УДК 621.311 DOI https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.1.8

Н. Л. ДОН
кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-9503-5326

І. Ф. ПОГРЕБНЯК
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0003-0935-1168

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ МЕРЕЖЕВОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ ДЛЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ СТОЯНКИ

У статті представлено результати моделювання роботи мережевої фотоелектричної станції на прикладі автомобільної стоянки відкритого типу тривалого зберігання «Maxi Parking» для кліматичних умов м. Гданськ (Польща) та визначено доцільність впровадження такої системи на практиці. Використання програмного забезпечення дозволяє отримати річну загальну кількість електричної енергії та річну питому кількість електричної енергії.

Фотоелектричні модулі встановлено на даху сонячного навісу суцільним масивом під кутом нахилу покрівлі, при цьому враховувалися можливості оптимального використання поверхонь для встановлення фотоелектричних модулів. За допомогою програмного середовища HelioScope розроблено дизайн для трьох варіантів конфігурації мережевої фотоелектричної станції, які відрізняються потужностями стрінгових інверторів, виконане порівняння запропонованих варіантів та складено структурну електричну схему; проведено моделювання роботи мережевої фотоелектричної станції. Визначено структуру втрат в системі фотоелектричної станції, що враховує втрати в інверторах, втрати в мережі постійного струму, втрати в мережі змінного струму, втрати через затінення чи забруднення фотоелектричних модулів, зменшення потужності фотоелектричного модуля через його перегрівання тощо. За запропонованим варіантами визначено загальні технічні показники мережевої фотоелектричної станції та усереднене значення генерації електричної енергії фотоелектричною станцією в мережу впродовж року з урахуванням втрат в складових системи.

Визначені техніко-економічні показники системи, такі як оцінка простого терміну окупності, дисконтований термін окупності з урахуванням дисконтування грошових потоків. За отриманими результатами термін окупності складає два роки, що є прийнятним для аналогічних проєктів.

Ключові слова: *автомобільна стоянка, сонячний навіс, фотоелектричні модулі, мережевий інвертор, HelioScope, моделювання роботи мережевої фотоелектричної станції.*

N. L. DON
Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Energy, Electrical Engineering and Physics
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0001-9503-5326

I. F. POGREBNIAK
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Energy, Electrical Engineering and Physics
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0003-0935-1168

MODELING THE OPERATION OF A GRID PHOTOELECTRIC STATION FOR A CAR PARK

The article presents the results of modeling the operation of a grid photovoltaic station using the example of an open-type long-term storage car park «Maxi Parking» for the climatic conditions of the city of Gdansk (Poland) and determines the feasibility of implementing such a system in practice. The use of software allows you to obtain the annual total amount of electrical energy and the annual specific amount of electrical energy. Photovoltaic modules are installed on the roof of a solar canopy in a continuous array at the angle of inclination of the roof, taking into account the possibilities of optimal use of surfaces for installing photovoltaic modules. Using the HelioScope software environment, a design was developed

for three configuration options for a grid photovoltaic station, which differ in the power of string inverters, a comparison of the proposed options was made and a structural electrical diagram was drawn up; the operation of the grid photovoltaic station was simulated. The structure of losses in the photovoltaic station system has been determined, which takes into account losses in inverters, losses in the DC network, losses in the AC network, losses due to shading or contamination of photovoltaic modules, reduction in the power of the photovoltaic module due to its overheating, etc. According to the proposed options, the general technical indicators of the network photovoltaic station and the average value of the generation of electrical energy by the photovoltaic station into the network during the year, taking into account losses in the system components, have been determined.

The technical and economic indicators of the system have been determined, such as the assessment of the simple payback period, the discounted payback period taking into account the discounting of cash flows. According to the results obtained, the payback period is two years, which is acceptable for similar projects.

Key words: *car park, solar canopy, photovoltaic modules, grid inverter, HelioScope, modeling of a grid photovoltaic station.*

Постановка проблеми

Стимулювання розосередженої генерації з використанням відновлюваних джерел енергії досить повно розглянуто в Четвертому енергетичному пакеті ЄС [1,2].

Директива ЄС про енергетичну ефективність будівель прописує, що з початку 2027 року встановлення фотоелектричних модулів буде обов'язковим для всіх нових нежитлових будівель, а з 2030 року – для всіх нових житлових будівель. У директиві зазначено, що фотоелектричні модулі повинні бути встановлені, якщо це технічно можливо, а також економічно та функціонально доцільно. Нові правила також вимагають, аби всі автомобільні стоянки певної місткості використовували сонячну енергію, щоб мінімізувати вплив яскравого освітлення автомобільних стоянок на навколишнє середовище. Переобладнати стоянки місткістю від 80 до 400 місць необхідно до 2028 року, більшим паркінгам – до липня 2026 року. Цей захід спрямований на скорочення викидів вуглекислого газу та прискорення переходу на відновлювані джерела енергії [1,2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Принцип роботи сонячних навісів простий, але ефективний – це конструкції, призначені для розміщення фотоелектричних модулів, що перетворюють енергію сонячного випромінювання на електричну енергію, яку можна витрачати на власні потреби автомобільної стоянки (освітлення, живлення автоматизованих систем контролю паркування, охорони та сигналізації), можна використовувати для заряджання електромобілів чи продавати надлишки в центральну електромережу. Додатковою перевагою таких фотоелектричних систем є те, що вони не змінюють цільове призначення земельних ділянок, на яких встановлені [1].

Існують різні типи сонячних навісів для автомобілів, адаптованих до потреб і характеристик автомобільних стоянок, на яких вони встановлені. Основні види навісів із фотоелектричними модулями наведено на рис. 1 [3].

«Maxi Parking» (м. Гданськ, Польща) – автомобільна стоянка відкритого типу тривалого зберігання площею 3,4 га, яка повністю вимощена, огороджена, освітлена та охороняється (рис. 2) [5].

Споживання електричної енергії автомобільною стоянкою складає близько 10 000 кВт·год щомісяця. Базова ціна на електричну енергію для польських непобутових споживачів складає 142,06 € / МВт·год. Відповідно, власник автомобільної стоянки в середньому має щомісяця сплачувати за спожиту електроенергію понад 14 000 €. Зважаючи на вражаючу суму в платіжках (понад 170 тис. євро щороку) за електричну енергію, актуальним є питання покриття витрат на власне споживання та отримання прибутку від реалізації надлишку електричної енергії фотоелектричною станцією, встановленою на автомобільній стоянці [5].

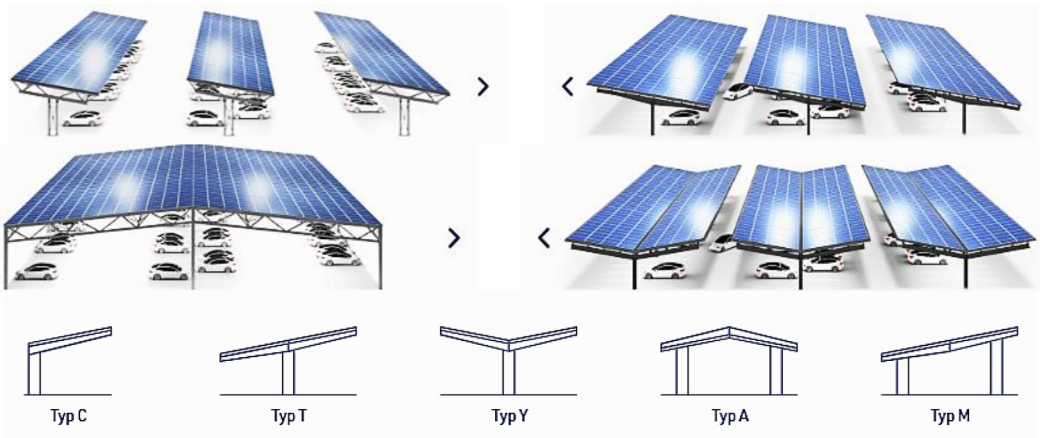

Рис. 1. Основні види навісів із фотоелектричними модулями [3]

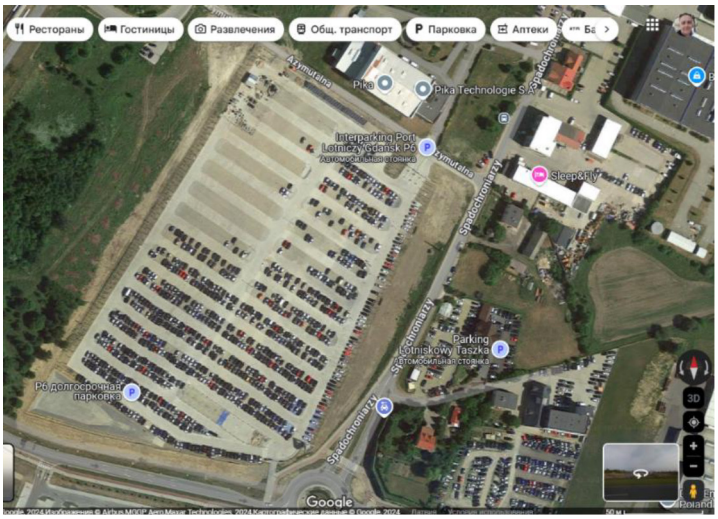

Рис. 2. Автомобільна стоянка «Maxi Parking», м. Гданськ (Польща) [5]

Для прогнозування генерації електричної енергії фотоелектричною станцією слід провести моделювання її роботи з використанням програмного забезпечення, яке дозволяє отримати річну загальну кількість електричної енергії та річну питому кількість електричної енергії. Як свідчать дослідження, програмне середовище HelioScope показав вагомі результати моделювання роботи як мережевих, так і автономних фотоелектричних станцій [4].

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є моделювання роботи мережевої фотоелектричної станції для автомобільної стоянки в програмному середовищі HelioScope та визначення доцільності впровадження такої системи на практиці.

Викладення основного матеріалу дослідження

На площадці автомобільної стоянки передбачено розміщення сонячних навісів з блоками фотоелектричних модулів Trina Solar, TSM-PD14 320 B – найбільш поширеної в HelioScope потужності модуля, використання якої дозволить обґрунтувати доцільність встановлення фотоелектричної станції для автомобільної стоянки [6].

Фотоелектричні модулі встановлено на даху сонячного навісу суцільним масивом під кутом нахилу покрівлі із врахуванням можливості оптимального використання поверхонь для встановлення фотоелектричних модулів.

Рис. 3. Звіт з моделювання дизайну мережевої фотоелектричної станції для автомобільної стоянки, візуалізовано в HelioScope [6]

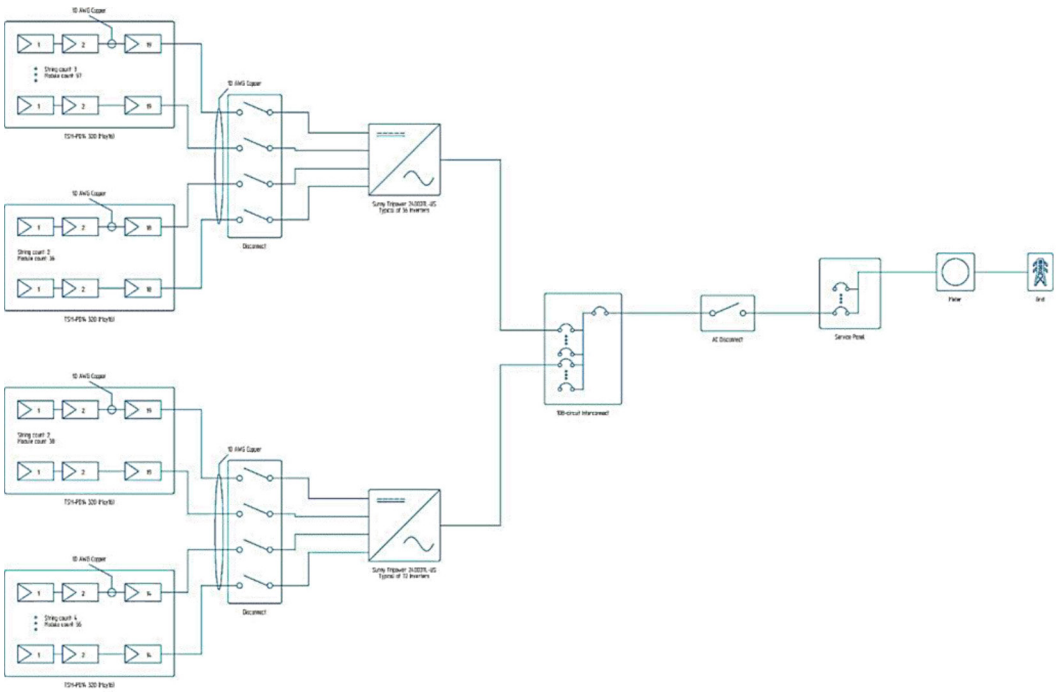

Рис. 4. Структурна схема фотоелектричної станції, візуалізовано в HelioScope [6]

Для перетворення постійного струму в змінний струм прийнято стрингові трифазні мережеві інвертори. В рамках даного дослідження проведено порівняння трьох варіантів конфігурації станції, які відрізняються потужностями стрінгових інверторів [6]:

варіант 1 – Sunny Tripower 24000TL-US (SMA);

варіант 2 – SUN2000-40KTL-M3 (Huawei);

варіант 3 – SUN2000-150K-MG0 (Huawei).

В програмному середовищі HelioScope розроблено дизайн для зазначених варіантів конфігурації мережевої фотоелектричної станції (рис. 3) та складено її структурну схему (рис. 4).

Для прогнозування генерації електричної енергії мережевою фотоелектричною станцією для автомобільної стоянки «Maxi Parking» проведено моделювання її роботи в HelioScope [6].

Визначено структуру втрат в системі фотоелектричної станції, що враховує втрати в інверторах, втрати в мережі постійного струму, втрати в мережі змінного струму, втрати через затінення чи забруднення фотоелектричних модулів, зменшення потужності фотоелектричного модуля через його перегрівання тощо [6].

Прогноз генерації електричної енергії фотоелектричною станцією враховував її типові компоненти (фотоелектричні модулі, інвертори тощо), а також місцеві метеорологічні умови [6]. Визначено загальні технічні показники мережевої фотоелектричної станції за варіантами (табл. 1) та усереднене значення генерації електричної енергії фотоелектричною станцією в мережу впродовж року з урахуванням втрат в складових системи (рис. 5).

Як показало дослідження, найкращим серед розглянутих варіантів проєкту мережевої фотоелектричної станції для автомобільної стоянки у м. Гданськ (Польща) є варіант 3 – на базі стрінгових інверторів SUN2000-150K-MG0 (Huawei) та фотоелектричних модулів TRINA SOLAR, TSM-PD14 320 Вт. Оцінка простого терміну окупності

Таблиця 1

Загальні технічні показники станції за варіантами

Параметр	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Фотоелектричні модулі, шт. Trina Solar, TSM-PD14 320 (320 Вт)	10 116	10 116	10 116
Інвертор мережевий, шт.			
Sunny Tripower 24000TL-US (SMA)	108		
SUN2000-40KTL-M3 (Huawei)		65	
SUN2000-150K-MG0 (Huawei)			18
Номінальна потужність, МВт	2,6	2,6	2,7
Ефективність перетворення, %	86,1	86,4	86,3
Продуктивність, кВт·год/кВт·пік	913,1	916,4	915,6
Разом за рік	2 955 728,1	2 966 387,3	2 963 885,6

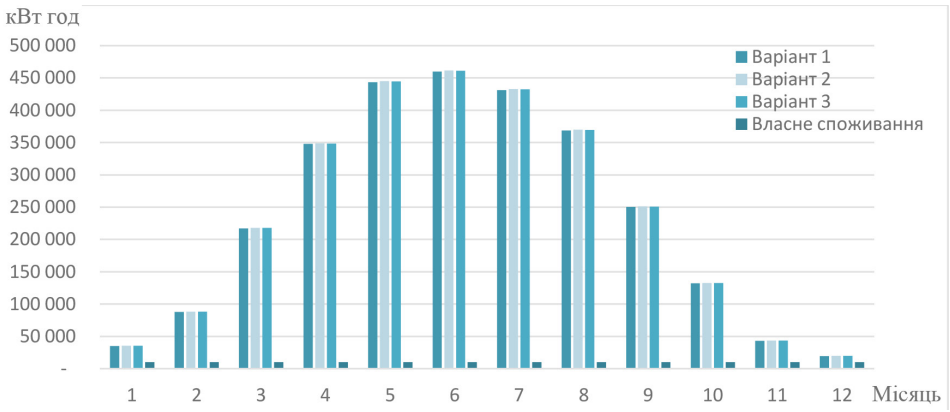

Рис. 5. Генерація електричної енергії в мережу фотоелектричною станцією

показала, що проєкт повністю окупиться вже через два роки після введення мережевої фотоелектричної станції в експлуатацію залежно від обраного варіанту. Дисконтований термін окупності з урахуванням дисконтування грошових потоків за проєктом складає два роки, що є прийнятним для аналогічних проєктів.

Висновки

За результатами моделювання роботи мережевої фотоелектричної станції для автомобільної стоянки в програмному комплексі HelioScope визначено доцільність впровадження такої системи на практиці.

Сонячні навіси для автомобілів є ідеальним рішенням для оптимізації паркувального простору, генерації зеленої енергії та одночасного захисту транспортних засобів. У зв'язку з падінням цін на комплектуючі, переваги встановлення сонячного навісу для автомобілів виходять за рамки простого виробництва енергії. Вони підвищують цінність нерухомості, забезпечують затінену парковку та сприяють екологічній стійкості [1].

Список використаної літератури

1. Revolutionizing Parking Lots: The Rise of Commercial Solar Carparks [Electronic resource]. Access mode: https://www.kingfeels.com/blog/revolutionizing-parking-lots-the-rise-of-commercial-solar-carparks_b29 (last access: 01.05.2025). Title from the screen.

2. Empower Your Solar Structure Projects With Advance Design [Electronic resource]. Access mode: https://graitec.com/uk/solar-structure-projects-with-graitec-advance-design/ (last access: 01.05.2025). Title from the screen.

3. Solar Carport Structures Comprehensive Guide [Electronic resource]. Access mode: https://pv-mounts.com/solar-carport-structures-comprehensive-guide/ (last access: 24.10.2024). Title from the screen.

4. Don N. Simulation modeling of the operation of an industrial grid-connected photovoltaic power plant of ground type / N. Don, I. Pogrebniak, O. Chepelyuk, K. Varenyk, O. Haiko // Actual Problems Of Modern Science 2024. Bydgoszcz–Khmelnytskyi, 2024r. – P. 130–139.

5. Maxiparking – najtańszy parking przy lotnisku Gdańsk [Electronic resource]. Access mode: https://maxiparking.pl/ (last access: 01.05.2025). Title from the screen.

6. HelioScope: Advanced Solar Design Software [Electronic resource]. Access mode: https://app.helioscope.com/projects/4618093/reports/15472442 (last access: 01.05.2025). Title from the screen.

References

1. Revolutionizing Parking Lots: The Rise of Commercial Solar Carparks [Electronic resource]. Access mode: https://www.kingfeels.com/blog/revolutionizing-parking-lots-the-rise-of-commercial-solar-carparks_b29 (last access: 01.05.2025). Title from the screen.

2. Empower Your Solar Structure Projects With Advance Design [Electronic resource]. Access mode: https://graitec.com/uk/solar-structure-projects-with-graitec-advance-design/ (last access: 01.05.2025). Title from the screen.

3. Solar Carport Structures Comprehensive Guide [Electronic resource]. Access mode: https://pv-mounts.com/solar-carport-structures-comprehensive-guide/ (last access: 24.10.2024). Title from the screen.

4. Don N. Simulation modeling of the operation of an industrial grid-connected photovoltaic power plant of ground type / N. Don, I. Pogrebniak, O. Chepelyuk, K. Varenyk, O. Haiko // Actual Problems Of Modern Science 2024. Bydgoszcz–Khmelnytskyi, 2024r. – P. 130-139.

5. Maxiparking – najtańszy parking przy lotnisku Gdańsk [Electronic resource]. Access mode: https://maxiparking.pl/ (last access: 01.05.2025). Title from the screen.

6. HelioScope: Advanced Solar Design Software [Electronic resource]. Access mode: https://app.helioscope.com/projects/4618093/reports/15472442 (last access: 01.05.2025). Title from the screen.