

Шифр «Енергетична ефективність»

**КУТ НАХИЛУ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ ТА
ЙОГО ВПЛИВ НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ
ПОКАЗНИКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СОНЯЧНОЇ
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ**

АНОТАЦІЯ

У роботі представлено результати проведених досліджень щодо функціонування сонячної електростанції в умовах північного кліматичного поясу держави, сонячні панелі якої розташовано на покрівлі та стінах будинку приватної забудови. Дослідження базуються на наукових основах електротехніки, географії, з використанням та обробкою статистичних даних.

За результатами досліджень сформульовано висновки та рекомендації щодо розташування та налаштування сонячних панелей за раціональним кутом нахилу їх площин відносно обрію без використання додаткових технічних пристроїв. Визначено передумови максимально можливої річної генерації електричної енергії за умови мінімізації витрат на впровадження сонячної електростанції та її подальшої експлуатації за кліматичних умов північних територій України.

Метою даної роботи є розроблення наукових та техніко-економічних рекомендацій щодо впровадження сонячних електричних станцій, які розміщуються на будівлях приватної житлової забудови.

Об'єктом дослідження є сонячна електростанція, сонячні панелі якої розташовані на даху та стінах будівлі приватної забудови.

Предметом досліджень є особливості процесу генерації електричної енергії сонячною електростанцією і вплив на неї кліматичних та інших факторів.

Методи дослідження. Результати роботи одержані на основі проведених досліджень, що базуються на наукових основах електротехніки, географії, з використанням та обробкою статистичних даних.

Ключові слова: сонячна електростанція, генерація, кут нахилу панелі, кліматичні умови.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ КУТА НАХИЛУ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ НА ГЕНЕРАЦІЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	6
2 РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ В КЛІМАТИЧНИХ ТА ГЕОГРАФІЧНИХ УМОВАХ ПІВНІЧНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ	8
3 ТЕХНІЧНІ МОЖЛИВОСТІ ЗБІЛЬШЕННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ	11
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО РЕГУЛЮВАННЯ КУТА НАХИЛУ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ	16
ВИСНОВОК	20
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	21

ВСТУП

Одним з основних та перспективних для нашої країни шляхів розвитку альтернативної енергетики є генерація електричної енергії з використанням сонячних панелей. Найбільш сприятливими кліматичними умовами щодо розміщення сонячних електростанцій в Україні вважаються південні регіони. Однак, північний кліматичний пояс держави також має доволі значний потенціал сонячної енергетики. Застосування сонячних панелей у цьому регіоні має свої особливості, які пов'язані з умовами осінньо-зимового періоду року. Сталий сніговий покрів та значна хмарність протягом декількох зимових місяців практично зводять на нівець застосування у цей період досить дорогих додаткових технічних заходів щодо автоматизованого відслідковування раціональної орієнтації сонячних модулів відносно Сонця протягом світлового дня.

За існуючої практики здебільшого сонячні модулі розташовують на покрівлі будівель. Таке розташування дуже вразливе щодо снігового покриву, який у більшості випадків знижує генерацію практично до нуля.

Згідно чинного законодавства «зелений» тариф на продаж електричної енергії, яка генерується сонячними електричними станціями відокремлених приватних домогосподарств стосується станцій, сонячні модулі яких розташовуються на покрівлях та стінах будинків.

Якраз розташування сонячних модулів на стінах у багатьох випадках зимового періоду експлуатації і дозволяє уникнути снігового покриву поверхонь фотопанелей, що значно підвищує ефективність їх функціонування.

Однак за таких умов розташування панелей важко зорієнтувати їх площини за раціональним кутом нахилу відносно обрію без використання додаткових технічних пристроїв.

Визначення максимально можливої річної генерації електричної енергії за умови мінімізації витрат на впровадження сонячної електростанції та її подальшої експлуатації за кліматичних умов північних територій України є

наразі нагальною техніко-економічною проблемою, яка потребує вирішення.

Аналіз попередніх досліджень та актуальність роботи

Одним із стратегічних напрямів розвитку енергетики з використанням альтернативних джерел енергії є сонячна енергетика. Тому підвищення продуктивності сонячних електростанцій малої одиничної потужності з розташуванням сонячних панелей на приватних житлових будівлях є важливою науково-практичною проблемою, оскільки, дозволяє скоротити викиди парникових газів у навколишнє середовище. Визначення технічних заходів впровадження сонячних електростанцій, які були б привабливими користувачам з економічної точки зору та спонукали до їх впровадження є наразі актуальним.

Попередній аналіз публікацій, що стосуються даного питання показує, що наявний інформаційний масив здебільшого стосується технічних аспектів проблеми, або розгляду суто економічних питань. Методології проведення техніко-економічного аналізу результатів впровадження сонячних електростанцій, особливостей їх побудови надається недостатньо уваги, хоча в умовах сьогодення вона стає провідною для прийняття рішення щодо їх будівництва.

Метою даної роботи є розроблення наукових та техніко-економічних рекомендацій щодо впровадження сонячних електричних станцій, які розміщуються на будівлях приватної житлової забудови.

Об'єктом дослідження є сонячна електростанція, сонячні панелі якої розташовані на даху та стінах будівлі приватної забудови.

Предметом досліджень є особливості процесу генерації електричної енергії сонячною електростанцією і вплив на неї кліматичних та інших факторів.

Методи дослідження. Результати роботи одержані на основі проведених досліджень, що базуються на наукових основах електротехніки, географії, з використанням та обробкою статистичних даних.

Наукова новизна полягає у поєднанні методів досліджень, які базуються на наукових основах електротехніки, географії та економічних наук для дослідження особливостей генерації електричної енергії сонячною електростанцією та вплив на неї кліматичних та інших факторів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у застосуванні розроблених наукових та техніко-економічних рекомендацій щодо впровадження сонячних електричних станцій, які розміщуються на будівлях приватної житлової забудови.

Особистий внесок автора. Автором було проведено збір та аналіз статистичної інформації щодо функціонування сонячної електростанції. Виконано аналіз існуючої методики визначення ефективності роботи сонячної електростанції. Проведено дослідження залежності ефективності функціонування сонячних панелей від кута нахилу панелей. Проведено техніко-економічні розрахунки щодо доцільності розташування сонячних панелей на стінах будівель.

Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновку, списку використаних джерел з 5 найменувань, 21 сторінок машинописного тексту, 3 рисунків; 2 таблиць.

1 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ КУТА НАХИЛУ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ НА ГЕНЕРАЦІЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Сонячні панелі працюють найефективніше, коли їх поверхня перпендикулярна сонячним променям, тому кут нахилу до горизонту (обрію) є одним з визначальних параметрів налагодження сонячної електростанції. Іншим фактором, що впливає на величину генерації електроенергії є азимут – кут між напрямком на Сонце і напрямком на південь. Відслідковування цих параметрів наразі не є складною інженерною задачею, але її реалізація потребує додаткового обладнання та великих фінансових витрат, тому здебільшого сонячні панелі розташовують на відкритих поверхнях під визначеними кутами та з орієнтацією

на південь. Кут нахилу залежить від географічної широти місцевості, в якій розташовані панелі. При його незмінності протягом світлового дня ефективність генерування електричної енергії змінна. Для оцінювання цього ефекту застосовано показник – коефіцієнт генерації електроенергії k_2 як відношення величини потужності фактичної генерації P_ϕ (кВт) до номінальної потужності панелі P_y (кВт):

$$k_2 = P_\phi / P_y .$$

Цей коефіцієнт за сталого кута нахилу є змінним протягом часу і залежить від фактичного кута нахилу лінії, що з'єднує спостерігача та Сонце, до горизонту.

Дослідження щодо визначення залежності зміни коефіцієнта k_2 у часі проведено на лабораторній установці, яка в автоматичному режимі відслідковує кут нахилу панелі до Сонця.

Для виключення впливу кута азимуту при проведенні дослідження було визначено максимальне значення P_ϕ на i -й момент часу та оптимальний кут нахилу панелі, який забезпечує максимальну генерацію P_ϕ . Відхилення кута нахилу панелі визначалося від зазначеного оптимального кута. Результати досліджень представлено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Зміна k_2 при відхиленні кута нахилу сонячної панелі від оптимального

Відхилення кута нахилу	5°	10°	15°	20°	25°
Розрахунковий коефіцієнт k_2	0,862	0,809	0,712	0,688	0,655

Якщо прийняти значення коефіцієнта $k_2 = 1$ за оптимального кута нахилу панелі, то при зміні кута нахилу у діапазоні від 0° до 25° коефіцієнт k_2 змінюється у межах від 1 до 0,655, що відповідає діапазону зниження генерації від можливих 100% до 65,5% відповідно до зміни кута нахилу панелі від оптимального на i -й момент часу. Виходячи з результатів досліджень та

проведених розрахунків, середнє значення зниження розрахункового коефіцієнту k_2 становить 0,172. Середнє значення зниження генерації електричної енергії при зміні кута нахилу сонячної панелі від оптимального у діапазоні від 0° до 25° становить 17,2%.

Зазначений діапазон зміни кута нахилу панелі у подальших розрахунках і дослідженнях можна розглядати як середньо прийнятний, що відповідає конструктивним можливостям розташування сонячних панелей на зовнішніх конструкціях будівель в умовах північного кліматичного поясу держави.

2 РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ В КЛІМАТИЧНИХ ТА ГЕОГРАФІЧНИХ УМОВАХ ПІВНІЧНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ

Подальші дослідження щодо функціонування сонячної електростанції проведено з використанням зібраних вихідних статистичних даних.

До розгляду та аналізу прийняті результати функціонування сонячної електростанції за останні 3 роки номінальною потужністю 10,2 кВт розташованої на покрівлі будинку приватної садибної забудови м. Суми. Орієнтація площини сонячних панелей – на південь. Зважаючи на архітектурні особливості будівлі, панелі розташовані однією площиною, яка паралельна покрівлі з кутом нахилу 25°. Кріплення фотоелектричних панелей стаціонарне. Обсяги щомісячної генерації електроенергії вказано у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Генерація електричної енергії сонячною електростанцією, кВт·год

Місяці року	2016 рік	2017 рік	2018 рік	Середня за місяць
січень	110	102	114	108,6
лютий	125	132	128	128,3
березень	273	254	286	271
квітень	1398	1450	1419	1422,3
травень	1580	1521	1590	1563,6
червень	1652	1618	1666	1645,3
липень	1393	1136	1486	1338,3
серпень	1524	1424	1707	1551,6
вересень	1094	1127	985	1068,3
жовтень	583	465	781	609,6
листопад	194	132	251	192,3
грудень	73	54	88	71,6

Графічна інтерпретація розподілу середніх обсягів генерації електроенергії за місяцями року представлена на рис.2.2.

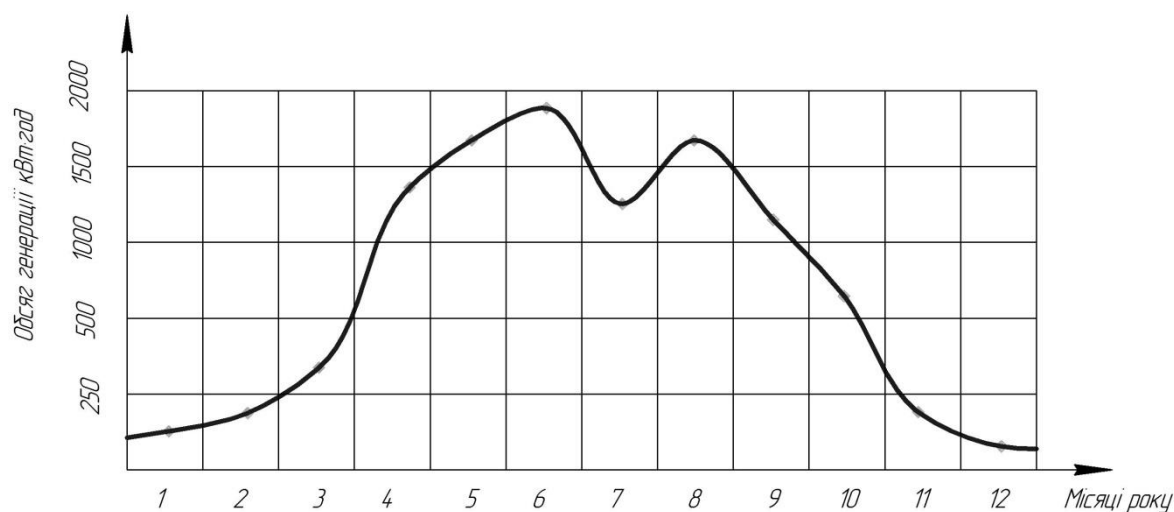


Рисунок 2.2 - Розподіл середніх обсягів генерації електроенергії за місяцями року

Аналіз результатів функціонування електростанції показує, що, зважаючи на кліматичні умови м. Суми, генерація у зимові місяці складає 10...15 відсотків від літньої. Це пояснюється сніговим покривом та хмарною погодою у зазначені місяці. Виходячи з цього, організаційно-технічне налаштування з орієнтацією на ефективну експлуатацію електростанції взимку є недоречним. Доречним є звернення основної уваги на раціональне використання сонячної електростанції у період часу з останньої декади березня до другої декади листопада, тому і основні параметри її налагодження повинні відповідати географічним та кліматичним умовам саме цього періоду.

Аналіз статистичних даних щодо добового функціонування електричної станції показує, що найбільша миттєва потужність генерації фіксується близько 13 години дня (у червні місяці вона у середньому становить 9,2 кВт за умови безхмарної погоди, у листопаді – 6,2 кВт за цієї ж умови). Період активної генерації електроенергії у червні з 7.00 год до 19.00 год, у листопаді – з 8.30 год до 15.30 год. Графічна інтерпретація добової зміни миттєвої потужності генерації представлена на рис. 2.3.

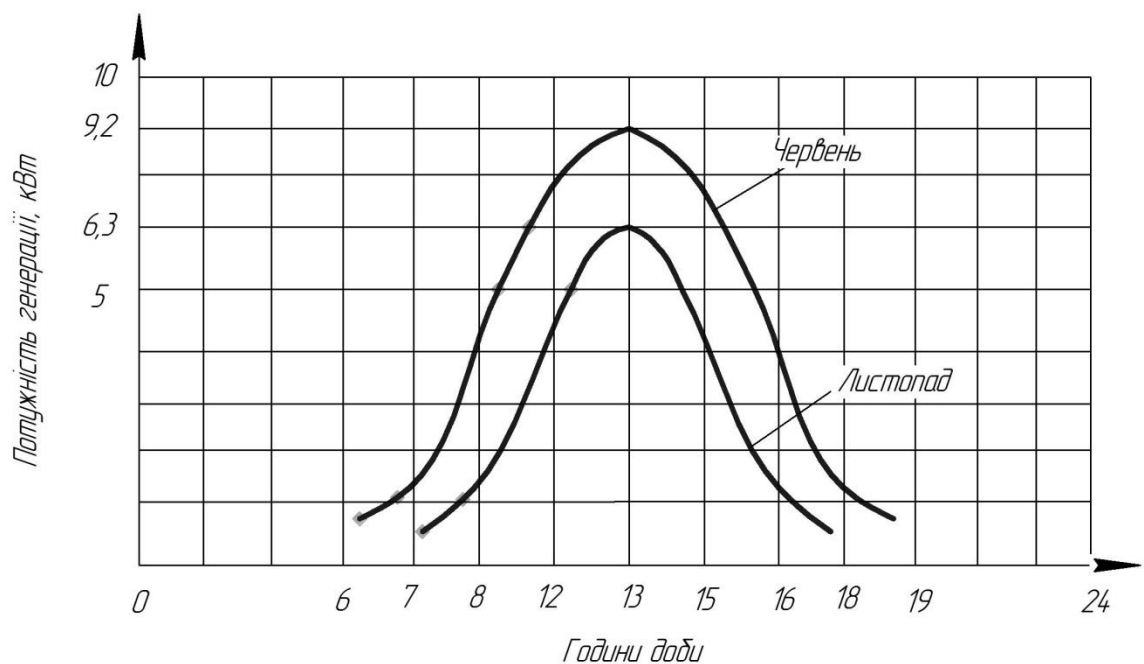


Рисунок 2.3 – Графік добової зміни миттєвої потужності генерації електроенергії

За визначених умов розташування (виходячи з алгоритму розрахунку за методикою [1]) кращим кутом нахилу сонячних панелей для літа буде числове значення широти розташування будівлі, помножене на 0,93 мінус 21 градус. У нашому випадку він має становити близько 27°.

Порівняння результатів, отриманих при дослідженнях (з використанням лабораторного стенду) зміни потужності сонячної генерації від кута нахилу сонячних панелей та фактичних статистичних даних функціонування сонячної електричної станції вказують на правильність алгоритму методики [1] та підтверджують величину зниження розрахункового коефіцієнта генерації k_2 у межах 3% при відхиленні кута нахилу сонячних панелей від розрахункового у межах 2°. Це також відповідає тренду показників табл. 1.1.

3 ТЕХНІЧНІ МОЖЛИВОСТІ ЗБІЛЬШЕННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ СОНЯЧНОЮ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ

Як вже зазначалося, наведені у роботі результати отримано за умови стаціонарного розташування сонячних панелей на покрівлі будинку.

Однак, обсяг поглинання сонячного випромінювання, що надходить на площу сонячної панелі (і як наслідок - обсяг електроенергії, що генерується сонячною батареєю) залежить від орієнтації її відносно сторін світу, кута нахилу площини сонячного модуля щодо обрію, протяжності активного (за можливістю генерації електроенергії модулем) щодобового періоду світлового дня. Тобто, максимальна ефективність (без урахування конструктивних особливостей самої панелі) функціонування сонячного модулю у нашому випадку має визначатися початковим орієнтуванням панелей за географічними показниками, а також відслідковуванням їх змін протягом світлового дня з можливістю корегування орієнтації панелей у просторі з урахуванням координат розташування Сонця в i -й момент часу. Її можна досягти шляхом запровадження спеціальних технічних пристроїв, які у

автоматичному режимі відслідковують положення Сонця відносно обрію та сторін світу і дозволяють відповідно до цього орієнтувати сонячні панелі у будь-який i -й момент часу.

Архітектурні та конструктивні особливості більшості житлових будинків приватної забудови дозволяють встановлення таких поворотних пристроїв (трекерів) які мають орієнтувати окрему сонячну панель у двох площинах: за азимутом та кутом нахилу сонця до лінії обрію.

Результати проведених досліджень та спостережень за функціонуванням сонячної електростанції установленою потужністю 10,2 кВт у кліматичних та географічних умовах м. Суми (середня річна генерація електроенергії близько 9800 кВт·год/рік) показують, що оснащення її автоматизованою системою корегування кута нахилу дозволить додатково згенерувати близько 1700 кВт·год/рік. Сумарна середня річна генерація електроенергії може сягнути 11500 кВт год/рік.

Такий результат можливо отримати за умови «альбомного» розташування сонячних панелей, тобто довша сторона панелі має розташовуватися горизонтально. Ця умова має виконуватися, з метою підвищення коефіцієнту використання площі покрівлі під розміщення панелей.

Коефіцієнт використання площі K_s розраховується, як відношення площі розміщених сонячних панелей S_p до загальної площі ділянки їх розміщення S на покрівлі, або стінах будівлі:

$$K_s = S_p / S,$$

і характеризує потенціал величини установленної на визначеній площині потужності електростанції.

Звісно, за умови щільного стаціонарного розташування панелей однією площиною, паралельною покрівлі, значення K_s буде близьким до одиниці. Тобто, площа покрівлі буде використовуватися максимально корисно.

При оснащенні панелей треком, який змінює кут їх нахилу до обрію та його функціонуванні разом з поворотом панелей створюються тіньові зони, що значно знижують генерацію електроенергії на затінених ділянках панелей. Для

усунення проблеми необхідно розташовувати сонячні панелі одна від одної на відстані, яка дозволяє уникати тінювих зон. Розрахунок показує, що розміщення панелей з дотриманням такої умови зменшує значення коефіцієнта використання площі на 18%. Це тягне за собою зменшення кількості сонячних панелей і, як наслідок, зниження установленої потужності сонячної електростанції за умови її розташування на тій же площі покрівлі.

Нескладні розрахунки показують, що за цієї ситуації середня кількість згенерованої електроенергії сонячною електростанцією за рік має становити близько 9450 кВт·год.

Порівняння результату функціонування електростанції за умови стаціонарного кріплення панелей на визначеній площі покрівлі однією площиною (за умови кута нахилу панелей 25°) та за умови використання трекерної установки, яка відслідковує кут нахилу панелей у відповідності до зміни кута розташування Сонця відносно обрію показує, що збільшення обсягів генерації електроенергії не компенсує втрати можливості генерації через зменшення установленої потужності електростанції, розташованої на покрівлі будинку.

При проектуванні та проведенні монтажних робіт щодо встановлення сонячних панелей на покрівлях будинків індивідуальної забудови основну увагу треба звертати на розташування площини їх встановлення відносно сторін обрію (переважно на південь) та на дотримання оптимального для даної місцевості кута нахилу сонячної панелі відносно горизонту. За дотримання цих умов обсяги річної генерації електроенергії в основному будуть залежати від площі розташованих на покрівлі сонячних панелей. Застосування у цьому випадку трекерів не завжди є виправданим навіть з технічної точки зору.

Застосування трекерної системи, яка б відслідковувала зміну кута азимута, за умови розташування сонячних панелей на покрівлі будинку, також пов'язано з проблемою раціонального використання площі покрівлі, а, отже, і з обсягами генерації електроенергії. Крім того, результати проведених дослід-

жень підтверджують [4], що відхилення кута азимуту первинної орієнтації площини розташування панелей у межах 15° на схід чи захід майже не впливають на загальну середньорічну величину згенерованої електроенергії.

Дослідження літературних джерел [2] підтверджують високу ефективність використання трекерних пристроїв за умови розташування на них сонячних панелей в одній площині щільним масивом. У такому випадку вдається уникати тіньових зон, не зменшуючи заповнюваність площі розташування панелей. Тобто, така схема розташування та орієнтування сонячних панелей відносно положення Сонця протягом добового періоду активної генерації електроенергії характеризується максимальними значеннями коефіцієнтів використання площі K_s та генерації електроенергії k_z .

Чинна в Україні законодавча база щодо регламентації розташування та функціонування сонячних електростанцій приватних домогосподарств вказує на розміщення сонячних панелей на покрівлях та стінах будівель, не згадуючи можливість їх відокремленого від будівлі розміщення. Зважаючи на цей факт, використання трекерних пристроїв за описаним вище варіантом може бути сумнівним.

Збільшення обсягів генерації електричної енергії можна досягти шляхом додаткового розміщення сонячних панелей на стінах будівлі [3]. Ефективність реалізації такого заходу також пов'язана з визначенням кута нахилу сонячних модулів, коефіцієнтів використання площі K_s та генерації електроенергії k_z , розрахункові числові значення яких можуть бути критерієм її оцінювання.

Розміщення панелей на стінах будівлі обмежується переважною орієнтацією розташування зовнішньої поверхні стіни на південь та її площею, простором можливого монтажу панелі, який обмежується «захисним» габаритом відступу від поверхні стіни кінцевої лінії покрівлі (рис. 3.1). Цей габарит для більшості будинків у середньому становить не більше 700 мм. Він дозволяє розташувати панель у «журнальному» варіанті з кутом нахилу не менше 45° .

Виходячи з оптимальної величини кута нахилу сонячних модулів (для нашого випадку 27°) у години максимальної добової активності Сонця, а, отже,

і максимальної генерації електроенергії, середня потужність генерації електростанції при розташуванні сонячних панелей з кутом нахилу 45° на стіні будівлі становитиме 0,704 від максимально можливої.

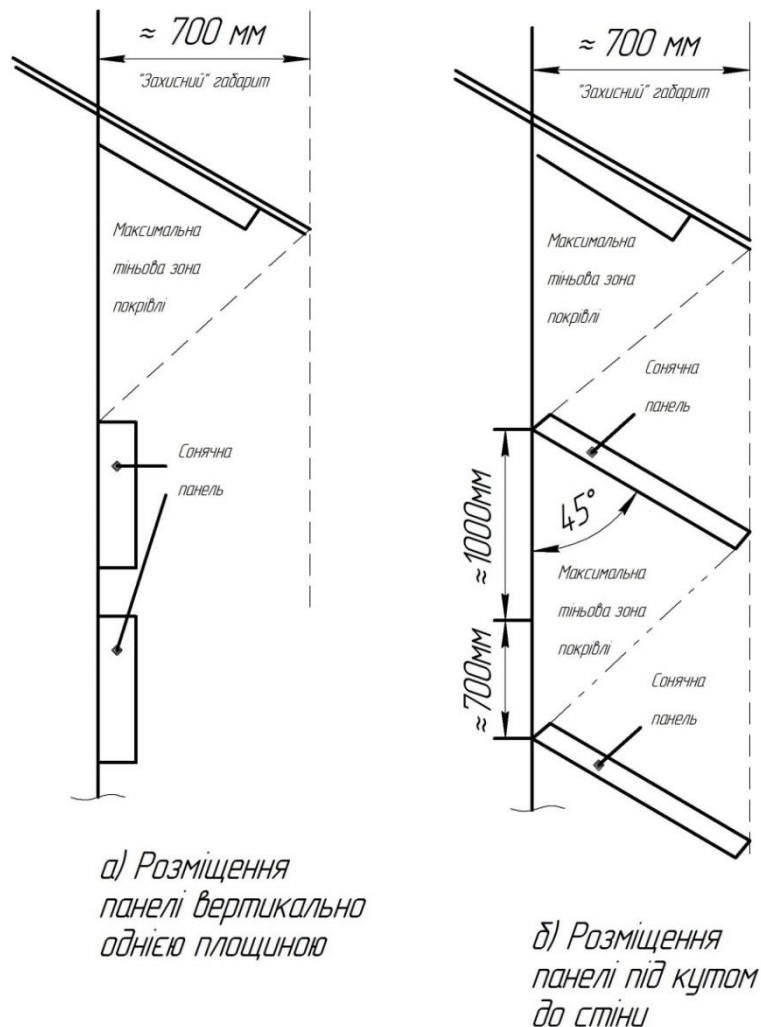


Рисунок 3.1 – Схеми розміщення сонячних панелей на стінах будівлі

Крім цього, така схема установлення сонячних панелей створює тіньові зони на площині стіни, які необхідно уникати розташуванням панелей на відстані одна від одної близько 1700 мм. Ця особливість зменшує коефіцієнт використання площі стіни до 0,58. Тобто, за таких умов 42% площі не може бути використана для розміщення сонячних панелей, а загальна установлена потужність розташованих на стіні сонячних панелей буде меншою майже на 42% відносно варіанту розміщення панелей вертикально однією площиною на стіні.

За умови розміщення панелей вертикально однією площиною коефіцієнт використання площі стіни може бути підвищено майже до одиниці, що відповідає додатковому збільшенню площі розташування сонячних панелей майже на 42%. Однак, при цьому у години максимальної добової активності Сонця кут відхилення площини панелі від оптимального становитиме близько 63° , а, отже, і середня потужність генерації електростанції становитиме 0,344 від максимально можливої. Хоча в інші періоди світлового дня цей кут буде наближатися до оптимального, значну роль у зміні потужності генерації буде відігравати зміна кута азимуту.

Загальну установлену потужність можна збільшити, використавши резерв площі «тіньових зон» для розміщення додаткових панелей. Такий захід може підвищити загальну установлену потужність, збільшивши потужність генерації до 0,488 від максимально можливої. Однак, як видно з порівняння результатів розрахунків такий захід не компенсує зниження потужності генерації.

Розміщення сонячних панелей на стіні будівлі за варіантом їх розташування під кутом близько 45° дає приріст потужності генерації електроенергії у години максимальної добової сонячної активності на майже 30% у порівнянні з варіантом розміщення панелей вертикально однією площиною на стіні навіть за умови підвищення коефіцієнта використання площі стіни до майже одиниці.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО РЕГУЛЮВАННЯ КУТА НАХИЛУ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Результативність функціонування сонячної електростанції при оснащенні системи кріплення її сонячних панелей одноповоротним трекерним пристроєм (для відслідковування оптимального кута нахилу панелей) необхідно розглядати, виходячи з умови одночасного можливого збільшення обсягів середньорічної генерації, а також її зменшення через зменшення кількості розташова-

них на покрівлі сонячних панелей. Як показують розрахунки, таке протиріччя негативно впливає на ефективність функціонування сонячної електростанції та ефективність вкладення інновацій у проект за визначених умов його впровадження.

За умови організації роботи сонячної електростанції сумісно з загальною регіональною електричною мережею, надлишок згенерованої електроенергії перетікає та обраховується за «зеленим» тарифом, який складає 5,91 грн/кВт·год. Середньорічне споживання електричної енергії середнім домогосподарством становить близько 1750 кВт·год/рік. Як вже зазначалося, середньорічна генерація електроенергії за умови стаціонарного розміщення панелей – близько 9800 кВт·год/рік, кількість електроенергії, що «перетікає» у загальну мережу (9800 кВт·год – 1750 кВт·год) становить 8050 кВт·год/рік. У грошовому еквіваленті – це 47575 грн. За вирахуванням податків у розпорядженні домогосподарства залишається чистий дохід у майже 38300 грн/рік. Інвестиції у цьому разі становлять близько 280000 грн. Звідси, простий термін окупності проекту становить близько 7,3 року за умови повного грошового відшкодування спожитої домогосподарством електроенергії та нехтування поступового у часі зниження коефіцієнту корисної дії сонячних панелей.

У разі розміщення сонячних панелей на покрівлі будівлі з використанням одноповоротних трекерів для автоматичної зміни кута їх нахилу виникає проблема тіньових зон. Уникнення її, за розрахунками, зменшує активну площу генерації електроенергії на 18%, що за тих же умов розташування батарей зменшує установлену потужність електростанції до 8,36 кВт (на 1,83 кВт). Як вже зазначалося у розділі, не зважаючи на підвищення питомого показника генерації, з урахуванням втрати установленної потужності середньорічний обсяг генерації становитиме близько 9450 кВт·год/рік. Кількість електроенергії, що «перетікає» у загальну мережу (9450 кВт·год – 1750 кВт·год) становить 7700 кВт·год/рік. У грошовому еквіваленті – це 45507 грн. За вирахуванням податків у розпорядженні домогосподарства

залишається чистий дохід у майже 36633 грн/рік. За таким варіантом технічного рішення обсяг інвестицій буде становити майже ті ж 280000 грн за винятком вартості 7 сонячних панелей (винятком «тіньових площ») – 29400 грн (середня вартість однієї панелі, враховуючи монтажні роботи, 4200 грн), тобто 250600 грн і додаткової вартості трекерної системи близько 140000 грн. Тобто, сумарні інвестиції становитимуть близько 390600 грн.

Звідси, простий термін окупності проекту близько 10,6 року за умови повного грошового відшкодування спожитої домогосподарством електроенергії та нехтування поступового у часі зниження коефіцієнту корисної дії сонячних панелей.

Як бачимо, за визначених кліматичних умов, умов розташування будівлі, її архітектурних особливостей варіант стаціонарного розташування сонячних панелей на покрівлі без трекерів є більш привабливим.

Техніко-економічні показники функціонування сонячної електростанції також розраховано за умови розміщення сонячних панелей на стіні будівлі при їх вертикальному розташуванні (рис. 3.1 а) та розміщенні панелі під кутом до стіни (рис. 3.1 б).

За варіантом рис. 3.1 а на стіні вертикально розміщено 20 панелей загальною установленою потужністю 5,2 кВт. У години максимальної добової активності Сонця, а, отже, і максимальної генерації електроенергії, середня потужність генерації електростанції при такому розташуванні сонячних панелей становитиме 0,344 від максимально можливої, тобто, 1,788 кВт. Виходячи з сумарної вартості панелей та можливих додаткових витрат на їх монтаж (близько 20 % від вартості) обсяг необхідних інвестицій становитиме 100800 грн.

За варіантом рис. 3.1 б на стіні (з урахуванням площі «тіньових» зон) розміщується 11 панелей. У години максимальної добової активності Сонця, а, отже і максимальної генерації електроенергії, середня потужність генерації електростанції при розташуванні сонячних панелей з кутом нахилу 45° на стіні будівлі становитиме 0,704 від максимально можливої, тобто, 2,86 кВт. Виходячи з сумарної вартості панелей та можливих додаткових витрат на їх монтаж

(близько 20% від вартості) обсяг необхідних інвестицій становитиме 55400 грн.

Порівняння результатів наведених розрахунків показує, що за визначених кліматичних умов, умов розташування будівлі, її архітектурних особливостей варіант стаціонарного розташування сонячних панелей на стіні під кутом до стіни за схемою рис. 3.1 б є більш привабливим.

ВИСНОВОК

Порівняння результату функціонування електростанції за умови стаціонарного кріплення панелей на визначеній площі покрівлі однією площиною (за умови кута нахилу панелей 25°) та за умови використання трекерної установки, яка відслідковує кут нахилу панелей у відповідності до зміни кута розташування Сонця відносно обрїю показує, що збільшення обсягів генерації електроенергії не компенсує втрати можливості генерації через зменшення установленної потужності електростанції, розташованої на покрівлі будинку.

При проектуванні та проведенні монтажних робіт щодо встановлення сонячних панелей на покрівлях будинків індивідуальної забудови основну увагу треба звертати на розташування площини їх встановлення відносно сторін обрїю (переважно на південь) та на дотримання оптимального для даної місцевості кута нахилу сонячної панелі відносно горизонту. За дотримання цих умов обсяги річної генерації електроенергії в основному будуть залежати від площі розташованих на покрівлі сонячних панелей. Застосування у цьому випадку трекерів не завжди є виправданим навіть з технічної точки зору.

Розміщення сонячних панелей на стіні будівлі за варіантом їх розташування під кутом нахилу близько 45° дає приріст потужності генерації електроенергії у години максимальної добової сонячної активності на майже 30% у порівнянні з варіантом розміщення панелей вертикально однією площиною на стіні навіть за умови підвищення коефіцієнта використання площі стіни до майже одиниці.

Техніко-економічні розрахунки показують, що за визначених кліматичних умов північної зони України, умов розташування будівлі, її архітектурних особливостей варіант стаціонарного розташування сонячних панелей на покрівлі без одноповоротних трекерів є більш привабливим.

Порівняння результатів наведених розрахунків показує, що за визначених кліматичних умов, умов розташування будівлі, її архітектурних особливостей варіант стаціонарного розташування сонячних панелей на стіні під кутом нахилу панелей до стіни за схемою рис. 3.1 б є більш привабливим.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Визначення оптимального кута нахилу сонячних батарей. [Електронний ресурс]: – 2018 р. – Режим доступу до ресурсу: <http://eco-electrics.com.ua/novosti/iakii-kut-nahilu-soniachnih-batarei-optimalnii>.
2. Встановлення сонячних батарей. Варіанти конструкцій під монтаж сонячних батарей. [Електронний ресурс]: – 2018 р. – Режим доступу до ресурсу: http://mysolarenergyua.blogspot.com/2017/03/blog-post_30.html
3. Визначення площі необхідної для встановлення сонячної електростанції. [Електронний ресурс]: – 2018 р. – Режим доступу до ресурсу: <https://rent techno.ua/ua/blog/ploscha.html>
4. Особливості проектування сонячних електростанцій [Електронний ресурс]: – 2018 р. – Режим доступу до ресурсу: <https://rent techno.ua/ua/blog/bipv-design.html>
5. Розрахунок необхідної кількості сонячних панелей для будівлі. [Електронний ресурс]: – 2018 р. – Режим доступу до ресурсу: <https://joule.net.ua/ua/articles/skeelki-potreebno-sonyachnih-batarej-dlya-budinku>.