

Оцінка можливостей заряджання вантажних електричних автомобілів від фотоелектричних панелей

О. М. Бесараб, В. Я. Деревенко, С. В. Горковський
Національний університет «Одеська політехніка»

Анотація. В роботі наведено основні електротехнічні характеристики вантажних електричних автомобілів для європейського ринку, їх зарядних станцій, а також відомості щодо середньодобового пробігу. Запропоновано варіанти оптимізації процесу заряджання електричних вантажівок, розглянуто перспективний екологічний спосіб заряджання шляхом встановлення фотоелектричної станції на логістичному об'єкті в Німеччині з виконанням розрахунку в онлайн-програмі Європейської комісії для аналізу сонячної енергії та проектування фотоелектричних систем.

Ключові слова: електрична енергія, фотоелектричні панелі, зарядна станція, електричні вантажні автомобілі, середньодобовий пробіг.

Вступ

Повністю електричні вантажні автомобілі стають вже звичайними засобами доставки чогось в світі, з кожним роком зростає кількість вироблених автівок. Цей тип приводу вже охоплює усі можливі категорії вантажівок, тому виникає необхідність розробляти комплексні підходи для зручного, повністю або частково екологічного їх заряджання для дотримання сучасних та майбутніх вимог до екології.

Мета дослідження

Визначити можливості сонячних фотоелектричних панелей виконувати зарядку вантажних електромобілів різних класів та режимів роботи.

Матеріали та результати дослідження

Інформація про сучасний стан інфраструктури для вантажних електромобілів розглядається для країн ЄС, а саме Франції та Німеччини.

Згідно [1] тільки за 2 квартал 2024 року було придбано 335 вантажівок масою від 12 тон в Німеччині та 149 у Франції. У класі від 3,5 до 12 тон 728 та 412 одиниць відповідно. А середньорічний пробіг [2] складає у класі 3,5–12 тон 20–40 тис. км., а у класі від 12 тон, при добре розвинутій інфраструктурі 60–100 тис. км.. Кількість циклів зарядки може складати у малому класі 300–700, а у великому 300–500. Час звичайних логістичних операцій [3] складає від 30 хвилин до 2 годин під час яких автівка знаходиться у вимкненому стані. Отже, доцільно виконувати

цикли підзаряджання або повної зарядки під час цих операцій. Доцільно навести орієнтовні показники часу та потужності станцій [4,5] для автівок, раціональний тип зарядки, це від швидкої зарядки до ультрашвидкої. Потужності першої від 50 до 150 кВт, час зарядки близько 2–3 годин, другий тип потребує від 350 кВт для малотоннажних та від 1 МВт для середньотонажних електромобілів, але зарядка може тривати до години.

Інформація щодо марки і моделі вантажівки та дані щодо зарядної станції наведено в таблиці 1. Задля більш детального огляду узято усі можливі за вантажопідйомністю типи автівок, які, зазвичай, використовуються у комерційних перевезеннях.

Під час аналізу доцільно розділяти автомобілі на дві категорії «легкі» та «важкі».

Поділ зарядних станцій для «легких» електромобілів (наприклад, Renault Kangoo, Mercedes-Benz Sprinter, тобто ті які використовуються для робіт по населеному пункту) і більших «важких» вантажівок (магістральні перевезення) може бути корисним з кількох точок зору, але це залежить від кількох факторів. Розглянемо плюси та мінуси такого підходу.

Перевагами поділу зарядних станцій є:

- 1) оптимізація інфраструктури;
- 2) поділ станцій допоможе уникнути конкуренції за ресурси та гарантувати, що кожен транспортний засіб отримує необхідну потужність без затримок;
- 3) спрощення процесів заряджання;
- 4) прискорення процесу заряджання.

Легкі комерційні автомобілі, такі як Kangoo та Sprinter, зазвичай мають менші батареї (наприклад, 33–50 кВт·год) і можуть заряджатися

Основні дані та характеристики вантажних електромобілів

| № | Марка та модель | Заявлений пробіг на 1 заряді, км | Потужність зарядної станції, кВт | Рекомендована напруга до, В (DC) | Струм до, А (DC) |
|----|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|
| 1 | Volvo FH Electric | 300-345 | 250 | 750 | 330 |
| 2 | Mercedes eActros | 300-400 | 160-400 | 800 | 500 |
| 3 | Scania BEV Truck | 250-300 | 375 | 750 | 500 |
| 4 | MAN eTruck | 500 | до 500 | 1000 | 500 |
| 5 | Renault Trucks E-Tech T | 300 | 250 | 800 | 300 |
| 6 | Mercedes-Benz eSprinter | 150-400 | 115 | 400 | 288 |
| 7 | Renault Master E-Tech | 200 | 130 | 400 | 325 |
| 8 | Renault Kangoo E-Tech | 265 | 22 | 400 | 55 |
| 9 | Ford E-Transit Custom | 380 | 125 | 800 | 156 |
| 10 | Citroën ë-Berlingo | 280 | 100 | 400 | 250 |
| 11 | Volkswagen ID. Buzz Cargo | 400 | 170 | 800 | 213 |

з меншими потужностями (7,4 кВт для AC або 50–150 кВт для DC).

Великі вантажівки (наприклад, MAN eTruck, Mercedes-Benz eActros) вимагають значно більшої потужності для заряджання (до 350 кВт та вище).

Для легких автомобілів можна використовувати станції з меншими потужностями, які можуть бути встановлені на менших просторах, наприклад, на складах або в міських зонах, у той час як для великих вантажівок необхідні потужніші зарядні станції з великою кількістю простору для підключення та охолодження системи.

Майданчики, спеціально призначені для легких машин, можуть бути оснащені зарядними станціями з підходящою потужністю, що прискорить процес заряджання для таких автомобілів.

Недоліки поділу зарядних станцій:

- 1) витрати на інфраструктуру;
- 2) збільшення складності управління;
- 3) необхідність у додаткових майданчиках.

Поділ зарядних станцій може бути дорогим, оскільки потребує додаткового обладнання, наприклад різних типів зарядних пристроїв і допоміжної інфраструктури. Це збільшує вартість будівництва зарядних станцій та їх обслуговування.

Наявність кількох типів станцій вимагає від операторів складнішого управління інфраструктурою і може ускладнити логістику для користувачів, яким може знадобитися переміщатися між різними типами зарядних станцій.

Для поділу може знадобитися більше площі для встановлення зарядних пристроїв, що обмежує простір, особливо у містах із високою щільністю забудови.

Доцільно розділяти станції також коли на одній території базуються обидва типи автомобілів або робити окремі майданчики за територією.

Наступним питанням є отримання приблизних відомостей щодо можливих щоденних пробігів. Оскільки планується заміна автомобілів з двигунами внутрішнього згорання, то електричні автівки повинні виконувати ті ж самі обсяги роботи. Виходячи з відомостей щодо роботи класичних вантажівок [6-8] в таблиці 2 наведено дані про середній добовий пробіг автівок.

Таблиця 2

Відомості щодо пробігу

| № | Вантажопідйомність, тони | Середній добовий пробіг, км |
|---|--------------------------|-----------------------------|
| 1 | До 3,5 | 40–100 |
| 2 | 3,5–12 | 150–300 |
| 3 | Більше 12 | 500–800 |

Отже, лише великотоннажним машинам, що виконують магістральні перевезення необхідна підзарядка за умови малої ємності акумуляторів. Доцільно сумістити перерву водія з заряджанням, тому ці станції доцільно будувати біля зон відпочинку далекобійників.

Кількість автівок у кожному гаражі може суттєво відрізнитись, але приблизне значення, яке можна узяти для виконання робіт з тестових, приблизних розрахунків, враховуючи дані з [9] можуть коливатись від 10 до 50 одиниць в залежності від розмірів міста та обсягів роботи.

Станції слід розділити за:

1. Типом користування:

- а) загального користування. Тобто скористатися може будь-який автомобіль;
- б) фірмового користування. Даний тип розташовується на території фірми перевізника для власного автопарку.

2. Живленням:

- а) тільки від сонячних панелей. Робота можлива лише за умов наявності необхідної кількості со-

нячної радіації, при наявності накопичувачів енергії;

б) комбіновані. З одним чи декількома джерелами живлення які повністю чи частково покривають потреби потужності. Дані джерела можуть бути класичного живлення від мережі оператора системи розподілу так і від інших відновлювальних джерел енергії (ВДЕ);

в) тільки інші види ВДЕ;

г) «класичні» від мережі оператора системи розподілу (розглядаються для порівняння).

3. Типом встановлення:

а) стаціонарні;

б) пересувні/мобільні;

в) для живлення мереж динамічної зарядки.

Розглянемо технічний бік реалізації проекту у локальному форматі. Оскільки цілком логічно, що локальні мережі створюють інший формат – місцевий. Розміщення фотоелектричних панелей на логістичних об'єктах – це сучасний та екологічно стійкий спосіб забезпечити енергією зарядні станції для вантажних електромобілів. Дане рішення стає все більш популярним та економічно вигідним з розвитком електротранспорту, зокрема вантажних автомобілів масою від 3,5 до 12 тон і більше, які вимагають значної кількості енергії для зарядки. Логістичні центри, як правило, мають великі дахи, що ідеально підходять для розміщення сонячних панелей. Така інфраструктура дозволяє не лише знизити витрати на електроенергію, а й скоротити вуглецевий слід, відповідаючи сучасним екологічним стандартам. Майже кожен логістичний об'єкт має крыту споруду: склад, цех тощо. На даху будівлі, де є вільна площа від розміщеного обладнання (системи вентиляції, кондиціонування, опалення тощо), може бути раціональним розмістити фотоелектричні панелі. Сучасна промисловість випускає панелі з вихідною потужністю близько 500 Вт та габаритними розмірами по довжині 2–2,5 метра та шириною 1–1,2 метри.

Розглянемо приклад логістичного об'єкта з дахом приблизним розміром 200 на 100 метрів. Площа даху становить 20000 м², що дозволяє встановити близько 8000 фотоелектричних панелей потужністю 500 Вт кожна з огляду на необхідний простір для обслуговування та оптимального розміщення. З урахуванням стандартної ефективності та можливих втрат, така установка здатна виробляти пікову потужність від 2,8 до 3,2 МВт. Цього достатньо для зарядки кількох електровантажівок або підтримки роботи всієї енергетичної інфраструктури об'єкта.

Сонячні панелі потужністю 500 Вт мають розміри близько 2,3–2,5 м². Кожна з них виробляє напругу близько 35–40 В і струм 12–15 А в умо-

вах стандартного тестування (STC). Для створення системи, що забезпечує зарядну станцію з параметрами 800 В і 250 А, панелі можна з'єднати в послідовні стрінги по 20 штук для досягнення необхідної напруги. Потім такі стрінги з'єднують паралельно для отримання потрібного струму. В даному випадку потрібно 25 стрінгів, що еквівалентно 500 панелей. Це приклад гнучкої конфігурації, що дозволяє адаптувати систему до потреб конкретної зарядної станції. Тобто на цьому комплексі є можливість встановлення до 16 зарядних постів.

При цьому сонячна енергія, що виробляється протягом дня, може використовуватися не тільки для безпосереднього заряджання електромобілів, але і для інших цілей. Надлишок енергії спрямовується в акумулятори для накопичення та зберігання або загальну електромережу. Накопичення важливо для забезпечення стабільності системи у похмурі дні чи вночі, коли сонячна генерація відсутня. Батареї великої ємності, які зазвичай застосовуються в таких системах, дозволяють накопичувати достатні об'єми енергії та ефективно її розподіляти.

Енергія, отримана від фотоелектричних панелей, може бути конвертована у потрібні параметри за допомогою інверторів та МРРТ-контролерів. Інвертори перетворюють постійний струм (DC) від панелей на змінний (AC), якщо це необхідно для живлення будівлі або обладнання. МРРТ-контролери оптимізують роботу сонячних панелей, дозволяючи системі завжди працювати на точці максимальної потужності.

Ще однією перевагою використання фотоелектричних панелей на логістичних об'єктах є їхня інтеграція в існуючу інфраструктуру. Завдяки компактним розмірам панелей їх встановлення не потребує значних змін конструкції даху чи інших частин будівлі. Це робить фотоелектричні панелі універсальним рішенням, яке можна запровадити практично на будь-якому логістичному об'єкті.

Таким чином, фотоелектричні панелі на дахах логістичних об'єктів є ефективним способом забезпечення енергією зарядних станцій для електровантажівок. Це дозволяє суттєво знизити залежність від зовнішніх джерел енергії, мінімізувати вуглецеві викиди та одночасно підвищити економічну ефективність підприємства. З урахуванням зростаючого попиту на екологічно чисті технології, подібні рішення стають невід'ємною частиною сталого розвитку логістики.

Перевіримо наші початкові приблизні розрахунки. Оскільки вирішено розглядати з аналітичної точки Німеччину та Францію, тому знайдемо в цьому регіоні споруду відповідних розмірів та

призначення. Наприклад, логістичний комплекс споруд кур'єрської фірми UPS в Німеччині біля міста Бутцбах поблизу Франції. (Рис. 1).

За допомогою онлайн сервісу Європейської комісії для аналізу сонячної енергії та проектування фотоелектричних систем [10] розраховано по місяцях кількість енергії, що генерується, враховуючи використання монокристалічних фотоелектричних панелей загальною потужністю 3 МВт. Величина втрат прийнята 14% (запропо-

новано системою). Вихідні дані для розрахунку наведені на рис. 2. а і рис. 2. б.

Отримані результати розрахунку, наведені на рис. 3, свідчать, що сумарна щомісячна генерація електроенергії фотоелектричною станцією, розташованою на даху логістичного комплексу, складає 100–400 тис. кВт·год. Найнижчий показник – 100 тис. кВт·год взимку у грудні, найбільший – 400 тис. кВт·год влітку у червні та липні.

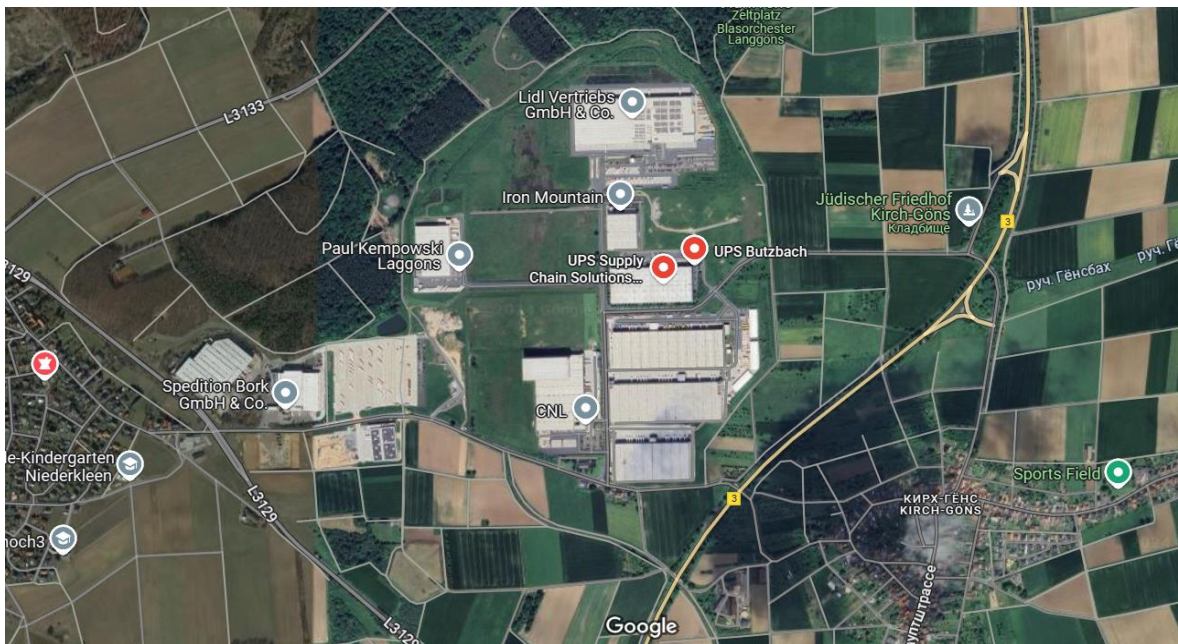
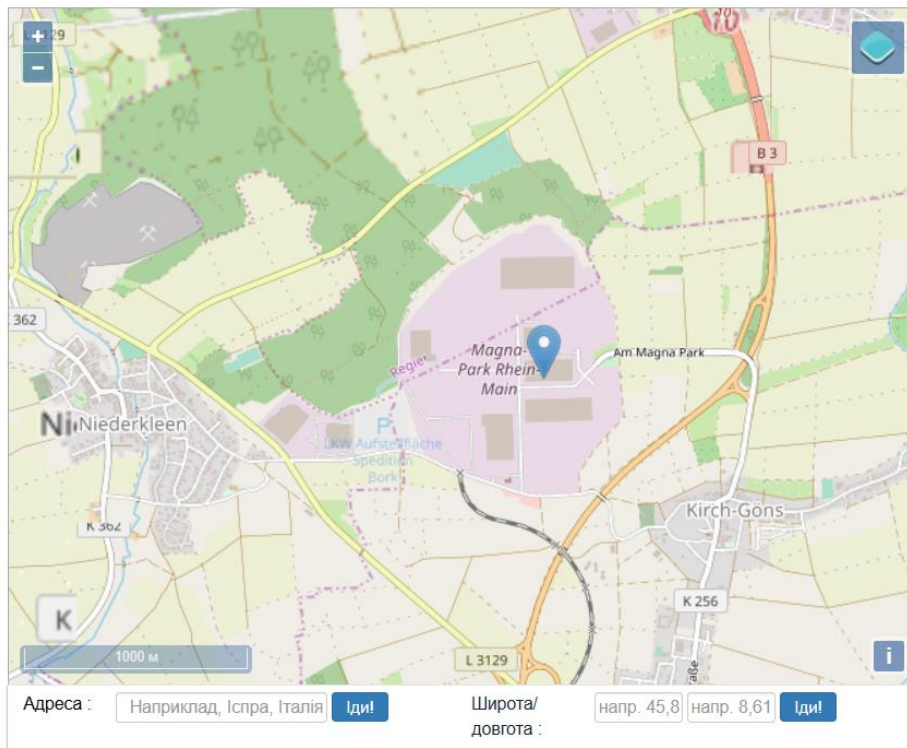


Рис. 1. Супутниковий знімок місцевості



а)

Курсор:
Вибрано : 50,477, 8,643
Висота (м): 260
PVGIS ver. 5.3

Використовуйте тіні місцевості :

Розрахунковий горизонт ↓ csv ↓ json

Завантажити файл горизонту Выберите файл Файл не выбран

Перейти на версію 5.2

МЕРЕЖА ПІДКЛЮЧЕНА

ВІДСТЕЖЕННЯ PV

OFF-GRID

МІСЯЧНІ ДАНІ

ЩОДЕННІ ДАНІ

ДАНІ ПОГОДИНИ

ТМУ

E
ЕФЕКТИВНІСТЬ ДО МЕРЕЖІ ПВ
?

База даних сонячного випромінювання * ПВПС-САРАЗ

PV технологія * Кристалічний кремній

Встановлена пікова фотоелектрична потужність [кВт] * 3000

Системні втрати [%] * ↓ ↑

Стационарні варіанти кріплення

Монтажне положення * Додано дах / Інтегрована будівля

Нахил [°] * 35 Оптимізуйте нахил

Азимут [°] * ↓ ↑ Оптимізуйте нахил і азимут

Ціна фотоелектричної енергії

Вартість фотоелектричної системи (ваша валюта) _____

Відсотки [%/рік] _____

Тривалість життя [роки] _____

Візуалізуйте результати

↓ csv

↓ json

б)

Рис. 2. Вихідні параметри

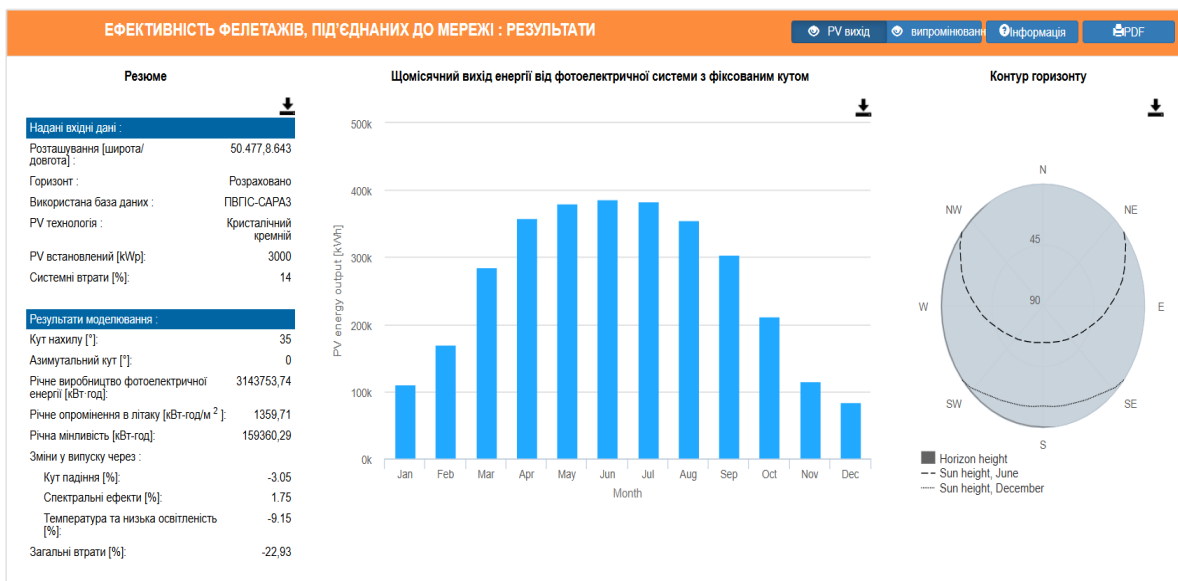


Рис. 3. Щомісячна генерація електроенергії від фотоелектричної системи

Таким чином, запропонована фотоелектрична станція взимку за місяць дозволяє виконати приблизно 2000 повних зарядок, це становить приблизно 6 автівок на добу. Влітку протягом доби є можливість зарядити до 24 автівок.

Висновки

Розвиток і розповсюдження електричних вантажних автомобілів є незворотнім процесом, що потребує розробки нових комплексних підходів до їх заряджання з урахуванням екологічних вимог.

Перспективним екологічним способом забезпечити енергією зарядні станції для вантажних електромобілів є розміщення фотоелектричних панелей на логістичних об'єктах, цехах, торгових центрах та інших об'єктах з значною вільною площею даху. Запропоновану систему необхідно доповнити іншими джерелами живлення внаслідок значного коливання потужності, що генерується, через зміну погодних умов.

Розробка конкретних технічних рішень з впровадження запропонованих систем і визначення їх техніко-економічних показників є актуальним напрямком подальших досліджень.

Список використаної літератури

1. Sathvika Ananda, Alessia Musa, and Hussein Basma Race to Zero: Щоквартальний розвиток європейського ринку важких автомобілів (січень – червень 2024 р.) [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://theicct.org/publication/r2z-eu-hdv-market-development-quarterly-jan-june-2024-sept24>
2. Вантажні автомобільні перевезення за характеристиками маршрутів [Електронний ресурс]. Режим доступу https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road_freight_transport_by_journey_characteristics#
3. Скільки часу займає розвантаження вантажівки? [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://easyrelocated.com/how-long-does-it-take-to-unload-a-truck/>
4. Renault пропонує більше варіантів акумуляторів для електричних вантажівок [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://www.electrive.com/2020/12/01/renault-offers-more-battery-options-for-its-e-trucks/>
5. Електричні вантажівки: скільки місць для швидкої зарядки потрібно в Європі? [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://www.isi.fraunhofer.de/en/presse/2024/presseinfo-20-e-lkw-schnellladestationen-europa.html>
6. Порівняння водневої і акумуляторної електровантажівки. Методологія та основні припущення. [Електронний ресурс]. Режим доступу https://te-cdn.ams3.cdn.digitaloceanspaces.com/files/2020_06_TE_comparison_hydrogen_battery_electric_trucks_methodology.pdf
7. Steffen Link, Patrick Plötz, Технічна здійсненність важких акумуляторних електричних вантажівок для міських і регіональних перевезень у Німеччині - практичний приклад із реального світу. *World Electr. Veh. J.* 2022, 13(9), 161; <https://doi.org/10.3390/wevj13090161>
8. Вантажні автомобільні перевезення за характеристиками транспортних засобів [Електронний ресурс]. Режим доступу https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Road_freight_transport_by_vehicle_characteristics
9. Глобальний ринок управління автопарком – тенденції галузі та прогноз до 2031 року [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://www.databridgemarketresearch.com/ru/report-s/global-fleet-management-market?srsId=AfmBOopnKoI-AWfHHCc6TbvrGcNIhyd7zuGF1GnQQ7FzZG5LBmrBoxgF>

10. ФОТОЕЛЕКТРИЧНА ГЕОГРАФІЧНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА [Електронний ресурс]. Режим доступу https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

References

1. Sathvika Ananda, Alessia Musa, and Hussein Basma Race to Zero: European Heavy Duty Vehicle Market Development Quarterly (January – June 2024), available at <https://theicct.org/publication/r2z-eu-hdv-market-development-quarterly-jan-june-2024-sept24/>
2. Road freight transport by journey characteristics, available at https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road_freight_transport_by_journey_characteristics#
3. How long does it take to unload a truck?, available at <https://easyrelocated.com/how-long-does-it-take-to-unload-a-truck/>
4. Renault offers more battery options for electric trucks, available at <https://www.electrive.com/2020/12/01/renault-offers-more-battery-options-for-its-e-trucks/>
5. Electric trucks: How many fast-charging locations are needed in Europe?, available at <https://www.isi.fraunhofer.de/en/presse/2024/presseinfo-20-e-lkw-schnellladestationen-europa.html>
6. Comparison of hydrogen and battery electric trucks Methodology and underlying assumptions, available at https://te-cdn.ams3.cdn.digitaloceanspaces.com/files/2020_06_TE_comparison_hydrogen_battery_electric_trucks_methodology.pdf
7. Link, S.; Plötz, P. Technical Feasibility of Heavy-Duty Battery-Electric Trucks for Urban and Regional Delivery in Germany—A Real-World Case Study. *World Electr. Veh. J.* 2022, 13, 161. <https://doi.org/10.3390/wevj13090161>
8. Road freight transport by vehicle characteristics, available at https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Road_freight_transport_by_vehicle_characteristics
9. Global Fleet Management Market – Industry Trends and Forecast to 2031, available at <https://www.databridgemarketresearch.com/ru/report-s/global-fleet-management-market?srsId=AfmBOopnKoI-AWfHHCc6TbvrGcNIhyd7zuGF1GnQQ7FzZG5LBmrBoxgF>
10. PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM, available at https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

Assessment of the possibilities of charging electric trucks from photoelectric panels

O. Besarab, V. Derevenko, S. Horkovskyi
Odessa Polytechnic National University

Abstract. *The work examines the potential of using solar photovoltaic panels to charge freight electric vehicles of various classes and operating modes. It delves into the key electrical characteristics of freight vehicles manufactured for the European market, including: range per charge, charging device power, voltage, and current as recommended by the manufacturer. To facilitate a comprehensive analysis, the study categorizes vehicles based on their carrying capacity, ranging from small commercial vans to semi-trailers designed for long-haul transportation. The research proposes several strategies for optimizing the charging process, highlighting both their advantages and drawbacks. One approach involves dividing the charging time for large vehicles during the day and smaller vehicles at night. Another strategy suggests allocating separate charging areas for different vehicle types. The study presents a theoretical case study involving the installation of a charging station at a logistics facility belonging to the UPS courier company in Germany. This case study utilizes the European Commission's online program for solar energy analysis and photovoltaic system design to perform relevant calculations. It is shown that photovoltaic panels on the roofs of logistics facilities are an effective way of providing energy to charging stations for electric trucks. This makes it possible to significantly reduce dependence on external energy sources, minimize carbon emissions and simultaneously increase the economic efficiency of the enterprise.*

Keywords: *electricity, photovoltaic panels, charging station, electric trucks, average daily mileage.*

Отримано 12.02.2025

Про авторів



Бесараб Олександр Миколайович, к. т. н., професор, завідувач кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, Національний університет «Одеська політехніка»; проспект Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна. E-mail: besarab@op.edu.ua; тел. + 38 048 705 8512

Oleksadr Besarab, Ph.D., Professor, Head of the Department of the Power Supply and Energy Management, Odessa Polytechnic National University; 1, Shevchenko Avenue, Odessa, 65044, Ukraine. E-mail: besarab@opu.ua; ph.: + 38 048 705 8512

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4170-8294>



Деревенко Владлен Янович, аспірант кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, Національний університет «Одеська політехніка»; проспект Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна. E-mail: vl.de@stud.op.edu.ua; тел.: + 38 048 705 8567

Vladlen Derevenko, graduate student of the Department of Power Supply and Energy Management, Odessa Polytechnic National University; 1, Shevchenko Avenue, Odessa, 65044, Ukraine. E-mail: vl.de@stud.op.edu.ua; ph.: + 38 048 705 8567

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3005-1997>



Горковський Сергій Вікторович, аспірант кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, Національний університет «Одеська політехніка»; проспект Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна. E-mail: 4692120@as.op.edu.ua; тел.: + 38 048 705 8567

Serhii Horkovskyi, graduate student of the Department of Power Supply and Energy Management, Odessa Polytechnic National University; Shevchenko Avenue, 1, Odessa, 65044, Ukraine. E-mail: 4692120@as.op.edu.ua; ph.: + 38 048 705 8567

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-6037-9884>