

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

О. І. Шпак, Д. В. Баб'юк

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра комп'ютеризованих систем автоматики
E-mail: danylo.babiuk.mavks.2022@lpnu.ua; oksana.i.shpak@lpnu.ua

© Шпак О. І., Баб'юк Д. В., 2023

Досліджено основні аспекти заряджання електромобілів від сонячних панелей, а саме від сонячних панелей із поворотною віссю за сонцем. Саме це дає змогу збільшити накопичення енергії на 20–40 %.

Розглянуто різні технології та системи заряджання електромобілів від сонячних панелей, зокрема покрівельні сонячні панелі, пересувні зарядні станції та інші інноваційні рішення. Висвітлено природоохоронні переваги використання сонячних панелей для заряджання електромобілів, серед яких зменшення викидів CO₂ та залежності від нафти. Проаналізовано економічні вигоди щодо того, що сонячні панелі з поворотною віссю мають потенціал збирати більше сонячної енергії, оскільки завжди націлюються на сонце, тоді як статичні панелі, які стоять на місці, можуть втрачати частину потенційної енергії через неналежне освітлення. Розглянуто фінансові вигоди, зумовлені зменшенням витрат на паливе та електроенергію, а також можливість генерації додаткового прибутку через продаж надлишкової сонячної енергії в мережу.

Розглянуто технічні виклики, пов'язані із ефективністю сонячних панелей, потужністю заряджання та зберіганням енергії, а також спрогнозовано напрями розвитку цих технологій.

Описано результати дослідження процесу заряджання електромобіля від сонячних панелей. Показано, що ККД найкращих сонячних панелей у середньому 20,5 %. Зважаючи на кількість сонячних днів в Україні, цього достатньо для використання енергії на заряджання автомобіля. Встановлено, що середньостатистичному водієві, який проїжджає близько 15000 кілометрів за рік, а це навіть більше від середнього, для заряджання потрібно близько 2700 кВт, тобто приблизно 11000 грн на рік. Це дуже дешево для власника автівки.

Ключові слова: сонячні панелі; електромобілі; гібридні автомобілі; підзарядка; відновлювана енергія; екологічний вплив; поворотні сонячні панелі.

Вступ

За останні десятиліття зростає усвідомлення суспільством негативного впливу емісій та викидів від автомобільного транспорту на довкілля [1]. Перехід на сонячну енергію запобігає викидам в атмосферу вуглекислого газу, чадного газу, двоокису сірки, оксиду азоту та інших забрудників. Пошук альтернативних джерел енергії та технологій, що допоможуть зменшити викиди парникових газів та споживання природних ресурсів, є актуальною проблемою сьогодення. У контексті цих викликів виникає потреба у відновлюваній енергії та ефективних методах її використання в автомобільній галузі [2–4]. Споживання нафти та інших вуглеводнів, що є основним джерелом палива для більшості транспортних засобів, призводить до зростання викидів CO₂ та інших шкідливих речовин. Європейський Союз (ЄС) погодив низку стратегій, спрямованих на зменшення викидів парникових газів у різних секторах суспільства. У 2030 р. ця політика передбачає скорочення

викидів CO₂ легковими автомобілями в ЄС на 37,5 % порівняно з рівнем 1990 р. [5, 6]. Гібридні та електричні автомобілі поступово стають популярними альтернативами, але їхні батареї часто обмежені потужністю та відстанню, яку вони можуть подолати, зарядившись один раз. Електричні транспортні засоби (EV) – одне із відомих рішень для вирішення проблем сталого розвитку, які потребують пильної уваги, як-от глобальне потепління, виснаження запасів викопного палива та викиди парникових газів (ПГ) [7].

Використання поворотних сонячних панелей для підзаряджання гібридних та електричних електрокарів є ефективним рішенням у транспортній галузі. Сонячна енергія – безкоштовне та не заборонене джерело енергії, доступне практично на всій планеті. Підзаряджання автомобільної батареї від сонячних панелей подовжує дистанцію, яку автомобіль проїжджає на одному заряді, а також допомагає знизити вплив шкідливих викидів від автомобільного транспорту. Отже, використання сонячних панелей для підзаряджання гібридних та електричних автомобілів є актуальним питанням та одним із можливих способів створення більш сталої та екологічно усвідомленої автомобільної індустрії. Дослідження їхнього потенціалу, переваг та обмежень є важливим кроком до досягнення чистішого та сталішого довкілля в майбутньому.

Площа, доступна для встановлення сонячних панелей на автомобільному кузові, обмежена, що обмежує кількість зібраної енергії. Ефективність збирання сонячної енергії залежить від погодних умов (хмарності та кута сонячних променів). Вартість встановлення поворотних сонячних панелей висока, що впливає на економічну цілеспрямованість цієї технології.

1. Класифікація електромобілів

Для ефективного використання сонячних панелей необхідно розглянути, які види електромобілів існують, щоб забезпечити правильне використання сонячних панелей для заряджання. Електромобілі стають все популярнішими як альтернатива традиційним автомобілям з двигунами внутрішнього згорання, тим більше, що інноваційні автомобілі використовують відновлювану енергетику, що тепер дуже актуально.

Існують різні види електромобілів, такі як електромобілі на акумуляторі (BEV), гібридні електромобілі (HEV), гібридні електромобілі, що підключаються (PHEV), і водневі електромобілі (FCEV) (рис. 1) [8].

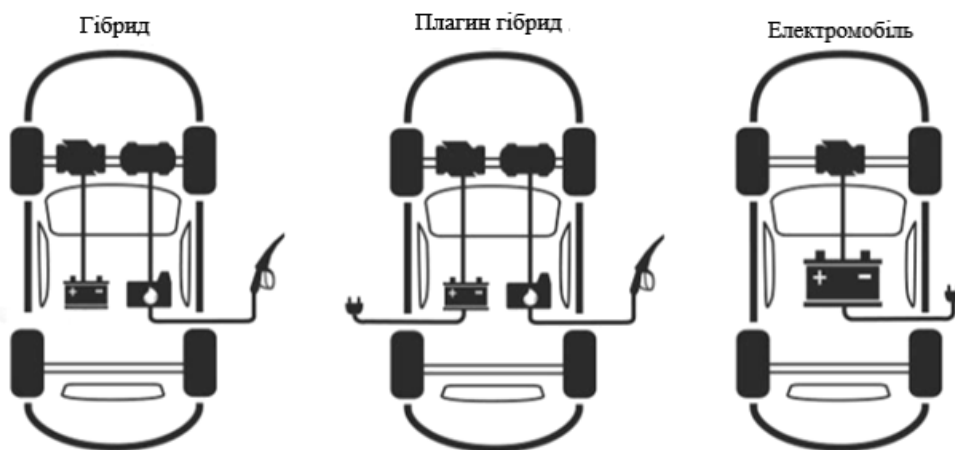


Рис. 1. Види електромобілів

Опис, принцип роботи, переваги та недоліки електромобілів сучасного ринку наведено у табл. 1.

З погляду екологічної ефективності електромобілі всіх видів чистіші порівняно з автомобілями на паливі внутрішнього згорання. BEV та FCEV є повністю електричними, не створюють вики-

дів шкідливих речовин під час експлуатації. NEV і PHEV, хоч і використовують паливо, все одно ефективніші й спричиняють менші викиди порівняно з традиційними автомобілями.

Таблиця 1

Характеристики електромобілів

Назва	Опис та принцип роботи	Переваги	Недоліки
Електричні автомобілі на акумуляторі battery electric vehicle (BEV)	<ul style="list-style-type: none"> – на акумуляторі або BEV (Battery Electric Vehicle), під час руху повністю залежать від електричної енергії; – електрична батарея живить електромотори, що приводять у дію колеса; – заряджання батареї відбувається через зовнішнє джерело електроенергії (електрична розетка або спеціальна зарядна станція) 	<ul style="list-style-type: none"> – повністю екологічні (не виділяють шкідливих викидів під час експлуатації); – тихіші, із кращою динамікою завдяки потужним електромоторам 	<ul style="list-style-type: none"> – обмежена дальність поїздок; – тривалий час заряджання; – інфраструктура зарядних станцій ще не розвинена
Гібридні електромобілі hybrid electric vehicle (HEV)	<ul style="list-style-type: none"> – комбінація двигуна внутрішнього згорання та електричного двигуна для пересування; – оснащений електричною батареєю, яка заряджається і від двигуна, і від гальмування автомобіля; – HEV автоматично перемикається між двигунами залежно від ситуації на дорозі та навантаження 	<ul style="list-style-type: none"> – підвищена енергоефективність; – зменшення споживання палива та викидів шкідливих речовин; – більша дальність поїздок 	<ul style="list-style-type: none"> – потребують палива; – спричиняють викиди шкідливих речовин
Гібридні електромобілі, що підключаються plug-in hybrid electric vehicle (PHEV)	<ul style="list-style-type: none"> – більша електрична батарея, яку можна заряджати від зовнішнього джерела електроенергії; – проїжджають великі відстані на електричній енергії, знижене загальне споживання палива 	<ul style="list-style-type: none"> – гнучкість (працюють і на електричній енергії, і на паливі, можуть їздити на великі відстані без обмежень дальності); – сприяють зниженню викидів шкідливих речовин 	<ul style="list-style-type: none"> – висока вартість; – менша електрична дальність
Водневі електромобілі fuel cell electric vehicle (FCEV)	<ul style="list-style-type: none"> – використовують водень як основне джерело енергії; – оснащені паливними елементами, які перетворюють водень і кисень на електрику; – єдиним викидом FCEV є вода 	<ul style="list-style-type: none"> – велика дальність поїздок та швидка заправка. FCEV можуть проїхати значну відстань, заправившись один раз протягом кількох хвилин, що робить їх зручнішими у використанні 	<ul style="list-style-type: none"> – не розвинена інфраструктура водневих заправних станцій; – висока вартість виробництва та придбання

Стосовно дальності поїздок BEV та FCEV мають деякі обмеження. У BEV обмежена дальність зумовлена зарядженістю батареї, потрібно заряджати їх для продовження поїздки. У FCEV більший запас, але їх необхідно заправляти воднем, а інфраструктура заправних станцій все ще

розвивається. NEV та PHEV, з використанням внутрішнього згоряння та електричних систем, забезпечують більшу дальність поїздок без необхідності заряджання або заправки.

BEV та PHEV залежать від наявності електричної інфраструктури зарядних станцій. Інфраструктура поступово розвивається, але все ще не так поширена, як традиційні заправні станції. Для FCEV потрібні станції для заправляння воднем, які поки що на ранній стадії розвитку, їх доступність обмежена. NEV не вимагають спеціальної інфраструктури, їх можна заправляти на звичайних заправних станціях.

Спочатку розглянемо, як відбувається заряджання панелей сонячним світлом. Сонячні панелі використовують фотovoltaїчний ефект для збирання сонячної енергії та перетворення її на електричний струм, який може бути використаний для живлення різних пристроїв або заряджання батареї, зокрема батареї електромобілів.

Сонячні панелі з'єднують у паралель або в серію, щоб отримати більше струму зарядки або напруги, відповідно. Вони також можуть бути обладнані контролерами заряду, які регулюють процес заряджання батареї та захищають її від перевантаження.

Заряджання сонячних панелей відбувається під час прямого потрапляння сонячних променів на їх поверхню. Це означає, що у відкритому просторі, під відкритим небом, сонячні панелі можуть автоматично заряджатися, коли світить сонце, упродовж року [9]. Це дає змогу зберігати та використовувати збережену сонячну енергію для подальшого використання, зокрема заряджання батареї електромобілів.

Зарядження батареї протягом року відображено на рис. 2.

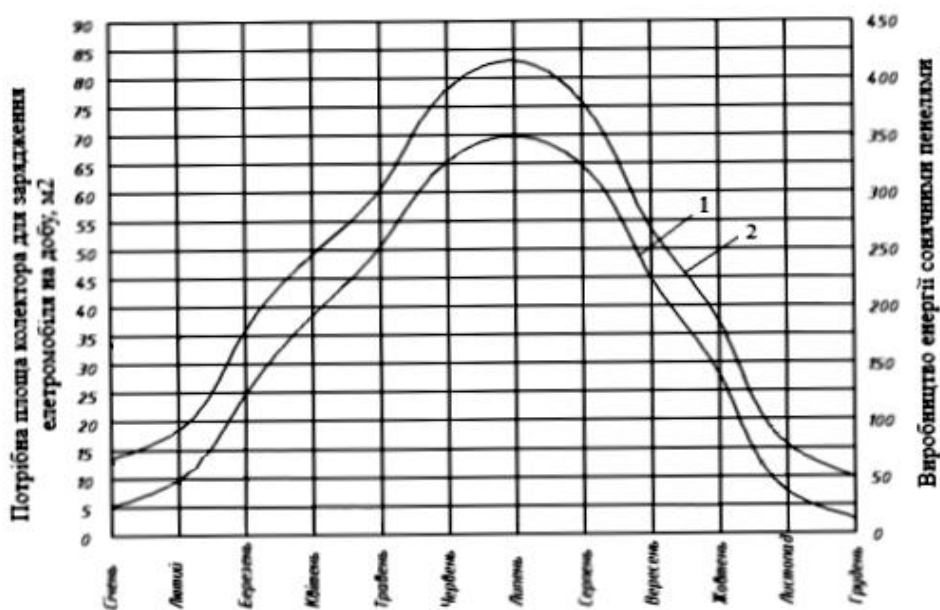


Рис. 2. Продуктивність сонячних панелей протягом року.

З квітня до жовтня результати для різних типів сонячних панелей (криві 1 і 2) близькі і сягають високої продуктивності, навіть перегрівання. Тобто ефективність заряджання висока влітку, коли найбільше сонця. А в холодні місяці помітна відмінність, бо сонця менше, заряджання сонячних панелей триває довше і менш ефективно. Зрозуміло, що з квітня до жовтня спостерігається надвиробництво відновлюваної енергії, яка потрібна для ефективного заряджання батареї електромобілів. Розглядаючи часову залежність потужності рухомої панелі (рис. 3), бачимо, що зранку і ввечері продуктивність сонця менша, ніж в обід, оскільки сонце виділяє більше енергії саме в обідню пору.

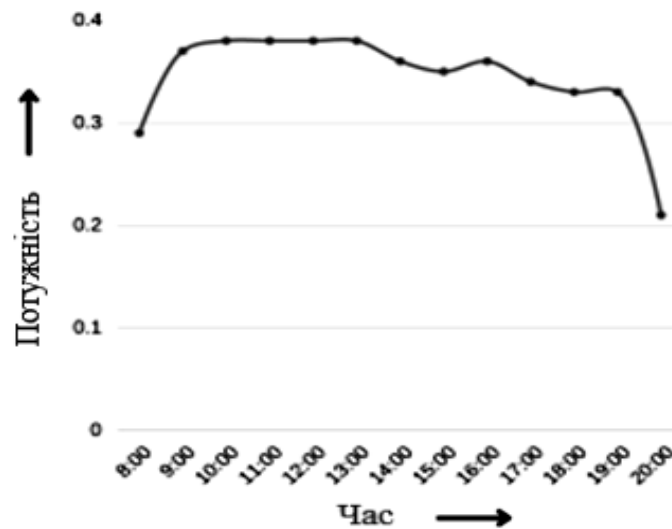


Рис. 3. Часова залежність потужності рухомої сонячної панелі

Використання сонячних панелей для заправки електроавтомобілів є важливим і перспективним рішенням, яке має численні переваги, а також і недоліки, з екологічного та економічного поглядів (табл. 2) [10].

Таблиця 2

Переваги та недоліки використання сонячних панелей для заправки електроавтомобілів

Назва показника	Переваги	Недоліки
Відновлювана енергія	це сонячна енергія, яка не вичерпується та є джерелом, не забороненим для генерації електроенергії	залежність від погодних умов і пори року
Екологічна чистота	допомагає зменшити споживання традиційних паливних ресурсів та викиди CO ₂ , сприяючи збереженню довкілля	виробництво і переробка батареї
Незалежність від мережі	сонячні панелі дають можливість отримувати енергію навіть у віддалених місцях, де іноді важко підключитись до електричних мереж	малі заощадження за малого споживання
Економія коштів	знижуються витрати на паливе, оскільки заряджання від сонячної енергії є безкоштовною або дешевою альтернативою	висока вартість якісних сонячних панелей та поворотного механізму
Сприяння сталому розвитку	допомагає змінити споживацькі звички на сталіші та екологічно свідомі	обмежене використання на комерційних засадах

З наведених переваг і недоліків сонячних панелей не важко зрозуміти, що їх можна використовувати для заряджання і підзаряджання електромобілів. Уже існує велика кількість сонячних панелей від різних виробників і країн-виробників [11]. Класифікацію з характеристиками наведено у табл. 3.

Аналіз наведених характеристики сонячних панелей (табл. 3) вказує на те, що кожний вид панелей має високий потенціал і може бути використаним для зарядження електромобілів. Вони генерують достатньо енергії для заряджання батареї автомобіля, стійкі до погодних умов, що робить їх ідеальним варіантом для використання на підставці або даху автомобіля.

Таблиця 3

Класифікація сонячних панелей

№	Назва та опис сонячної панелі	Характеристики
1	Sun Power Maxeon 3 – панелі відомі високою ефективністю та технологічними інноваціями	Максимальна потужність: до 400 Вт
		ККД: близько 22,6 % ефективності перетворення сонячної енергії на електричну
		Технологія Maxeon: відома надійністю та стійкістю до погодних умов, зокрема високих температур та вологості
		Довговічність: гарантія на продукт до 25 років
2	LG – якісні, надійні та високопродуктивні панелі	Максимальна потужність: до 320–375 Вт
		ККД: 19,3–21,7 % ефективності перетворення сонячної енергії на електричну
		Довговічність: гарантія на продукт до 15 років
3	REC – високоякісні, економічні панелі (серії TwinPeak. і N-peak)	Максимальна потужність: до 290–355 Вт
		ККД: 18–21,7 % ефективності перетворення сонячної енергії на електричну
		Довговічність: гарантія на продукт до 20 років
4	WINAICO – високоякісний асортимент панелей (серії M6 PERC)	Максимальна потужність: до 310–340 Вт
		ККД: 18,8–19,4 % ефективності перетворення сонячної енергії на електричну
		Довговічність: гарантія на продукт до 15 років
5	Q CELLS – широкий асортимент якісних панелей для всіх сфер застосування (новітні панелі Q cell G6 + Duo)	Максимальна потужність: до 270–335 Вт
		ККД: 17–20,2 % ефективності перетворення сонячної енергії на електричну
		Довговічність: гарантія на продукт до 25 років

2. Оцінювання ефективності використання сонячних панелей

Для того, щоб оцінити ефективність використання поворотних сонячних панелей для підзарядження гібридних та електричних автомобілів, необхідно проаналізувати важливі аспекти впровадження сонячних панелей на основі технічних специфікацій та реальних випадків використання сонячних панелей на електрокарах.

Оцінюючи ефективність використання сонячних панелей, слід звернутися до абсолютного показника, що характеризує результат їх роботи.

Узагальнену структуру оцінювання ефективності використання сонячних панелей [12] подано на рис. 4.

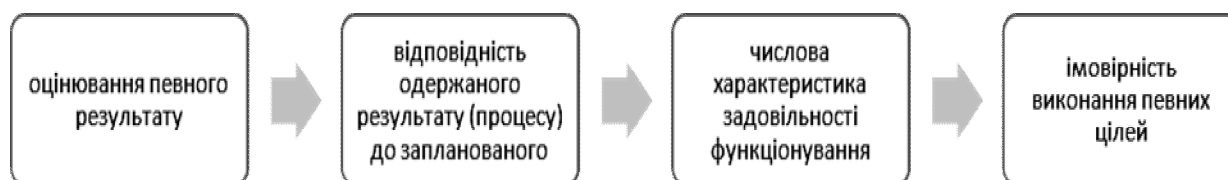


Рис. 4. Загальна ефективність використання

Однією з головних передумов забезпечення ефективності використання сонячних панелей є оцінювання їх рівня. Оцінювання ефективності починається із встановлення критеріїв ефективності, тобто головної ознаки оцінювання ефективності. Зміст критерію ефективності зумовлений необ-

хідністю максимізації одержуваних результатів або мінімізації витрат із урахуванням цілей використання. Такими цілями можуть бути:

- забезпечення використання сонячних панелей;
- досягнення стійкого заряджання електрокарів;
- побудова структурної схеми для заряджання електромобілів;
- стратегія ефективності використання сонячних колекторів для підзаряджання гібридних та електричних автомобілів.

Тому актуальним завданням є визначення критеріїв ефективності використання сонячних панелей для підзаряджання гібридних та електричних автомобілів. Основним критерієм ефективності є коефіцієнт нормованої ефективності, який знаходять як співвідношення коефіцієнта ефективності заряджання сонячної панелі та коефіцієнта ефективності використання сонячної панелі. Він показує, наскільки ефективно функціонує сонячна панель порівняно з її технічними характеристиками. Поворотні сонячні панелі використовуються ефективно, якщо коефіцієнт нормованої ефективності дорівнює або більший від одиниці. Важливо зосередити увагу не лише на ефективності заряджання, але й на ефективності використання.

Стратегія ефективності використання сонячних колекторів для підзаряджання гібридних та електричних автомобілів визначає загальний принцип роботи, довгострокову мету використання та загальне оцінювання ефективності використання сонячних колекторів. Відповідно, стратегічна ефективність відображає отримання ефекту від досягнення мети у довгостроковій перспективі. Результати використання сонячних колекторів розглядають зі стратегічного аспекту, що дає змогу прийняти обґрунтоване рішення щодо їх застосування.

3. Структурна схема системи зарядки електромобіля від сонячних панелей

Основним критерієм ефективності поворотних сонячних панелей є коефіцієнт нормованої ефективності q_i . Як зазначено вище, це співвідношення коефіцієнта ефективності зарядження сонячної панелі з коефіцієнтом ефективності використання сонячної панелі, що показує, наскільки ефективно функціонує сонячна панель порівняно із її технічними характеристиками. Такий спосіб називається диференційним і визначає рівень забезпечення ефективності використання сонячних панелей.

Отже, коефіцієнт ефективності зарядження сонячної панелі відображає ККД сонячної панелі, використаної для заряджання P_i . Коефіцієнт ефективності використання сонячної панелі представляє ККД сонячної панелі P_{i0} , на яку розрахована ця панель (базовий зразок). Отже, коефіцієнт нормованої ефективності можна подати як

$$q_i = P_i / P_{i0}, \quad (1)$$

де P_i – коефіцієнт ефективності заряджання сонячної панелі; P_{i0} – коефіцієнт ефективності використання сонячної панелі.

Оцінювання рівня забезпечення ефективності використання сонячних панелей диференційним методом дає змогу приймати такі рішення:

- рівень забезпечення ефективності використання сонячних панелей, що оцінюється, вищий або дорівнює рівню базового зразка, якщо ККД сонячної панелі, використовуваної для зарядження, більша від або дорівнює одиниці;
- рівень забезпечення ефективності використання сонячних панелей, що оцінюється, нижчий від рівня базового зразка, якщо ККД сонячної панелі, яка використовується для зарядження, менша за одиницю.

Відповідно, якщо ККД дорівнює або більше від одиниці, можна вважати, що використання сонячних панелей для електромобілів є дуже суттєвим аргументом.

Для кращого оцінювання рівня забезпечення ефективності використання сонячних панелей варто скласти структурну схему і детально розглянути принцип роботи запропонованої схеми.

Структурна схема ілюструє основні елементи системи заряджання електромобіля від сонячних панелей. Вона являє собою зарядну станцію для електричних та гібридних автомобілів [13]. Структуру наведено на рис. 5. Запропонований алгоритм забезпечує стабільність рівнів роботи цієї структури та умов високих імпульсних вимог, а також мінливість виробництва відновлюваних джерел. Результати вказують на стійкість та ефективність запропонованого алгоритму в управлінні обміном реальною та реактивною потужністю між частинами змінного та постійного струму мережі в межах безпечних та прийнятних рівнів напруги та частоти.

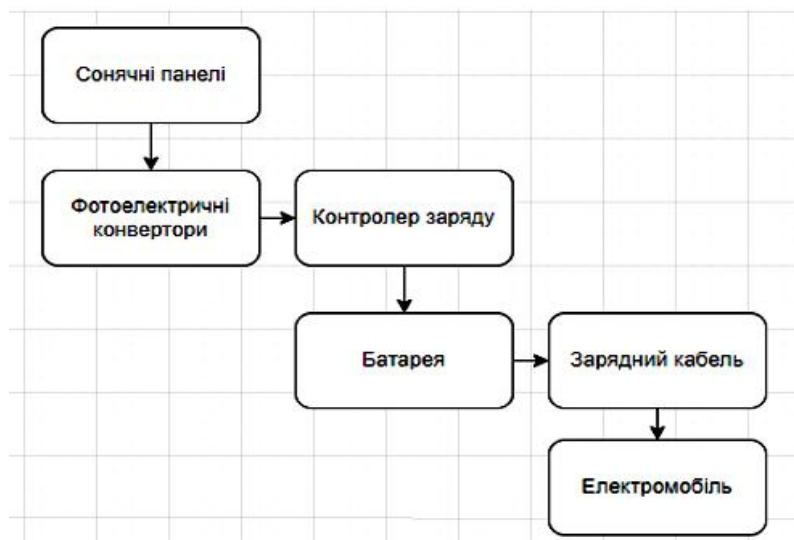


Рис. 5. Структурна схема системи заряджання електромобіля від сонячних панелей

Інформацію про важливість кожного із елементів структурної схеми, його призначення і цінність подано у табл. 4.

Таблиця 4

Елементи структурної схеми

Назва елемента	Призначення елемента
Сонячні панелі	Встановлюються на підставку або на дах девайса, що може бути використано як зону для збирання сонячної енергії
Фотоелектричні конвертори	Сонячна енергія, зібрана сонячними панелями, перетворюється на постійний струм
Контролер заряду	Регулює потік заряду від сонячних панелей до батареї автомобіля та захищає систему від перенавантаження
Батарея	Зберігає зібрану сонячну енергію для подальшого використання – заряджання автомобіля
Зарядний кабель	Електричний кабель, що підключає батарею автомобіля до контролера заряду
Електромобіль	Автомобіль з електричним двигуном, який можна підзаряджати від батареї через зарядний кабель

Сонячна енергія, зібрана сонячними панелями, конвертується в електроенергію, яка зберігається у батареї для подальшого використання. Зарядний контролер забезпечує правильну роботу системи, регулює потік заряду до батареї автомобіля від сонячних панелей, захищає систему від перегрівання та перенавантаження. Зарядний кабель передає зібрану і збережену енергію від батареї до електромобіля для його заряджання.

4. Порівняння характеристик вихідної потужності статичної та рухомої панелей

Щоб дослідити переваги використання стаціонарних і рухомих сонячних панелей, здійснено порівняльну характеристику їх вихідної потужності. Для досягнення максимальної вихідної потужності сонячні панелі встановлювали під кутом близько 45 градусів [14–16]. Дослідження проводили у м. Львові. Результат отримали, коли світло переміщувалось зі сходу на захід спочатку щодо статичної панелі, а потім із такою самою відстанню між світлом і панеллю відносно рухомої панелі. На графіку (рис. 6) відображено вимірювання між кутом падіння світла та потужністю (Вт), що показують зміну вихідної потужності статичних і рухомих сонячних панелей за різних кутів падіння світла.

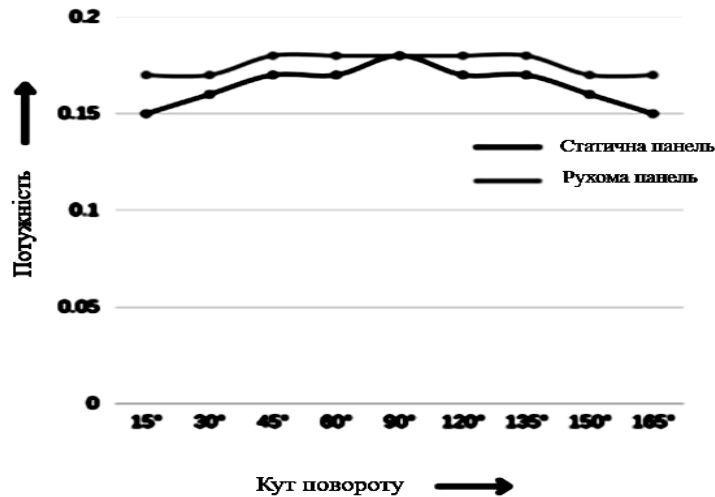


Рис. 6. Залежність вихідної потужності статичної та рухомої панелей від кута повороту

5. Приклад ефективного використання сонячних панелей

Як приклад ефективного використання сонячних панелей для заряджання електромобіля розглянуто доступний електрокар Nissan Leaf [17], який часто використовують як для особистих потреб, так і для комерційних перевезень у таксі. Його можна доволі дешево купити і обслуговувати. Середнє споживання електроенергії електромобілем Nissan Leaf – приблизно 0,18 kWh/km. Сонячних днів в Україні в середньому приблизно 220–250 на рік. Використовуючи ці дані, ми виконали попередній розрахунок загальної електроенергії, необхідної для середнього пробігу електрокара за рік, а також умовний та загальний розрахунок вартості електроенергії (табл. 5).

Таблиця 5

Розрахунок загальної електроенергії для середнього пробігу електрокара за рік

Назва показника	Розрахунок
Середній пробіг електромобіля за рік	15000 км
Загальна електроенергія, яка знадобиться для цього пробігу	$0,18 \text{ кВт/км} \times 15000 \text{ км} = 2700 \text{ кВт}$
Умовний розрахунок вартості електроенергії	4 гривні за 1 кВт год
Загальна вартість електроенергії	$2700 \text{ кВт} \times 4 \text{ грн.} = 10800 \text{ грн}$

Отже, загальна електроенергія, яка знадобиться для пробігу електрокара Nissan Leaf, становить 2700 кВт із використанням електроенергії на суму 10800 грн за рік. Це доволі оптимальна ціна і споживана потужність для електромобілів.

Наступний розглянутий варіант – заряджання електрокара з використанням сонячних панелей. Для прикладу використано сонячні панелі площею 5 кв. м, встановлені на даху Nissan Leaf, і розраховано час заряджання від сонячних панелей для електрокара (табл. 6).

Таблиця 6

Розрахунок часу зарядження від сонячних панелей для електрокара

Назва показника	Розрахунок
Середнє генерування однієї сонячної панелі в сонячний день	200–250 Вт
Середній вихід енергії з однієї сонячної панелі за день	225 Вт
Загальний вихід енергії з усіх панелей за день	5 кв. м × 225 Вт = 1125 Вт
Загальний річний вихід енергії (за умови 220–250 сонячних днів у році)	1125 Вт × 235 днів = 264 375 Вт або 264,37 кВт
Загальний час заряджання	2700 кВт / 264,37 кВт = приблизно 10,2 год*

* Зважаючи на певні втрати через ефективність конвертерів та зарядного контролера, тривалість заряджання може бути трохи більшою.

Беручи до уваги розрахунки з табл. 5 і 6, бачимо, що з економією 10800 грн на рік можна використати приблизно 12 год для підзаряджання електрокара. Тобто використання сонячних панелей для підзарядки, у нашому випадку Nissan Leaf, може зменшити витрати на електроенергію та сприяти екологічно свідомішому використанню транспорту. Незважаючи на експлуатаційні витрати, використання сонячних панелей у електрокарі є економічно ефективним за умови оптимального керування. Запропоноване рішення знижує загальну вартість енергії порівняно з неконтрольованими випадками. Крім того, за допомогою розрахунків оцінено фінансові вигоди для транспортного засобу від сонячних панелей, які слугують основним резервом використання енергії.

Висновок

Сонячні панелі – вигідний засіб для заряджання електроавтомобілів та автомобілів з гібридними установками упродовж усього року, особливо влітку, коли енергія сонця найбільша. Використання сонячних панелей як додаткового джерела енергії для електромобілів забезпечує правильну роботу запропонованої системи зарядження, регулює потік заряду до батареї автомобіля від сонячних панелей, захищає систему від перегрівання та перенавантаження. Оцінюючи ефективність використання сонячних панелей, ми зосередили увагу на абсолютному показнику, що характеризує результат діяльності сонячних панелей. Використання сонячних панелей для накопичення сонячної енергії стало реальною альтернативою як додаткове джерело збільшення пробігу електрокарів. Для мінімізації енерговитрат на накопичення енергії від сонця були враховані погодні умови, а також можливість вибору найперспективнішого місця для їх розташування і раціонального використання та певного виду електрокара для заряджання сонячними панелями.

Список літератури

1. Belyakov, N. *Sustainable Power Generation: Current Status, Future Challenges, and Perspectives*; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2019. [Google Scholar]. DOI: 10.1016/j.joule.2019.07.013.
2. European Environment Agency (EEA). *Progress of EU Transport Sector Towards Its Environment and Climate Objectives*. 2018. Available online: <https://www.eea.europa.eu/themes/transport/term/term-briefing-2018>. DOI: 10.34894/PJ2MIC.
3. Fotopoulou, M.; Rakopoulos, D.; Blanas, O. *Day Ahead Optimal Dispatch Schedule in a Smart Grid Containing Distributed Energy Resources and Electric Vehicles*. *Sensors* 2021, 21, 7295 [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]. DOI: <https://doi.org/10.3390/s21217295>
4. Seme, S.; Štumberger, B.; Hadžiselimović, M.; Srednšek, K. *Solar Photovoltaic Tracking Systems for Electricity Generation: A Review*. *Energies* 2020, 13, 4224 [Google Scholar] [CrossRef]. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13164224>

5. Olga Kanz, Angèle Reinders, Johanna May and Kaining Ding *Environmental Impacts of Integrated Photovoltaic Modules in Light Utility Electric Vehicles / Energies* 2020, 13(19), 5120. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13195120>
6. Mohamad Monkiz Khasreen, Phillip F. G. Banfill, Gillian F. Menzies *Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review. Sustainability* 2009, 1(3), 674–701. DOI: <https://doi.org/10.3390/su1030674>.
7. Asaad Mohammad, Ramon Zamora and Tek Tjing Lie / *Integration of Electric Vehicles in the Distribution Network: A Review of PV Based Electric Vehicle Modelling Energies* 2020, 13(17), 4541. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13174541>.
8. Jamie Morgan *Electric vehicles: the future we made and the problem of unmaking it | Cambridge Journal of Economics Article Navigation / Cambridge Journal of Economics, Volume 44, Issue 4, July 2020, 953–977. DOI: https://doi.org/10.1093/cje/beaa022.*
9. Sharma, P.; Malhotra, N. *Solar Tracking System Using Microcontroller. no. Iconce. 2014, 77–79. Available online: www.theijes.com (accessed on 20 September 2021). DOI: 10.1109/ICONCE.2014.6808687.*
10. Gautham Ram Chandra Mouli, Peter Van Duijzen, Francesca Grazian, Ajay Jamodkar, Pavol Bauer and Olindo Isabella *Sustainable E-Bike Charging Station That Enables AC, DC and Wireless Charging from Solar Energy Energies* 2020, 13(14), 3549. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13143549>.
11. Mohammad Bagher Askari, Vahid Mirzaei Mahmoud Abadi, Mohsen Mirhabibi *Types of Solar Cells and Application / American Journal of Optics and Photonics* 3(5):2015. DOI: 10.11648/j.ajop.20150305.17.
12. Mahmoud Makkiabadi, Siamak Hoseinzadeh, Ali Taghavarashidzadeh, Mohsen Soleimaninezhad, Mohammadmahdi Kamyabi, Hassan Hajabdollahi, Meysam Majidi Nezhad, Giuseppe Piras *Performance Evaluation of Solar Power Plants: A Review and a Case Study Processes* 2021, 9(12), 2253. <https://doi.org/10.3390/pr9122253>.
13. Jesús Rodríguez-Molina, Pedro Castillejo, Victoria Beltran and Margarita Martínez-Núñez *A Model for Cost-Benefit Analysis of Privately Owned Vehicle-to-Grid Solutions: Energies* 2020, 13(21), 5814. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13215814>.
14. Marcos A. Ponce-Jara 1, Carlos Velásquez-Figueroa 1, María Reyes-Mero 1 and Catalina Rus-Casas *Performance Comparison between Fixed and Dual-Axis Sun-Tracking Photovoltaic Panels with an IoT Monitoring System in the Coastal Region of Ecuador / Sustainability* 2022, 14, 1696. <https://doi.org/10.3390/su14031696> (www.mdpi.com/journal/sustainability).
15. Lee, C.Y.; Chou, P.C.; Chiang, C.M.; Lin, C.F. *Sun Tracking Systems: A Review. Sensors* 2009, 9, 3875–3890 [Google Scholar] [CrossRef]. <https://doi.org/10.3390/s90503875>.
16. Racharla, S.; Rajan, K. *Solar tracking system — A review. Int. J. Sustain. Eng.* 2017, 10, 72–81 [Google Scholar] [CrossRef]. DOI:10.1080/19397038.2016.1267816.
17. Tawfiq M. Aljohani, Ahmed F. Ebrahim and Osama Mohammed / *Hybrid Microgrid Energy Management and Control Based on Metaheuristic-Driven Vector-Decoupled Algorithm Considering Intermittent Renewable Sources and Electric Vehicles Charging Lot / Energies* 2020, 13(13), 3423. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13133423>.

RESEARCH OF THE TECHNOLOGY OF USING SOLAR PANELS FOR CHARGING ELECTRIC VEHICLES

O. Shpak, D. Babyuk

Lviv Polytechnic National University,
Department of computerized automation systems

© Shpak O., Babyuk D., 2023

The main aspects of charging electric cars from solar panels have been studied, namely from solar panels that have a rotating axis behind the sun, this allows for an increase in energy storage by 20–40 %.

Various technologies and systems for charging electric vehicles from solar panels are considered, including rooftop solar panels, mobile charging stations and other innovative solutions. The environmental benefits of using solar panels to charge electric vehicles are highlighted, including reducing CO₂ emissions and dependence on oil. The economic benefits are analyzed that pivot-axis solar panels have the potential to collect more solar energy because they are always aimed at the sun. While

static panels standing still can lose some of their potential energy due to improper alignment. The financial benefits associated with the reduction of fuel and electricity costs, as well as the possibility of generating additional income through the sale of excess solar energy to the grid, were discussed.

The technical challenges related to the efficiency of solar panels, charging capacity and energy storage are considered, as well as the directions of development of these technologies are predicted.

The results of research into the process of charging an electric car from solar panels are described. It is shown that the best solar panels have an average efficiency of 20.5 %, considering the number of sunny days in Ukraine, this is enough to use energy to charge a car. It has been established that for an average driver who drives about 15,000 kilometers per year, which is even higher than the average, to cover charging needs, about 2,700 kWh is needed, which is about UAH 11,000 per year, which is very cheap for a car owner.

Key words: solar panels; electric cars; hybrid cars; recharging; renewable energy; environmental impact; rotating solar panels.