління, моніторинг та калібрування комірок АКБ здійснюється встановленою BMS, що реалізує запропонований спосіб активного балансування при заряді - розряді Li-ion АКБ;

– проведено розрахунок генерації електроенергії фотоелектричними модулями загальною потужністю 3 кВт, що працюють на заряд АКБ автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури. Результати розрахунку показують, що використовуючи лише дане поновлювальне джерело живлення за рік його роботи буде згенеровано електроенергії для найбільших міст, які охоплюють різні регіони України та зони сонячної інсоляції: Київ/Харків - 3085 кВт·год; Дніпро - 3315 кВт·год; Одеса – 3547 кВт·год. Це, забезпечить пробіг електромобіля від 19,2 тис. км до 22,2 тис. км (при його середніх витратах 160 Вт на 1 км) виключно на енергії, що отримано від фотоелектричних модулів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичне завдання з енергозбереження та застосування енергоефективних технологій на електричному автомобільному транспорті та його зарядній інфраструктурі шляхом інтеграції в електричну систему поновлювальних автономних джерел електроживлення та ефективного розподілу в ній балансу потужності.

Основні результати, що отримані в процесі проведення теоретичних і експериментальних досліджень, полягають у наступному:

1. Проведений аналіз науково-технічної літератури щодо тенденції розвитку сучасного енергоефективного АТЗ показав, що даний вид транспорту перебуває на етапі його розвитку і потребує як вдосконалення, так і розробки нових рішень та методів, що забезпечать його енергоефективність. Особливо це актуально для міського виду АТЗ, де поєднуються питання не тільки його енергоефективності, а й екологічності, тому, цей напрямок є актуальним і потребує подальшого дослідження.

2. Дослідження щодо принцип дії та особливостей конструкції пристроїв та системи генерації електричної енергії дозволяють розробити науково-практичні методи енергозбереження та застосування енергоефективних технологій на електричному автомобільному транспорті та його зарядній інфраструктурі. Розглянуто різноманітні конструкції запропонованих пристроїв та систем генерації електричної енергії. Запропоновано для використання на дорогах загального користування, штучну дорожню нерівність з функцією генерації електроенергії.

3. Розробка та практичні дослідження енергогенеруючої плити для електричного автомобільного транспорту та його зарядної інфраструктури дозволяють зробити наступні висновки:

– проведено кінематичний синтез триступеневого мультиплікатора енергогенеруючої плити, що забезпечило мінімізацію вартості його виробництва. Підключення двох крокових двигунів до електромашинного вузлу

енергогенеруючої плити дає змогу підвищити значення генерації електроенергії, у прямому напрямку дії, при використанні косозубих шестерень у мультиплікаторі на 47,3%, а з прямозубими шестернями на 61,7%, у зворотному напрямку дії – на 54,5% і 72,3% відповідно;

– один крок на енергогенеруючу плиту, в середньому, забезпечує генерацію, у прямому напрямку дії, при використанні косозубих шестерень у мультиплікаторі – 0,74 Вт електроенергії, а з прямозубими шестернями – 1,07 Вт електроенергії відповідно; у зворотному напрямку дії, при використанні косозубих шестерень у мультиплікаторі – 0,44 Вт електроенергії, а з прямозубими шестернями – 0,65 Вт електроенергії відповідно.

4. Розробка та дослідження роботи автономних джерел живлення для електричного автомобільного транспорту та його зарядної інфраструктури, дозволяють зробити наступні висновки:

– розроблено метод та спосіб активного балансування при заряді - розряді Li-ion АКБ, приведено його схемну реалізацію, описано конструкцію та принцип роботи. Використання запропонованого способу дозволяє спростити алгоритм роботи зарядно-балансуючого пристрою, поліпшити його схемну та конструктивну реалізацію, підвищити надійність і ККД його роботи, а також покращити співвідношення ціна-якість даного пристрою;

– удосконалено методи побудови систем енергозбереження та генерації електричної енергії на електричному автомобільному транспорті та його зарядній інфраструктурі. Проведено розробку автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури. Запропоновано дві моделі реалізації автономного джерела живлення – це з гібридним та автономним інверторами. Приведена схемна реалізація запропонованих моделей;

– розроблено метод визначення енергетичного балансу потужності, що враховує різні режими роботи автономного джерела живлення для електричного автомобільного транспорту та його зарядної інфраструктури. Розроблені автономні джерела живлення розраховані на максимальна потужність з короткочасними навантаженнями до 3,5 кВт, 6 кВт або 11 кВт (залежно від

характеристик інвертора) та мають ємність АКБ від 5 кВт·год до 50 кВт·год. Управління, моніторинг та калібрування комірок АКБ здійснюється встановленою BMS, що реалізує запропонований спосіб активного балансування при заряді - розряді Li-ion АКБ;

– проведено розрахунок генерації електроенергії фотоелектричними модулями потужністю 3 кВт, що працюють на заряд АКБ автономного джерела живлення для електричних АТЗ та їх зарядної інфраструктури. Результати розрахунку показують, що використовуючи лише таке поновлювальне джерело живлення за рік його роботи буде згенеровано електроенергії для найбільших міст, які охоплюють різні регіони України та зони сонячної інсоляції: Київ/Харків - 3085 кВт·год; Дніпро - 3315 кВт·год; Одеса – 3547 кВт·год. Це, забезпечить пробіг електромобіля від 19,2 тис. км до 22,2 тис. км (при його середніх витратах 160 Вт на 1 км) виключно на енергії, що отримано від фотоелектричних модулів.

Практична значимість результатів дисертаційної роботи підтверджується актами впровадження у навчальний процес Харківського національного автомобільно-дорожнього університету та у різних компаніях і підприємствах України: «Elcars»; ТОВ «APTCITI»; ТОВ «АКУТЕК».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Panchenko, A., Smyrnov, O., Nechaus, A., Trunova, I., Borysenko, A., Sokhin, P., & Bagach, R. (2021). Establishing patterns in the compatible electromagnetic and electromechanical transition processes when the starter is powered by a supercapacitor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(5), 111, p.19–25, DOI: 10.15587/1729-4061.2021.232423.
2. Hnatov A.V., Arhun S.V., Hnatova H.A., & Sokhin P.A. (2021). Technical and economic calculation of a solar-powered charging station for electric vehicles. *Automobile Transport*, (49), 71-78. DOI: 0.30977/AT.2019-8342.2021.49.0.05.
3. Гнатів А. В., Аргун І. В., Гнатова Г. А., & Сохін П. А. (2022) Переобладнання автомобіля з ДВЗ в електромобіль. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (21), 1-9. DOI: 10.30977/VEIT.2022.21.0.1;
4. Borodenko Y. M., Hnatov A. V., Arhun S. V., & Sokhin P. A. (2023) Energy aspects of automobile transport development. *Automobile Transport*, (53), 37-50. DOI: 10.30977/AT.2219-8342.2023.53.0.05.
5. Сохін П.А. (2023) Дослідження автономної сонячної електростанції для автокемпера. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (24), 6–14. DOI: 10.30977/VEIT.2023.24.0.1.
6. Гнатів А. В., Аргун І. В., Сохін П. А., & Ульянець О. А. (2024) Дослідження автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури. *Вісник ХНАДУ*, (104), 130–139. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.104.1.130.
7. Гнатів А.В., Аргун І.В., Гнатова Г.А., & Сохін П.С. (2022) *Інтеграція кібер-фізичних систем у навчальний процес для спеціальностей транспортного спрямування*. «Комп’ютерні технології і мехатроніка» Збірка матеріалів IV Міжнародної науково-методичної конференції (Харків, 26 травня 2022 р.). Харків : ХНАДУ, 22-26.
8. Аргун І.В., Гнатів А.В., Сохін П.А., & Гнатова Г.А. (2022) Переобладнання бензинового автомобіля в автомобіль з тяговим

- електродвигуном. «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» СЕУТТОО-2022. Тринадцята Міжнародна науково-практична конференція (Херсон, 7-9 вересня 2022 р.). Херсон: ХДМА, 43-46.*
9. Гнатов А.В., Аргун Щ.В., Гнатова Г.А., Сохін П.А., & Тарасов К.С. (2022) *Електропривод для електромобілів та гібридних автомобілів. «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології» Збірка матеріалів VIII Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції (Харків, 21-22 листопада 2022 р.). Харків : ХНАДУ, 101-103.*
 10. Гнатов А.В., Теміров Т.Б. & Сохін П.А. (2023) *Дослідження тягового електроприводу для міського електромобіля на базі асинхронного двигуна. «Новітні технології – для захисту повітряного простору»: тези доповідей XIX міжнародна наукова конференція Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба (Харків, 12-13 квітня 2023 р.). Харків: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 524.*
 11. Гнатов А. В., & Сохін П.А. *Енергоефективні та енергозберігаючі технології на транспорті. «Світові тенденції ресурсозбереження на електричному транспорті» Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (Харків, 25-27 жовтня 2023 р.) Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 23-25.*
 12. Гнатов А.В., Сохін П.А., & Долгій М.О. (2023) *Дослідження обладнання автокемпера автономною сонячною електростанцією. «Сучасні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців» Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції до Дня автомобіліста та дорожника (Харків, 23–25 жовтня 2023 р.). Харків : ХНАДУ, 238-242.*
 13. Гнатов А.В., Сохін П.А., & Ульянець О.А. (2023) *Спосіб балансування Li-ion акумуляторних батарей під час їх заряду та розряду. «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» 15-а Міжнародна науково-практична конференція (Херсон, 13-15 березня 2024 р.). Херсон: ХДМА, 11-14.*

14. Мигаль, В., Аргун, Щ., Гнатов, А., Гнатова, Г., & Сохін, П. (2022). Інтелектуальне діагностування транспортних засобів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (22), 72–80. DOI: 30977/VEIT.2022.22.0.5.
15. Мигаль В.Д., Аргун, Щ. В., Гнатов, А. В., Гнатова, Г. А., & Сохін, П. А. (2023) Підвищення якості тягових електродвигунів для електротранспорту. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (23), С. 6–14. DOI:10.30977/VEIT.2023.23.0.1.
16. Аргун Щ. В., Гнатов А. В., & Сохін П. А. (2024) Ефективність енергогенеруючих плиток з різними типами мультиплікаторів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (25), 42–52. DOI:10.30977/VEIT.2024.25.0.5.
17. Бороденко, Ю.М., Гнатов, А.В., & Аргун, Щ.В. (2023). Мехатронні системи автомобіля. Частина 1. Силовий привід: підручник. Харків: Мачулін.
18. Добровольський, О. С., & Ступак, Н. С. (2017). Доцільність переведення автомобільного парку на газове паливо. *Вісник Національного транспортного університету*, №. 1, 124–132.
19. Гнатов, А. В., Аргун, Щ. В., & Трунова, І. С. (2016). Теорія електроприводу транспортних засобів: підручник. Харків: ХНАДУ.
20. Carignano, M., & Costa-Castelló, R. (2023). Toyota Mirai: powertrain model and assessment of the energy management. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 72(6), 7000-7010. IEEE.
21. Kravchenko, M. B. (2017). Application of the Open Cycle Stirling Engine Driven with Liquid Nitrogen for the Non-Polluting Automobiles. *Refrigeration Engineering and Technology*, 53(5), 23-32.
22. Sanguesa, J. A. et al. (2021). A review on electric vehicles: Technologies and challenges. *Smart Cities*, 4(1), 372-404.
23. Pilipenko, A. (2017, September). Studies of the Wave Principles of the Conversion of Solar Radiation into Electricity as an Alternative to Space Solar Energy. In *2017 International Workshop on Engineering Technologies and Computer Science (EnT)* (pp. 41-44). IEEE.

24. Стеблина, Д. В. (2020). Технологія бездротової передачі електроенергії та її продукування за рахунок потенціалу електромагнітного поля землі. *Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: В 42 матеріали XXI міжнародної науково-практичної конференції* (с. 823). Київ: Інтерсервіс.
25. Fijalkowski, B. T. (2011). *Automotive Mechatronics. Operational and Practical Issues*. Volume I. Springer Heidelberg Dordrecht London New York.
26. Яким, Р. С. (2020). Приводи транспортних машин: навчальний посібник [для студентів закладів вищої освіти]. Дрогобич: Редакційно-видавничий відділ Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка.
27. Kuņicina, N., Zabašta, A., Romānovs, A., Pečerska, J., Ribickis, L., Hnatov, A., Shchasiana, A., Dziubenko, O., Rudenko, N., Borodenko, Y., Danylenko, K., Morkun, N., Zavsiehdashnia, I., Sistuk, V., Monastyrskyi, Y., Ruban, S., Tron, V., & Peuteman, J. (2022). *Cyber-Physical Systems for Clean Transportation*. Rīga: RTU Izdevniecība.
28. Аргун, Щ. В., Гнатов, А. В., & Гнатова, Г. А. (2022). Аналіз параметрів, що впливають на ресурс літій-іонної акумуляторної батареї. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології [Збірка матеріалів VII Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції]* (с. 25–26). Харків: ХНАДУ.
29. Аргун, Щ. В. (2020). *Підвищення експлуатаційних властивостей міського пасажирського транспорту застосуванням електричного приводу* [Дисертація доктора технічних наук, спеціальність 05.22.02]. Харків.
30. Гнатов, А. В., Аргун, Щ. В., Бикова, О. В., & Підгора, О. В. (2016). Електробус на суперконденсаторах для міських перевезень. *Вісник ХНАДУ*, № 72, 29–34.
31. Gholamhosseinian, A., & Seitz, J. (2021). Vehicle classification in intelligent transport systems: An overview, methods and software perspective. *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2, 173-194.

32. Гнатов, А. В., Аргун, Щ. В., Гнатова, Г. А., & Підгора, О. В. (2016). Електробус на суперконденсаторах для міських перевезень з над швидкою зарядкою (Пат. 111342 України, B60L11/00, B60L9/00). Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т.
33. Hnatov, A., Arhun, Shch., Ponikarovska, S., & Ulyanets, O. (2018). Ultracapacitors electrobus for urban transport. *IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2018)*, 539–543. doi: 10.1109/ELNANO.2018.8477449.
34. Гнатов, А. В., Аргун, Щ. В., & Гнатова, Г. А. (2019). Тягові характеристики силової установки електробуса. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*, 2(21), 36-43.
35. Pop-Pîgleșan, F., Pop, A. C., & Marțiș, C. (2021). Synchronous reluctance machines for automotive cooling fan systems: numerical and experimental study of different slot-pole combinations and winding types. *Energies*, 14(2), 460.
36. Merwerth, J., & BMW Group. (2014, March). The hybrid-synchronous machine of the new BMW i3 & i8. In *Workshop University Lund*.
37. Далека, В. Х., Кульбашна, Н. І., & Кузнєцов, А. І. (2020). Інформаційні технології в підвищенні енергоефективності електричних машин. *Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. Серія : Технічні науки та архітектура*, 157, 172-177.
38. Patlins, A., Hnatov, A., Arhun, S., Hnatova, H., & Saraiev, O. (2022, May). Features of converting a car with an internal combustion engine into an electric car. In *2022 IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON)* (pp. 1-6). IEEE.
39. Algarny, K., Abdelrahman, A. S., & Youssef, M. (2018, March). A novel platform for power train model of electric cars with experimental validation using real-time hardware in-the-loop (HIL): A case study of GM Chevrolet Volt 2nd generation. In *2018 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)* (pp. 3510-3516). IEEE.

40. Hosokawa, T., Tanihata, K., & Miyamoto, H. (2008). Development of i-MiEV next-generation electric vehicle (second report). *Mitsubishi Motors Technical Review*, 20, 53-60.
41. Protean electric's in-wheel motors could make EVS M. Retrieved March 23, 2023, from <https://spectrum.ieee.org/protean-electrics-inwheel-motors-could-make-evsmore-efficient>.
42. Gandzha, S. A., Chuyduk, I. A., & Nazarov, M. (2021, September). Development of a motor-wheel based on a brushless machine of combined excitation for hybrid and electric transport. In *2021 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon)* (pp. 630-633). IEEE.
43. Li, Y., Adeleke, O. P., & Xu, X. (2019). Methods and applications of energy saving control of in-wheel motor drive system in electric vehicles: A comprehensive review. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 11(6).
44. In-wheel electric motors. Retrieved March 26, 2024, from https://www.proteanelectric.com/wpcontent/uploads/2018/04/In_Wheel_Electric_Motors_AFraser_ProteanV4.pdf.
45. Ловейкін, В. С., Ромасевич, Ю. О., & Човнюк, Ю. В. (2012). Мехатроніка : навч. посіб. Київ: Видавництво.
46. Сінчук, О. М., Козакевич, І. А., & Юрченко, М. М. (2017). Бездатчикове керування вентильними реактивними двигунами тягових електромеханічних систем. *Технічна електродинаміка*, 5, 62–66.
47. Косенко, Р. А. (2014). Моделювання системи векторного керування асинхронним двигуном. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*, 1, 215–223.
48. Рогозін, І. В., Новічонок, С. М., Гнатов, А. В., & Рогозіна, А. І. (2018). Спосіб розрахунку основних параметрів гібридного силового агрегату для спеціалізованих автотранспортних засобів. *Vehicle and electronics. Innovative technologies*, (13), 5-12.

49. Гнатов, А. В., & Аргун, Щ. В. (2017). Енергогенеруюча плитка як альтернативне малопотужне джерело електричної енергії. *Автомобільний транспорт*, 40, 167-172.
50. Гнатов, А. В., Аргун, Щ. В., & Дзюбенко, О. А. (2018). Вибір схеми технічного рішення енергогенеруючої сходинки. *Вісник ХНАДУ*, 81, 29-38.
51. Аргун, Щ.В., Гнатов, А.В., Дзюбенко, О.А., & Понікаровська, С.В. (2019). Енергогенеруюча плитка з електромашинним вузлом на базі крокових двигунів. *Вісник національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність*, (14), 20–25.
52. Hnatov, A., & Arhun, S. (2017). Energy saving technologies for urban bus transport. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 14(4), 4649–4664. <https://doi.org/10.15282/ijame.14.4.2017.5.0366>.
53. Hnatov, A., Arhun, S., Dziubenko, O., & Ponikarovska, S. (2018). Choice of Electric Engines Connection Circuits in Electric Machine Unit of Electric Power Generation Device. *Majlesi Journal of Electrical Engineering*, 12(4), 87–95.
54. Гнатов, А.В., Аргун, Щ. В., Дзюбенко, О.А., & Понікаровська, С.В. (2018). Вибір схеми підключення електродвигунів у електромашинному вузлі пристрою генерації електричної енергії. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання*, (13), 13–21.
55. Гнатов, А. В., & Аргун, Щ. В. (2018). Вибір схеми технічного рішення енергогенеруючої сходинки. *Вісник ХНАДУ*, (81), 29–38. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2018.81.0.29>.
56. Arhun, S., Hnatov, A., Dziubenko, O., & Ponikarovska, S. (2019). A Device for Converting Kinetic Energy of Press into Electric Power as a Means of Energy Saving. *J. Korean Soc. Precis. Eng.*, 36(1), 105–110. <http://doi.org/10.7736/KSPE.2019.36.1.105>.
57. Гнатов, А. В., Аргун, Щ. В., Гнатова, Г. А., Тарасов, К. С., & Понікаровська, С. В. (2019). Пристрій примусового зниження швидкості з функцією генерування електроенергії. *Автомобільний транспорт*, (45), 70–78. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2019.45.0.70>.

58. Patlins, A., Hnatov, A., Kunicina, N., Arhun, S., Zabasta, A., & Ribickis, L. (2018). Sustainable pavement enable to produce electricity for road lighting using green energy. In *2018 Energy and Sustainability for Small Developing Economies (ES2DE)* (pp. 1–2). Funchal, Portugal: IEEE. doi: 10.1109/ES2DE.2018.8494236.
59. Patlins, A., Hnatov, A., & Arhun, S. (2018). Safety of Pedestrian Crossings and Additional Lighting Using Green Energy. In *Transport Means 2018: Proceedings of 22nd International Scientific Conference* (pp. 527–531). Kaunas: Kaunas University of Technology.
60. Гнатов, А.В., Аргун, Щ.В., Букетов, А.В., Гнатова, Г.А., Біліченко, В.В., & Мурований, І.С. (2018). Пристрій примусового зниження швидкості автомобілів, що генерує електроенергію. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології* [Збірка матеріалів VI Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції] (с. 14–16). Харків: ХНАДУ.
61. Patlins, A., Hnatov, A., Arhun, S., & Dzyubenko, O. (2019). Design and research of constructive features of paving slabs for power generation by pedestrians. *Transportation Research Procedia*, 40, 434-441. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.063>.
62. Patlins, A., Hnatov, A., Arhun, S., Bogdan, D., & Dziubenko, O. (2019). Development of an Energy Generating Platform for Converting Kinetic Energy into Electrical Energy Using the Kinematic Synthesis of a Three-Stage Multiplier. In *TRANSPORT MEANS 2019. Sustainability: Research and Solutions. PROCEEDINGS OF THE 23rd INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE PART I*. (pp. 403-408). Kaunas: Kaunas University of Technology.
63. Hnatov, A., Ribickis, L., Hnatova, H., Zabasta, A., & Kunicins, K. (2020). Study of the Operation of the Energy Generating Platform on the Basis of a Multiplier with Spur Gears. In *2020 6th IEEE International Energy Conference (ENERGYCon)* (pp. 231-237). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ENERGYCon48941.2020.9236460>.

64. Гнатов, А.В., Аргун, Щ.В., & Дзюбенко, О.А. (2017). Спосіб перетворення кінетичної енергії в електричну (Пат. 121487 України). Бюл. №23.
65. Гнатов, А.В., Аргун, Щ.В., & Дзюбенко, О.А. (2017). Електромеханічний спосіб перетворення кінетичної енергії в електричну з використанням пружинного накопичувача (Пат. 121488 України). Бюл. №23.
66. Гнатов, А.В., Аргун, Щ.В., & Дзюбенко, О.А. (2017). Пристрій перетворення кінетичної енергії в електричну (Пат. 121489 України). Бюл. №23.
67. Гнатов, А.В., Аргун, Щ.В., & Гнатова, Г.А. (2016). Пристрій генерування електричної енергії (Пат. 106587 України). Бюл. №8.
68. Гнатов, А.В., Аргун, Щ.В., & Гнатова, Г.А. (2016). Спосіб генерування електричної енергії від кроків людського потоку (Пат. 106588 України). Бюл. №8.
69. Гнатов, А.В., Аргун, Щ.В., & Дзюбенко, О.А. (2017). Електромеханічний пристрій перетворення кінетичної енергії в електричну з мультиплікатором (Пат. 121490 України). Бюл. №23.
70. Гнатов, А.В., & Аргун, Щ.В. (2017). Електромеханічний пристрій перетворення кінетичної енергії в електричну (Пат. 121491 України). Бюл. №23.
71. Гнатов, А.В., Аргун, Щ.В., & Дзюбенко, О.А. (2017). Електромеханічний спосіб перетворення кінетичної енергії в електричну з використанням мультиплікатора (Пат. 121492 України). Бюл. №23.
72. Гнатов, А.В., & Аргун, Щ.В. (2017). Електромеханічний спосіб перетворення кінетичної енергії в електричну (Пат. 121493 України). Бюл. №23.
73. Гнатов, А.В., Аргун, Щ.В., & Дзюбенко, О.А. (2017). Електромеханічний пристрій перетворення кінетичної енергії в електричну з пружинним накопичувачем (Пат. 121494 України). Бюл. №23.
74. Гнатов, А.В., & Аргун, Щ.В. (2018). Пристрій для генерування електричної енергії та примусового зниження швидкості з мультиплікатором (Пат. 129621 України). Бюл. №21.

75. Гнатов, А.В., & Аргун, Щ.В. (2018). Спосіб генерування електричної енергії та примусового зниження швидкості з мультиплікатором (Пат. 129625 України). Бюл. №21.
76. Гнатов, А.В., Аргун, Щ.В., Дзюбенко, О.А., Гнатова, Г.А., & Богдан, Д.І. (2020). Платформа для перетворення кінетичної енергії від натискання в електричну (Пат. 141654 України). Бюл. №8.
77. Гнатов, А.В., Аргун, Щ.В., & Ульянець, О.А. (2017). Властивості та способи застосування п'єзоелектричних елементів як генераторів електроенергії. *Автомобільний транспорт*, (41), 178-187.
78. Гнатов, А.В., Аргун, Щ.В., & Дзюбенко, О.А. (2018). Розробка системи енергозбереження та генерації електричної енергії для транспортних засобів. *Заключний: науково-дослідна робота*. Харків: ХНАДУ.
79. Гнатов, А.В., Аргун, Щ.В., Дзюбенко, О.А., Гнатова, Г.А., & Богдан, Д.І. (2020). Спосіб перетворення кінетичної енергії від натискання в електричну з пішохідною платформою та циліндричним мультиплікатором (Пат. 141656 України). Бюл. №8.
80. Гнатов, А.В., Аргун, Щ.В., Дзюбенко, О.А., Гнатова, Г.А., & Богдан, Д.І. (2023). Спосіб перетворення кінетичної енергії в електричну від натискання на пішохідну платформу (Пат. 153782 Україна). Бюл. №35.
81. Дзюбенко, О.А., & Двадненко, В.Я. (2024). Балансуючий зарядний пристрій для літій-іонних акумуляторних батарей (Пат. 155218 України). Бюл. № 5/2024.
82. Рикованов, А.С. (2009). Системи балансу Li-ion акумуляторних батарей. *Силовая електроніка*, (19).
83. Scott, K., & Nork, S. (2019). Active battery cell balancing. *Analogue Devices*.
84. Як влаштована гібридна сонячна електростанція. (2024). Вилучено з <https://solar-tech.com.ua/ua/kak-ustroena-gibridnaya-solnechnaya-stanciya-2018-11-26.html>.
85. Гнатов, А.В., & Аргун, Щ.В. (2021). *Енергозберігаючі технології на транспорті: конспект лекцій*. Харків: ХНАДУ.

86. Бажинов, О.В., Гнатов, А.В., Смирнов, О.П., & ін. (2008). *Гібридні автомобілі*. Харків: ХНАДУ.
87. Гнатов, А.В. (2004). [Тема спеціальна]: автореф. дис. ... кандидата техн. наук. Харківський національний автомобільно-дорожній університет.
88. Наші послуги. (2024). Вилучено з <https://elcars.ua/ua/>.
89. Гнатов, А.В., Аргун, Щ.В., Сохін, П.А., Ульянець, О.А., & Цимбал, Д.В. (2024). *Дослідження методу балансування літій-іонних акумуляторних батарей*. Збірник тез та доповідей міжнародної конференції "Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії" (с. 261-264). Харків: ФОП Бровін О.В.
90. Сонячна електростанція 3 кВт. (2024). Вилучено з <https://ecoforce.com.ua/uk/photoelectrics/ses3/>.
91. Руденко, Л.Г. (Ред.). (2007). *Національний атлас України*. Київ: ДНВП «Картографія».

Додаток А

ГІБРИДНІ СИЛОВІ УСТАНОВКИ АВТОМОБІЛІВ ТА ЇХ СТРУКТУРА

Під терміном "електричний гібрид" в повному розумінні розуміється транспортний засіб, який приводиться в дію від двигуна внутрішнього згоряння, так і від ТЕД. На сучасному етапі розвитку технологій електричні ГСУ класифікуються з використанням різних критеріїв, рисунок А.1 [17].

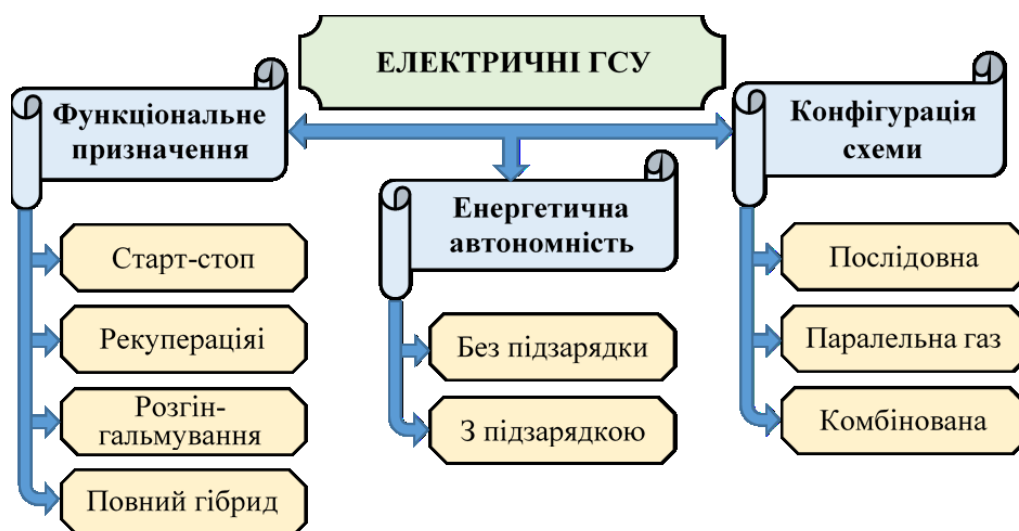


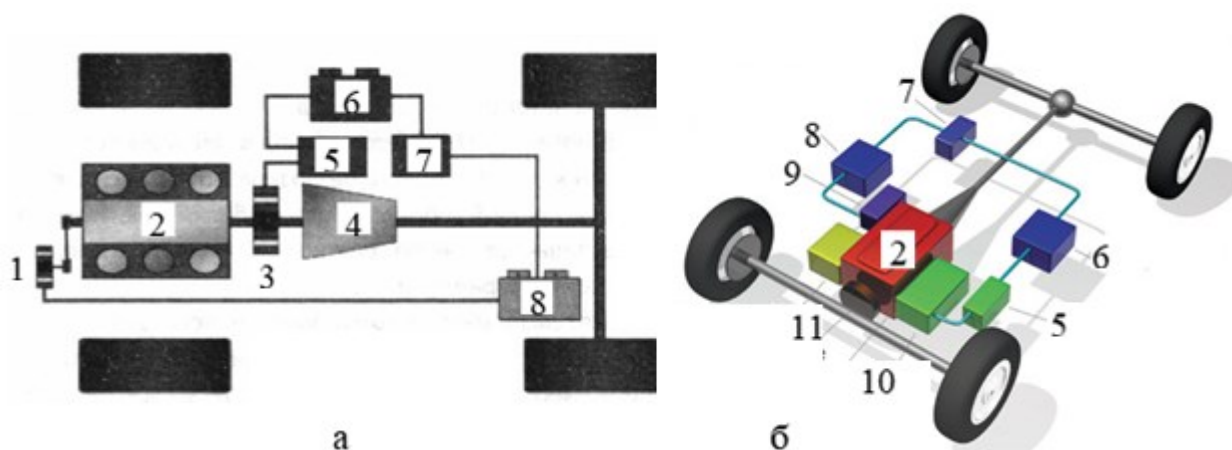
Рисунок А.1 - Розподіл ГСУ автомобілів

Залежно від ролі, яку виконує електрична машина в системі приводу, гібридні автомобілі поділяються на пасивні мікро-гібриди, помірні або м'які, і повні гібриди. У мікрогібридах електрична машина використовується для впровадження систем «Start-Stop» та відновлення енергії під час гальмування. У м'яких гібридах електромотор виступає в ролі помічника ДВЗ під час розгону та прискорення. У повних гібридах електропривод надає обмежений автономний режим руху на електротязі.

Мікро-гібриди зазвичай використовують напругу 12 В та оснащуються електричною машиною (генератором) невеликої потужності.

М'які гібриди, оснащені невеликою батареєю з обмеженим запасом енергії та ЕД обмеженої потужності, вони входять в роботу під час розгону

автомобіля разом із основним двигуном внутрішнього згоряння. Такі гібриди можуть використовувати системи живлення електроприводу з підвищеною (36 В, 42 В) або високою (від 300В до 700 В) напругою. При цьому конструкція гібридного приводу передбачає можливість паралельного або послідовного додавання крутних моментів альтернативних двигунів, рисунок А.2.



1 – генератор (12 В); 2 – ДВЗ; 3 – електродвигун; 4 – АКП; 5 – модуль силових електронік; 6 – ТАБ; 7 – DC/DC-перетворювач; 8 – АКБ; 9 – стартер; 10 – оборотна електрична машина; 11 – електромагнітне зчеплення.

а – послідовна; б – паралельна

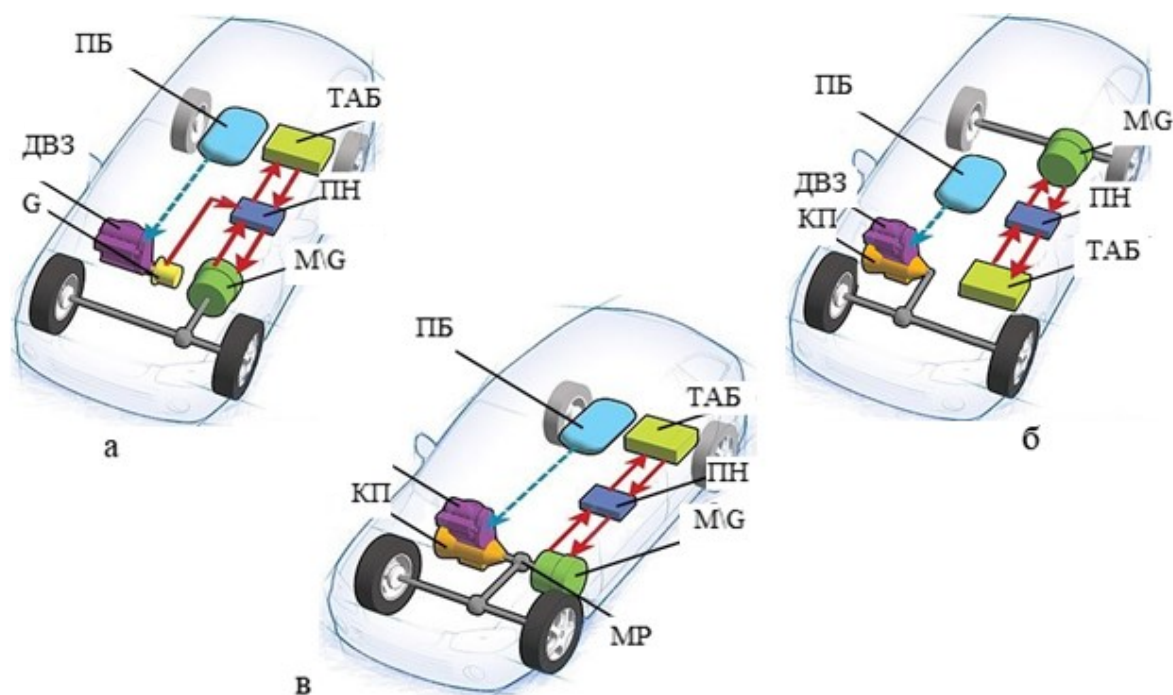
Рисунок А.2 - ГСУ м'яких гібридів

Для повних гібридів характерно використання високої напруги живлення та потужного ТЕД. Для забезпечення цього в системі використовується потужна акумуляторна батарея (рисунку А.2). У повних гібридах, щоб збільшити автономний пробіг на електротязі, можуть використовуватися засоби зарядження ТАБ від зовнішніх джерел. Такі автомобілі отримали назву "Електричний гібрид, який заряджається із-зовні" (PHEV - Plug-in Hybrid Electric Vehicle).

Можлива компромісна конфігурація активної системи «Start-Stop» передбачає, що електричний привід використовується лише для короткочасних переміщень на низькій швидкості (наприклад, рух у пробці) за допомогою електростартера. Основним недоліком такого рішення є велике енергоспоживання ЕД стартера при запуску. Проблема можна вирішити,

застосовуючи електричні вентильні або пневматичні стартерні системи. У випадку останнього, машина досягає максимальної ККД та обертаючого моменту при мінімальних швидкостях руху автомобіля. З точки зору структури та передачі потужності до коліс автомобіля, розрізняють три конфігурації ГСУ - послідовну, паралельну та комбіновану.

Послідовна ГСУ – конфігурація, в якій ДВЗ приводить в дію тільки генератор «G», рисунок А.3, а.



а – послідовна; б – паралельна; в – комбінована

Рисунок А.3 - Конструкції ГСУ

У цій конструкції ГСУ генератор G керується в режимі оптимальної економії палива. Згенерована електроенергія, керована модулем управління (перетворювач напруги ПН), подається або на ТЕД M/G, або в тягову акумуляторну батарею. ТЕД через трансмісію передає необхідний обертаючий момент на колеса, а при гальмуванні функціонує як генератор, заряджаючи ТАБ. Такі гібридні моделі відомі позначеннями REEV (Range-Extended Electric Vehicle) або EREV (Extended-Range Electric Vehicle). Переваги цієї системи включають постійну експлуатацію ДВЗ у економічному режимі, простоту і

відсутність складної трансмісії. Серед недоліків слід відзначити низьку ККД передачі енергії від ДВЗ до ведучих коліс автомобіля, неможливість поєднання потужностей альтернативних привідних двигунів, і відсутність руху при повній розрядці ТАБ.

Паралельна конструкція ГСУ передбачає з'єднання альтернативних двигунів з різними осями коліс, рисунок А.3,б. Електроенергія, яка утворюється під час рекуперації машини М/Г, направляється для зарядження ТАБ. У цій схемі не вимагається спеціалізована трансмісія, але вона не дозволяє заряджати ТАБ від ДВЗ. ЕД живиться від ТАБ. Оскільки обертаючий момент від альтернативних двигунів може бути безпосередньо переданий на колеса, ККД такого гібрида вищий, а енерговитрати менші. Однак з точки зору показників паливно-екологічної ефективності ДВЗ паралельна схема програє послідовній, т.я. ДВЗ не може постійно функціонувати в економічному режимі. Зазначимо, що в окремих варіантах паралельної схеми ТЕД може бути розташований безпосередньо на колінчастому валу ДВЗ або підключатися до трансмісії за допомогою окремого зчеплення.

Комбінована конструкція ГСУ передбачає механічне з'єднання ДВЗ та ТЕД з передавальним механізмом МР, що веде до коліс автомобіля, рисунок А.3,в. Така структура об'єднує переваги обох розглянутих вище схем. Залежно від умов руху, автомобіль може переміщуватися тільки за допомогою електротяги, тільки за допомогою ДВЗ або отримувати енергію для руху від обох джерел одночасно. Недоліком такої комбінованої ГСУ є складність і вартість системи управління та трансмісії.

Комбінована конструкція ГСУ використовується і в моделях з повним приводом. У цьому випадку передні колеса приводяться в рух комбінованим механізмом, як у передньопривідних моделях, тоді як для задніх коліс використовується окремий тяговий ЕД. В гібридній композиції Toyota Prius відсутня традиційна коробка передач. Розподіл обертаючого моменту відбувається за допомогою планетарних передач у структурі гібридної коробки передач (ГКП) [48].

Додаток Б

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА
ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:**

1. Panchenko, A., Smyrnov, O., Nechaus, A., Trunova, I., Borysenko, A., Sokhin, P., & Bagach, R. (2021). Establishing patterns in the compatible electromagnetic and electromechanical transition processes when the starter is powered by a supercapacitor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(5), 111, p.19–25, DOI:10.15587/1729-4061.2021.232423 (Scopus, Quartiles – Q2);
2. Hnatov A.V., Arhun S.V., Hnatova H.A., & Sokhin P.A. (2021). Technical and economic calculation of a solar-powered charging station for electric vehicles. *Automobile Transport*, (49), 71-78. DOI: 10.30977/AT.2019-8342.2021.49.0.05;
3. Гнатів А. В., Аргун Щ. В., Гнатова Г. А., & Сохін П. А. (2022) Переобладнання автомобіля з ДВЗ в електромобіль. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (21), 1-9. DOI: 10.30977/VEIT.2022.21.0.1;
4. Borodenko Y. M., Hnatov A. V., Arhun S. V., & Sokhin P. A. (2023) Energy aspects of automobile transport development. *Automobile Transport*, (53), 37-50. DOI: 10.30977/AT.2219-8342.2023.53.0.05;
5. Сохін П.А. (2023) Дослідження автономної сонячної електростанції для автокемпера. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (24), 6–14. DOI: 10.30977/VEIT.2023.24.0.1;
6. Гнатів А. В., Аргун Щ. В., Сохін П. А., & Ульянець О. А. (2024) Дослідження автономного джерела живлення для електромобілів та їх зарядної інфраструктури. *Вісник ХНАДУ*, (104), 130–139. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.104.1.130.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Гнатов А.В., Аргун Щ.В., Гнатова Г.А., & Сохін П.С. (2022) *Інтеграція кібер-фізичних систем у навчальний процес для спеціальностей транспортного спрямування. «Комп'ютерні технології і мехатроніка»* Збірка матеріалів IV Міжнародної науково-методичної конференції (Харків, 26 травня 2022 р.). Харків : ХНАДУ, 22-26;

8. Аргун Щ.В., Гнатов А.В., Сохін П.А., & Гнатова Г.А. (2022) *Переобладнання бензинового автомобіля в автомобіль з тяговим електродвигуном. «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування»* СЕУТТОО-2022. Тринадцята Міжнародна науково-практична конференція (Херсон, 7-9 вересня 2022 р.). Херсон: ХДМА, 43-46;

9. Гнатов А.В., Аргун Щ.В., Гнатова Г.А., Сохін П.А., & Тарасов К.С. (2022) *Електропривод для електромобілів та гібридних автомобілів. «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології»* Збірка матеріалів VIII Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції (Харків, 21-22 листопада 2022 р.). Харків : ХНАДУ, 101-103;

10. Гнатов А.В., Теміров Т.Б. & Сохін П.А. (2023) *Дослідження тягового електроприводу для міського електромобіля на базі асинхронного двигуна. «Новітні технології – для захисту повітряного простору»: тези доповідей XIX міжнародна наукова конференція Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба* (Харків, 12-13 квітня 2023 р.). Харків: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 524;

11. Гнатов А. В., & Сохін П.А. *Енергоефективні та енергозберігаючі технології на транспорті. «Світові тенденції ресурсозбереження на електричному транспорті»* Матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (Харків, 25-27 жовтня 2023 р.) Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 23-25;

12. Гнатов А.В., Сохін П.А., & Долгій М.О. (2023) *Дослідження обладнання автокемпера автономною сонячною електростанцією. «Сучасні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців»*

Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції до Дня автомобіліста та дорожника (Харків, 23–25 жовтня 2023 р.). Харків : ХНАДУ, 238-242;

13. Гнатов А.В., Сохін П.А., & Улянець О.А. (2023) *Спосіб балансування Li-ion акумуляторних батарей під час їх заряду та розряду. «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» 15-а Міжнародна науково-практична конференція (Херсон, 13-15 березня 2024 р.). Херсон: ХДМА, 11-14.*

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

14. Мигаль, В., Аргун, Щ., Гнатов, А., Гнатова, Г., & Сохін, П. (2022). Інтелектуальне діагностування транспортних засобів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (22), 72–80. DOI:10.30977/VEIT.2022.22.0.5;

15. Мигаль В.Д., Аргун, Щ. В., Гнатов, А. В., Гнатова, Г. А., & Сохін, П. А. (2023) Підвищення якості тягових електродвигунів для електротранспорту. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (23), С. 6–14. DOI:10.30977/VEIT.2023.23.0.1;

16. Аргун Щ. В., Гнатов А. В., & Сохін П. А. (2024) Ефективність енергогенеруючих плиток з різними типами мультиплікаторів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (25), 42–52. DOI:10.30977/VEIT.2024.25.0.5.

Додаток В

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ



Вул. Шатилова Дача, 4, Харків, Харківська область, 61000
www.elcars.ua

А К Т

впровадження результатів наукових досліджень

Сохіна Павла Андрійовича

аспіранта Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Автосервіс «Elcars» вважає, що дисертаційна робота Сохіна Павла Андрійовича «Підвищення ефективності роботи зарядної інфраструктури електричних автотранспортних засобів» є актуальною і має перспективи щодо реалізації та втілення в сфері електричного автомобільного транспорту та його зарядної інфраструктури як в Україні, так і за її межами.

Дана дисертаційна робота, що буде представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії, базується на концепції сталого розвитку і направлений на довготривале раціональне використання природних ресурсів.

Автосервіс «Elcars» повідомляє, що наступні результати дисертаційної роботи «Підвищення ефективності роботи зарядної інфраструктури електричних автотранспортних засобів» прийняті до використання:

- науково-практичні методи енергозбереження та застосування енергоефективних технологій на електричному автомобільному транспорті та його зарядній інфраструктурі, які відрізняються від існуючих тим, що дозволяють впроваджувати ефективний розподіл балансу потужності за рахунок інтеграції в електричну систему поновлювальних автономних джерел електроживлення;

- метод активного балансування Li-ion акумуляторних батарей під час їх заряду та розряду, що забезпечує заряд у два етапи, як від загального, так і від індивідуального джерела зарядного струму, причому, на другому етапі загальне джерело зарядного струму відключається.

Апробація і впровадження зазначених результатів дисертаційних досліджень Сохіна П.А. дозволяє створювати автономні поновлювальні джерела живлення для їх використання на електричному автомобільному транспорті та їх зарядної інфраструктури і впроваджувати ефективний розподіл балансу потужності.

Керівник Автосервісу «Elcars»,
м. Харків, вул. Шатилова дача 4

Олександр КОЗЛОВ





А К Т

впровадження результатів дисертаційної роботи «Підвищення ефективності роботи зарядної інфраструктури електричних автотransпортних засобів» Сохіна Павла Андрійовича на здобуття наукового ступеня доктора філософії, що виконувалась в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті.

Офіційний дилер Toyota в Україні ТОВ «АРТСІТІ», повідомляє, що результати дисертаційної роботи «Підвищення ефективності роботи зарядної інфраструктури електричних автотransпортних засобів» Сохіна Павла Андрійовича на здобуття наукового ступеня доктора філософії, що виконувалась в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті, пройшли апробацію на об'єктах компанії:

- методи побудови систем енергозбереження та генерації електричної енергії на електричному автомобільному транспорті та його зарядній інфраструктурі, які дозволяють враховувати ступінь перетворення різних видів енергії в електричну та ємнісні й індуктивні зв'язки між провідниками цих систем.

Впровадження результатів дисертаційних досліджень Сохіна Павла Андрійовича дозволяють провести побудову системи енергозбереження та генерації електричної енергії. Згенеровану електроенергію можна використовувати не тільки для заряду електромобілів, а також і для власних потреб, наприклад, для зовнішнього освітлення.

Керівник сервісу
ТОВ «АРТСІТІ»



Віталій ВЕРХЛОМЧУК

ТОВ "Артсіті"
вул. Клочківська, 59, м. Харків, 61058
Моб.: +380 50 577 0700
toyota.kharkov.ua



ТОВ «АКУТЕК»
 IBAN: UA 483808050000000026000618809
 в АТ «Райффайзен Банк АВАЛЬ» МФО 380805
 Код ЄДРПОУ 35348663
 ІПН: 353486620345

**ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ
 ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «АКУТЕК»
 (ТОВ «АКУТЕК»)**

вул. Гвардійців Широнінців, 3-А, м. Харків, 61153

тел. (057)720-91-19

Код ЄДРПОУ 35348663

15.04.2024

м. Харків

А К Т

впровадження результатів наукових досліджень дисертаційної роботи Сохіна Павла Андрійовича, що виконувалась в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті.

ТОВ «АКУТЕК», повідомляє, що результати дисертаційної роботи «Підвищення ефективності роботи зарядної інфраструктури електричних автотранспортних засобів» за авторством Сохіна Павла Андрійовича, що подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії, пройшли апробацію, а саме:

1. Методи побудови систем енергозбереження та генерації електричної енергії на електричному автомобільному транспорті та його зарядній інфраструктурі, які дозволяють враховувати ступінь перетворення різних видів енергії в електричну та ємнісні й індуктивні зв'язки між провідниками цих систем;

2. Метод активного балансування Li-ion акумуляторних батарей під час їх заряду та розряду, що забезпечує заряд у два етапи, як від загального, так і від індивідуального джерела зарядного струму, причому, на другому етапі загальне джерело зарядного струму відключається.

Впровадження результатів досліджень дисертаційної роботи Сохіна П.А. дозволить розробити системи енергозбереження та генерації електричної енергії для електричного автомобільного транспорту. Також, отримані результати дозволяють ефективно проводити балансування Li-ion акумуляторних батарей, що використовуються, як тягові АКБ в електротранспорті.

Директор ТОВ «АКУТЕК»



Святослав АНАКІН

61153, м. Харків, вул. Гвардійців Широнінців, 3А
 (057) 720-91-19

ЗАТВЕРДЖУЄ
Перший проректор ХНАДУ
професор Ірина БАТРАКОВА
"14" 09 * 2024 року
02071168



АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи Сохіна Павла Андрійовича
«Підвищення ефективності роботи зарядної інфраструктури електричних
автотранспортних засобів» у навчальному процесі Харківського національного
автомобільно-дорожнього університету.

Даним актом підтверджується, що у навчальному процесі за галуззю знань «Електрична інженерія», спеціальність «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» при підготовці бакалаврів за ОПП «Електромобілі та автомобільна електроніка» і магістрів за ОПП «Електромобілі та енергозберігаючі технології», на кафедрі Автомобільної електроніки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету використовуються результати дисертаційної роботи Сохіна Павла Андрійовича, що буде представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії «Підвищення ефективності роботи зарядної інфраструктури електричних автотранспортних засобів».

Результати дисертаційної роботи, що впроваджені у навчальний процес:

- метод визначення енергетичного балансу потужності, що враховує різні режими роботи автономного джерела живлення для електричного автомобільного транспорту та його зарядної інфраструктури;
- метод активного балансування Li-ion акумуляторних батарей під час їх заряду та розряду, що забезпечує заряд у два етапи, як від загального, так і від індивідуального джерела зарядного струму, причому, на другому етапі загальне джерело зарядного струму відключається.

Для дисципліни «Електричні системи екологічно чистих АТЗ» розроблено лекцію на тему: «Високовольтна тягова батарея для електричного автотранспорту та систем накопичення електроенергії», 2 год. Для дисципліни «Теорія електромобілів» розроблено лекцію на тему «Енергоефективні технології на транспорті та його інфраструктура», 2 год та практичне заняття на тему: «Дослідження процесу заряду електромобіля Nissan Leaf», 2 год.

Завідувач кафедри Автомобільної електроніки,

д-р.техн.наук, професор



Андрій ГНАТОВ

Додаток Г

ТЕХНІЧНІ КРЕСЛЕННЯ СИСТЕМИ

