

Transportation. 2023. P. 100128. URL: <https://doi.org/10.1016/j.geits.2023.100128> (date of access: 20.03.2026).

2. Advancement in battery health monitoring methods for electric vehicles: Battery modelling, state estimation, and internet-of-things based methods / M. Waseem et al. Journal of Power Sources. 2025. Vol. 633. P. 236414. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2025.236414> (date of access: 20.03.2026).

3. Kunj T., Pal K. Role, Application and Challenges of IoT in Smart EV Charging Management: A Review. Future Batteries. 2025. P. 100102. URL: <https://doi.org/10.1016/j.fub.2025.100102> (date of access: 20.03.2026).

4. Analyzing Internet of Things Emergence for Modern Electric Vehicle Industry / S. E. Akbari et al. Results in Engineering. 2025. P. 106995. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.106995> (date of access: 20.03.2026).

УДК 629.331

РОЗРОБКА АВТОНОМНОЇ ЗАРЯДНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

О.А. Дзюбенко, І.С. Гончаренко, М.П. Петров, М.О. Соловійов

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет
ae.hnadu@gmail.com*

Вступ

Для України зростання сегмента електромобілів набув критичного значення не лише в контексті екологічних зобов'язань, а й як засіб забезпечення енергетичної незалежності та мобільності в умовах нестабільної роботи централізованих енергосистем. Протягом 2024...2025 рр. український ринок електромобілів продемонстрував аномально високі темпи росту. Станом на кінець 2025 р. загальний парк електромобілів в країні досяг позначки у 246 тисяч одиниць, що свідчить про глибоку інтеграцію електричного транспорту в повсякденне життя громадян та бізнес-процеси. Лише за один 2025 р. автопарк поповнився на понад 110 200 одиниць, що вдвічі перевищує показники попереднього року.

Така стрімка електрифікація висуває нові вимоги до зарядної інфраструктури. Традиційна модель розбудови мережі зарядних станцій, що базується на підключенні до існуючих ліній електропередач змінного струму, стикається з низкою фундаментальних обмежень, особливо в умовах війни та постійних атаках ворога по енергетичній інфраструктурі. По-перше, масове підключення потужних споживачів створює значне навантаження на розподільчі мережі, провокуючи пікові просадки напруги та необхідність дорогої модернізації трансформаторних підстанцій. По-друге, залежність від централізованого постачання робить інфраструктуру вразливою до аварійних

відключень, що в умовах України є критичним ризиком. По-третє, екологічна доцільність електромобілів нівелюється, якщо енергія для їх живлення виробляється шляхом спалювання викопного палива на теплових електростанціях.

Виходом із цієї ситуації є розробка та впровадження автономних зарядних станцій (АЗС), що базуються на використанні відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зокрема сонячної генерації. Автономна інфраструктура дозволяє забезпечити повну енергетичну незалежність об'єкта, мінімізувати вуглецевий слід під час експлуатації транспортних засобів та забезпечити стабільну зарядку навіть у віддалених регіонах або під час енергетичних криз. Розробка такої інфраструктури потребує вирішення складних інженерних завдань, пов'язаних з оптимізацією перетворення енергії, буферизацією стохастичної сонячної генерації та впровадженням інтелектуальних систем моніторингу та управління.

Розробка структурної схеми автономної зарядної станції

Проектування автономної зарядної інфраструктури починається з визначення оптимальної топології системи. Сучасні дослідження в галузі мікромереж [1,2] виділяють дві основні архітектури: змінного струму (АС) та постійного струму (DC). В АС-системах всі джерела енергії та споживачі підключені до спільної шини змінного струму через відповідні інвертори. Проте для автономних сонячних станцій найбільш перспективною є DC архітектура, оскільки вона дозволяє уникнути багаторазових перетворень енергії.

Структурна схема АЗС (рис. 1) базується на інтеграції фотоелектричних панелей, систем накопичення енергії та зарядних інтерфейсів через спільну DC-шину. Основними компонентами такої системи є: фотоелектричний масив, що виступає первинним джерелом енергії; контролер пошуку точки максимальної потужності (MPPT), який оптимізує роботу сонячних панелей за різних рівнів інсоляції; система накопичення енергії (СНЕ), що виконує роль буфера; двонаправлений DC-DC перетворювач для управління зарядом та розрядом; зарядні модулі постійного струму для безпосередньої передачі енергії електромобілю; центральний контролер управління енергоспоживанням.

Використання спільної шини постійного струму дозволяє інтегрувати сонячні панелі безпосередньо через підвищуючий DC-DC перетворювач [3]. Це забезпечує підвищення ефективності системи на 10-20% порівняно з АС-системами, де енергія від сонячних панелей спочатку перетворюється на змінний струм, а потім зарядним пристроєм автомобіля знову на постійний для зарядки батареї. Крім того, DC-архітектура спрощує інтеграцію допоміжних джерел, таких як вітрогенератори, тощо.

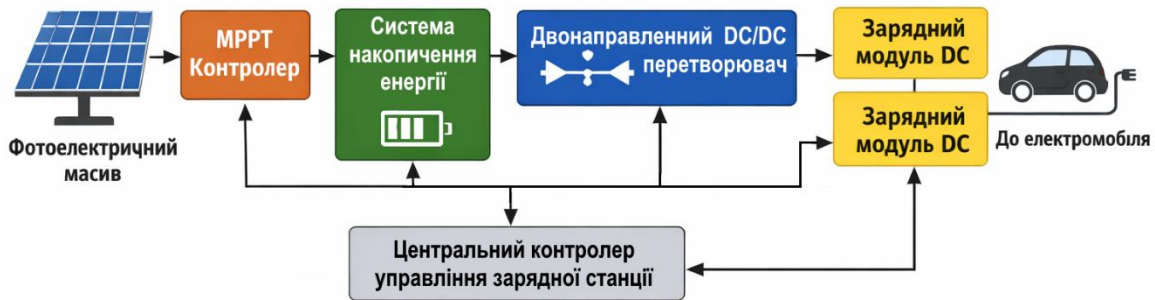


Рис. 1. Структурна схема автономної зарядної станції

В алгоритмі функціонування структурної схеми передбачено пріоритетність прямого використання сонячної енергії. Коли сонячна інсоляція є достатньою, енергія від фотоелектричного масиву через MPPT-контролер спрямовується на шину постійного струму, звідки вона безпосередньо споживається бортовим зарядним пристроєм електромобіля. Якщо генерація перевищує споживання, контролер управління електроспоживанням активує режим заряду СНЕ. У випадку хмарної погоди або в нічний час, дефіцит потужності покривається за рахунок розряду акумуляторної батареї станції через двонаправлений DC/DC-перетворювач.

Система прямої зарядки електромобіля від джерела постійного струму

Одним із найбільш технологічно складних та водночас ефективних елементів автономної інфраструктури є система прямого DC-заряду. Традиційна зарядка змінного струму (Level 1 та Level 2) обмежена потужністю бортового зарядного пристрою автомобіля, який зазвичай не перевищує 7...22 кВт. Пряма зарядка постійним струмом (Level 3) дозволяє обійти бортовий інвертор та подавати енергію безпосередньо на тягову батарею авто, що забезпечує потужність від 20 кВт до 350 кВт і вище [1,2].

В запропонованій системі пряма зарядка реалізується через спеціалізовані DC-DC модулі. Використання такої топології в поєднанні з сонячними панелями створює унікальну перевагу: енергія, генерована у вигляді постійної напруги, залишається в цій формі протягом усього шляху до батареї електромобіля. Це усуває необхідність у інверторах на боці станції та випрямлячах на боці автомобіля, що значно знижує теплові втрати, вартість обладнання та габарити системи.

Для забезпечення високої ефективності та надійності в перетворювачі використовуються сучасні топології силової електроніки, такі як Dual Active Bridge (DAB) або резонансні перетворювачі CLLC. Топологія DAB складається з двох повних мостів, з'єднаних через високочастотний трансформатор, що забезпечує гальванічну розв'язку та можливість двонаправленого руху енергії. Це критично важливо для реалізації функцій V2G (Vehicle-to-Grid) або V2X, коли електромобіль може виступати джерелом енергії для автономної системи в критичних ситуаціях.

Система накопичення енергії для буферизації сонячної енергії

При проектуванні автономної інфраструктури особливу увагу приділено невідповідності між графіком сонячної інсоляції та графіком попиту на зарядку. Сонячна активність досягає піку в обідні години, тоді як електромобілі переважно потребують зарядки вранці або ввечері. Система накопичення енергії (СНЕ) на базі акумуляторних батарей виступає в ролі енергетичного резервуара, що накопичує надлишки вдень і віддає їх в години пік або вночі.

Для автономних АЗС вибір типу акумуляторів має вирішальне значення. Розрахунок ємності СНЕ для автономної станції базується на моделюванні енергетичного балансу. Наприклад, для станції з сонячним масивом потужністю 51,1 кВт, що має забезпечувати 192 кВт·год споживання на добу, було розраховано систему накопичення ємністю 813,5 кВт·год. Такий значний запас ємності дає майже 4 денну автономність та гарантує безперебійну роботу під час тривалих періодів низької інсоляції.

Важливим аспектом є використання концепції "другого життя" акумуляторів. Акумулятори, що втратили 20% ємності в електромобілях і більше не придатні для транспортного використання, можуть бути успішно інтегровані в стаціонарні АЗС, що значно знижує капітальні витрати на будівництво інфраструктури.

Система моніторингу енергетичного стану автономної зарядної станції

Автономна робота станції потребує високого рівня інтелектуального управління, що реалізується через систему моніторингу енергетичного стану. Система моніторингу базується на архітектурі IoT (Internet of Things). Дані про роботу станції, дані з датчиків струму, напруги та температури збираються мікроконтролером. Завдяки використанню протоколів зв'язку LoRaWAN або MQTT, дані передаються на хмарну платформу для глибокого аналізу та прогнозування.

Висновки

Впровадження запропонованої автономної інфраструктури дозволить не лише зменшити викиди парникових газів на 75...90% порівняно з мережевими зарядками, а й створити стійку мережу, здатну функціонувати в умовах будь-яких викликів енергетичного сектору. Це є критично важливим кроком для досягнення цілей сталого розвитку України та модернізації її транспортної системи.

Література

1. Suseela, P. Design of Solar-Powered Electric Vehicle Charging System. / Suseela, P. B., Chennapragada, Bhanu. // 2023 International Conference for Advancement in Technology (ICONAT) - p. 1-8. - 2023.- 10.1109/ICONAT57137.2023.10080468.
2. A. Shukla. Solar Powered Electric Vehicle Charging Station With Integrated Battery Storage System / Shukla, Aradhana & Shukla, Harisharanam & Yadav, Satish & Singh, Jyotsna & Singh, Rajendra. // Energy Storage. 6. – 2024/ - 10.1002/est2.70077.
3. Off-Grid EV Charging Stations: A Comprehensive Guide to Design, Deployment and Benefits. / Pulse Energy. - September 2, 2025. [Electronic Resource]. - Access Mode: <https://pulseenergy.io/blog/off-grid-solar-ev-charger>
4. Leontiev D., Klymenko V., Frolov A.; Regarding the efficiency of using solar panels of low power to obtain maximum charging current for batteries vehicle. *AIP Conf. Proc.* 5 June 2025; 3238 (1): 050009. <https://doi.org/10.1063/5.0248928>

УДК 621.318

ПРИТЯГАННЯ ТОНКОСТІННИХ МЕТАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕЗОНАНСНОГО МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОГО КОМПЛЕКСУ

С.О. Шиндерук, Ю.В. Батигін

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
s.shinderuk.2016102@ukr.net yu.v.batygin@gmail.com

Досягнення в галузі створення магнітно-імпульсних установок (МІУ), як потужних енергетичних джерел, визначають перспективи використання імпульсних електромагнітних полів у реалізації сучасних екологічно чистих, ресурсозберігаючих та високопродуктивних технологій з обробки металів тиском. Можна виділити деякі основні наукові видання, які розкривають та узагальнюють інформацію про розвиток обладнання для польових технологій [1,2,3]. Так, авторами наукового видання [1] досить докладно описані приклади магнітно-імпульсних установок, створених у різний час світовими електротехнічними виробниками. Висвітлено успіхи у розробках МІУ фірмами Німеччини, Великобританії, США та ін. Огляд у праці [2] присвячений опису розробок технічних аспектів у реалізації різних штампувальних, складальних та зварювальних виробничих операцій. У праці [3] висвітлено ключові проблеми та досягнення сучасних методів обробки металів тиском. Особливо виділяються пропозиції технологій високошвидкісного формування, які мають високий потенціал створення складних деталей. Автори акцентують увагу на низькій вартості інструментів виробництва, їхній високій гнучкості та розширених межах формування при кімнатній температурі.