

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ОКУПНОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі розглянуто математичну модель розрахунку окупності сонячної електростанції.

Ключові слова: СЕС, окупність, математична модель, функція.

Abstract

The paper considers a mathematical model for calculating the payback of a solar power plant.

Key words: SPS, payback, mathematical model, function.

Вступ

У сучасному світі питання енергоефективності та використання відновлюваних джерел енергії стає дедалі актуальнішим. Традиційні джерела енергії мають обмежені ресурси та негативний вплив на навколишнє середовище, що стимулює пошук альтернативних рішень. Сонячна енергетика, як один із найбільш перспективних напрямів розвитку відновлюваних джерел енергії, отримує дедалі ширше застосування. Установлення сонячних електростанцій (СЕС) дозволяє знизити енергозалежність підприємств, скоротити витрати на електропостачання та сприяти зменшенню викидів парникових газів. Однак, впровадження таких проєктів потребує детального аналізу економічної доцільності, де ключову роль відіграє точний розрахунок окупності інвестицій.

Метою роботи є оцінка економічної ефективності впровадження сонячних електростанцій. У даній роботі розглядається розробка математичної моделі, яка дозволяє врахувати основні економічні аспекти впровадження СЕС. Модель спрямована на оцінку строків окупності сонячної електростанції за різних умов: змін тарифів на електроенергію, рівня інсоляції, витрат на встановлення та обслуговування. Результати моделювання можуть бути корисними як для підприємств, які планують зменшити свої енергетичні витрати шляхом використання сонячної енергії, так і для побутових споживачів, які мають за мету заробіток на генерації по «зеленому тарифу».

Результати дослідження

У результаті дослідження розроблено математичну модель розрахунку окупності сонячної електростанції, яка враховує ключові параметри: вартість встановлення обладнання, рівень інсоляції, поточні тарифи на електроенергію та експлуатаційні витрати. Модель дозволяє оцінити строк окупності інвестицій залежно від технічних характеристик СЕС і змін ринкових умов. Її застосування забезпечує точніший економічний аналіз проєкту та допомагає обґрунтовано приймати рішення щодо доцільності впровадження сонячної електростанції на підприємстві або для компенсації капіталовкладень по відповідній програмі.

Основними параметрами які редагуються вручну є: область – для більш точного розрахунку обирається область, з врахуванням рівнів інсоляції та відносною генерації однокіловатної СЕС протягом місяця, що дає приблизно оцінити річну генерацію станції будь-якої потужності.

Наступний параметр – вартість «зеленого тарифу», який відповідно редагується відповідно з актуальним значенням, оскільки тенденція щорічного зменшення цього показнику не зупиняється, функція в свою чергу розраховує суму без податку.

Параметр тарифу за електроенергію до 100 кВт та вище 100 кВт, може бути відредагований якщо є пільговий тариф, в роботі представлена звичайна вартість станом на IV квартал 2024 року за кіловат електроенергії для побутового споживача, чотири гривні та 32 копійки.

Наступний параметр є обов'язковим для редагування та може вказуватись, як виходячи з

номінальної потужності інверторного обладнання, так і з потужності поля фотоелектричних модулів. Рекомендується використовувати саме потужність масиву фотомодулів, адже в годину-пік генерації фотомодулів вихідна потужність буде більшою за рахунок дельти генерації, що фактично являє собою криволінійну трапецію яка обмежена трьома графіками, де перший генерація за меншої кількості фотомодулів, другий – генерація за більшої кількості модулів, а третій графік – лінійна функція яка є величиною номінальної потужності інвертора (рис.1):

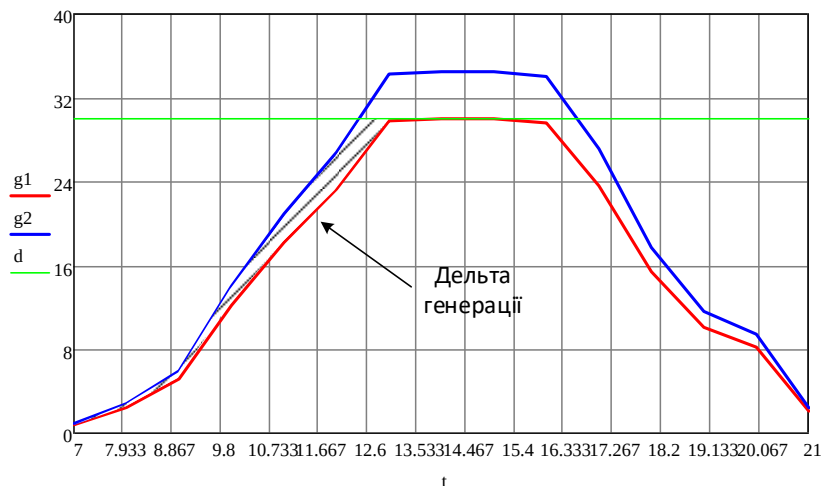


Рисунок 1 – Графік дельти генерації на прикладі інвертора 30 кВт з різною кількістю фотомодулів

Наступний параметр – вартість СЕС, що розраховується автоматично. Для цього треба задати наступні дві величини – вартість впровадження сонячної електростанції за 1 кіловат, що для мережевої станції, як правило, складає близько 500 дол./кВт, а для гібридної – 1200 дол./кВт. Відповідно, вартість складатиме:

$$V_{\text{станції}} = V_{\text{кВт}} \cdot P_{\text{СЕС}} \cdot C_{\text{USD}}, \quad (1)$$

де $V_{\text{кВт}}$ – вартість станції за кіловат потужності;

$P_{\text{СЕС}}$ – потужність фотоелектричного поля;

C_{USD} – актуальний курс долара;

Відповідно до формули (1) вказується і актуальний курс долара, а також можна обрати чи буде модель враховувати щорічну деградацію фотоелектричного обладнання. Рекомендується врахувати, щоб розрахунок був більш точним.

Рядок заданих до розрахунку величин в математичній моделі виглядатиме наступним чином (рис.2):

Виберіть область	Зелений тариф, грн	Зелений тариф, грн з податками	Тариф до 100 кВт*год, грн	Тариф >100 кВт*год, грн	Потужність СЕС, кВт-пік	Вартість СЕС, грн	Вартість СЕС, USD/кВт-пік	Курс USD-UAH (міжбанк)	Враховувати деградацію	Експлуатаційна деградація
Вінницька	5,12	4,12	4,32	4,32	31,14	650826	500	41,8	Так	0,80%

Рисунок 2 – Параметри необхідні для розрахунку

Розглянемо приклад розрахунку для фотоелектричної станції, що збудована з метою продажу електроенергії по «зеленому тарифу» і частковій компенсації за власне споживання, потужністю 31,14 кВт, за кількістю фотоелектричних модулів і номінальною потужністю інвертора 30 кВт.

Оберемо нашу область, задамо вартість за кіловат згенерованої в мережу електроенергії, задамо вартість за кіловат електроенергії для побутового споживача, потужність фотомасиву, вартість станції в доларах за кіловат, курс долара, а також оберемо «так» в пункті врахування деградації обладнання.

Задавши необхідні параметри отримаємо наступні розрахунки (рис.3):

Місяць	Генерація на місяць, кВт·год	Середня вартість ЕЕ, грн/кВт·год	Споживання, кВт·год	Економія, грн	Сумарний дохід ЗТ, грн	Окупність з урахуванням споживання (вихід в 0)	4,31	Час, роки	З урахуванням споживання
Січень	1 085,85	4,320	400,00	₴1 728,00	₴2 825,71	ROI	₴2,78		
Лютий	1 597,17	4,320	300,00	₴1 296,00	₴5 344,34	IRR	19%	2024	-₴650 826,00
Березень	2 708,25	4,320	250,00	₴1 080,00	₴10 127,97			2025	-₴499 963,42
Квітень	3 845,79	4,320	200,00	₴864,00	₴15 020,65			2026	-₴349 091,27
Травень	4 548,31	4,320	200,00	₴864,00	₴17 915,03			2027	-₴198 219,04
Червень	4 567,93	4,320	200,00	₴864,00	₴17 995,86			2028	-₴47 346,81
Липень	4 729,85	4,320	200,00	₴864,00	₴18 663,00			2029	₴103 525,42
Серпень	4 553,60	4,320	200,00	₴864,00	₴17 936,84			2030	₴254 397,65
Вересень	3 736,49	4,320	200,00	₴864,00	₴14 570,33			2031	₴405 269,89
Жовтень	2 706,07	4,320	250,00	₴1 080,00	₴10 118,99			2032	₴556 142,12
Листопад	1 330,30	4,320	300,00	₴1 296,00	₴4 244,84			2033	₴707 014,35
Грудень	1 059,38	4,320	400,00	₴1 728,00	₴2 716,66			2034	₴864 560,38
Середнє	3 039,08	4,320	258,33					2035	₴1 022 106,41
Всього за рік	36 468,99	₴186 721,22	3 100,00		₴150 872,23			2036	₴1 179 652,44
					₴157 546,03			2037	₴1 337 198,46
								2038	₴1 494 744,49
								2039	₴1 652 290,52
								2040	₴1 809 836,55
								2025	₴1 967 372,50

Генерація з кВт·пк.	
Січень	34,87
Лютий	51,29
Березень	86,97
Квітень	123,5
Травень	146,06
Червень	146,69
Липень	151,89
Серпень	146,23
Вересень	119,99
Жовтень	86,9
Листопад	42,72
Грудень	34,02
Середнє	97,59416667
Всього за рік	1171,13

Генерація однокіловатної сес на місяць з врахуванням погодних особливостей різних регіонів

=====

*Тариф може змінюватись відповідно договору, відповідно тариф виділений синім кольором, в разі необхідності може бути змінений	4,32
--	------

Рисунок 3 – Параметри розраховані математичною моделлю

Варто зазначити для більш точного розрахунку також необхідно змінити дані в стовпці «Споживання кВт · год», оскільки в даному випадку вказано приблизне споживання в будинку, при розрахунку для підприємства ці значення будуть значно вищі. Також при розрахунку для підприємства варто врахувати, що юридичні споживачі не можуть продавати електроенергію по «зеленому тарифу», а тому змінний «вартість ЕЕ по зеленому тарифу» необхідно задати значення 0.

Модель вираховує внутрішню норму прибутку IRR, рентабельність інвестицій ROI, а також «Окупність з урахуванням споживання (вихід в 0)», будує відповідні графіки та таблицю щорічної приблизної окупності, починаючи з моменту капіталовкладення та з приблизним прибутком на десятки років вперед. Аналізуючи дані таблиці можемо зробити висновок що станція вийде в нуль, тобто відіб'є вкладені кошти, за 4 роки, а на 10 рік заробить на ще 1 таку ж електростанцію.

Висновки

Розроблена математична модель розрахунку окупності сонячної електростанції довела свою ефективність, як інструмент для аналізу економічної доцільності впровадження відновлюваних джерел енергії. Вона дозволяє враховувати широкий спектр змінних, таких як вартість встановлення, тарифи на електроенергію та експлуатаційні витрати, що забезпечує гнучкість і точність у прогнозуванні.

Використання цієї моделі сприяє зниженню ризиків при інвестуванні в СЕС і є цінним інструментом, як для підприємств, які прагнуть оптимізувати свої витрати на електроенергію та зменшити вплив на навколишнє середовище, так і для побутових споживачів, які прагнуть приблизно оцінити доцільність капіталовкладень.

Отримані результати підкреслюють потенціал сонячної енергетики як економічно та екологічно вигідного рішення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Все про сонячні батареї та станції. Веб-сайт. URL: <https://www.atmosfera.ua/media/vse-pro-sonyachni-batareyi-ta-stanciyi> (дата звернення 12.11.2024).

2. Калькулятор розрахунку сонячної електростанції – Atmosfera. Веб-сайт. URL: <https://calculator.atmosfera.ua/> (дата звернення 13.11.2024).

3. Розрахунок окупності сонячної електростанції на 5, 10 і 30 ... Веб-сайт. URL: <https://greenpowertalk.tech/blog/%D1%80%D0%BE%D0%B7%D1%80%D0%B0%D1%85%D1%83%D0%BD%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BA%D1%83%D0%BF%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96%D1%81%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%97-%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82/> (дата звернення 13.11.2024).

4. Дослідження економічних аспектів побудови малих СЕС. Веб-сайт. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/26818/6765.pdf?sequence=3&isAllowed=y> (дата звернення 16.11.2024).

Шулле Юлія Андріївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: shulley.y.a@vntu.edu.ua.

Гулько Віталій Олександрович – студент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця, e-mail: hulkovitaliy06@gmail.com.

Shulle Yuliya – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Systems of Power Consumption and Energy Management of Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: shulley.y.a@vntu.edu.ua.

Hulko Vitaliy – student of the Department of Electrical Engineering Systems of Power Consumption and Energy Management of the Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: hulkovitaliy06@gmail.com.