



Міністерство освіти і науки України

ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Факультет енергетики, робототехніки та
комп'ютерних технологій**

**Кафедра електропостачання та
енергетичного менеджменту**

**ПРОЕКТУВАННЯ
ОБ'ЄКТІВ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**

Методичні вказівки до виконання РГЗ

**Визначення оптимального кута нахилу фотоелектричних модулів
СЕС та дослідження впливу кута нахилу і азимута поверхні
модулів на генерацію СЕС за допомогою програми PVGIS
спеціальності**

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**Харків
2023**

Міністерство освіти і науки України

ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет енергетики, робототехніки та
комп'ютерних технологій

Кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту

О. М. Мороз, О. О. Мірошник

**ПРОЕКТУВАННЯ
ОБ'ЄКТІВ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**

Методичні вказівки до виконання РГЗ

**Визначення оптимального кута нахилу фотоелектричних модулів
СЕС та дослідження впливу кута нахилу і азимута поверхні
модулів на генерацію СЕС за допомогою програми PVGIS
спеціальності**

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Затверджено
рішенням науково-методичної ради
факультету енергетики,
робототехніки та
комп'ютерних технологій
Протокол № 3
від 22 лютого 2023 року

**Харків
2023**

УДК 620.92(477)

Схвалено на засіданні кафедри
електропостачання та енергетичного менеджменту
Протокол №7 від 8.02.2023 р.

Рецензенти:

С. О. Тимчук, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ДБТУ.

Ю. М. Хандола, канд. техн. наук, зав. кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії та електротехніки ДБТУ.

Проектування об'єктів альтернативної енергетики: Методичні вказівки до виконання РГЗ «Визначення оптимального кута нахилу фотоелектричних модулів СЕС та дослідження впливу кута нахилу і азимута поверхні модулів на генерацію СЕС за допомогою програми PVGIS» студентами другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навч., спец.: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»; Державний біотехнологічний університет; упоряд.: О. М. Мороз, О. О. Мірошник – Харків: 2023. – 14 с.

Методичні вказівки включають інформацію про можливості програми PVGIS та фактори впливу на генерацію СЕС, а також кроки виконання завдання. Виконання РГЗ допоможе майбутнім фахівцям оволодіти основами проектування СЕС.

Видання призначена для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

УДК 620.92(477)

Відповідальний за випуск: **О. О. Мірошник**, д-р техн. наук

© Мороз О.М., Мірошник О.О. 2023.

© ДБТУ, 2023

Можливості програми PVGIS та фактори впливу на генерацію СЕС

Будівництву сонячної електростанції (СЕС) передують техніко-економічне обґрунтування доцільності будівництва станції, яке неможливе без визначення об'ємів генерації електричної енергії.

Генерація електричної енергії статичними фотоелектричними модулями (ФЕМ) в значній мірі залежить від орієнтації модулів відносно сонця, найбільша генерація буде у випадку коли поверхні модулів будуть зорієнтовані на південь. Енергетичний потенціал сонячної енергії, а відповідно і кількість згенерованої електричної енергії, залежить від місця розміщення СЕС. Також суттєвий вплив на генерацію ФЕМ має кут нахилу поверхні модулів, оптимальним є такий кут нахилу, коли промені сонця падають на поверхню під кутом 90° . Як відомо висота сонця відносно поверхні землі змінюється протягом дня та року і відповідно змінюється кут падіння променів сонця на поверхню модулів. Існує деякий оптимальний кут нахилу поверхні ФЕМ СЕС для кожної місцевості при якому річна генерація електричної енергії буде максимальною.

Для визначення оптимального кута нахилу поверхні ФЕМ сонячної електростанції використовується програма Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), доступ до якої вільний [1]. PVGIS надає інформацію про сонячне випромінювання та продуктивність фотоелектричної (PV) системи для будь-якого місця в Європі та Африці, а також у значній частині Азії та Америки. Ця програма доступна на англійській, французькій, італійській, іспанській та німецькій мовах.

Програма PVGIS надає відкритий доступ до таких даних:

1. Потенціал виробництва електроенергії для різних фотоелектричних технологій і конфігурацій.

2. Сонячна радіація та температура, як середньомісячні або щоденні профілі.

3. Повний часовий ряд погодинних значень як сонячного випромінювання, так і фотоелектричних характеристик.

4. Дані ТМУ (typical meteorological year – типового метеорологічного року) для дев'яти кліматичних змінних, відформатовані для інструментів розрахунку енергії будівлі. *(За типовий метеорологічний рік надаються дані про погоду для певного місця з перерахуванням погодинних значень сонячної радіації та метеорологічних елементів за річний період).*

5. Інтерфейс прикладного програмування для потреб швидкого автоматизованого доступу.

6. Карти сонячних ресурсів і фотоелектричного потенціалу за країнами чи регіонами в готових для друку файлах.

7. PVMAPS, пакет програмного забезпечення для користувачів, щоб створювати власні карти.

PVGIS використовує високоякісні дані з високою просторовою та часовою роздільною здатністю сонячної радіації, отримані із супутникових зображень, а також температуру навколишнього середовища та швидкість вітру з моделей повторного аналізу клімату.

Програма PVGIS дозволяє враховувати втрати електричної енергії внаслідок впливу різних факторів. Загальні втрати енергії в обладнанні СЕС складаються із втрат на забруднення та затінення поверхні ФЕМ, вкриття поверхні модулів шаром снігу, відмінностей параметрів модулів, втрат на подолання опору в проводах та з'єднаннях, деградації фоточутливих елементів, відхилення параметрів обладнання від заявлених характеристик, старіння ФЕМ та внаслідок різних експлуатаційних факторів. Перелік факторів впливу на генерацію СЕС приведено на рис. 1.

Загальні втрати в обладнанні СЕС можливо розрахувати за допомогою спеціального калькулятора Calculate System Losses Breakdown [2].











Soiling (%) :	<input type="text" value="2"/>	
Shading (%) :	<input type="text" value="3"/>	
Snow (%) :	<input type="text" value="0"/>	
Mismatch (%) :	<input type="text" value="2"/>	
Wiring (%) :	<input type="text" value="2"/>	
Connections (%) :	<input type="text" value="0.5"/>	
Light-Induced Degradation (%) :	<input type="text" value="1.5"/>	
Nameplate Rating (%) :	<input type="text" value="1"/>	
Age (%) :	<input type="text" value="0"/>	
Availability (%) :	<input type="text" value="3"/>	

Рисунок 1 – Перелік факторів впливу на генерацію СЕС

Soiling – втрати через бруд та інші сторонні речовини на поверхні ФЕМ, які перешкоджають сонячному випромінюванню досягати елементів. Забруднення залежить від місця розташування та погоди. Більші втрати від забруднення спостерігаються в районах з інтенсивним рухом транспорту, при проведенні сільськогосподарських робіт недалеко від СЕС, при тривалих періодах відсутності дощів. Стандартне значення становить 2%.

Shading – зменшення падаючого сонячного випромінювання від тіней, спричинених об'єктами поблизу масиву, такими як будівлі чи дерева, або самозатіненням для модулів, розташованих у ряди, коли модулі в одному ряду створюють тіні на модулях

у сусідньому ряду. Значення за замовчуванням 1% представляє масив із невеликим затіненням або без нього.

Snow – зменшення річної продуктивності системи через снігове покриття масиву. Значення за замовчуванням дорівнює нулю, припускаючи, що на масиві ніколи не буває снігу, або масив утримується вільним від снігу.

Mismatch – електричні втрати через невеликі відмінності, спричинені недосконалістю виробництва між модулями в масиві, через які модулі мають дещо відмінні характеристики струму й напруги. Стандартне значення становить 2%.

Wiring – резистивні втрати в проводах постійного та змінного струму, що з'єднують модулі, інвертори та інші частини системи. Стандартне значення становить 2%.

Connections – резистивні втрати в електричних з'єднувачах в системі. Стандартне значення становить 0,5%.

Light-Induced Degradation – деградація, викликана світлом. Вплив зниження потужності масиву протягом перших кількох місяців його роботи, викликаного індукованим світлом деградацією фотоелементів. Стандартне значення становить 1,5%.

Nameplate Rating – невідповідність показників обладнання, заявлених виробником. Польові вимірювання електричних характеристик фотоелектричних модулів у масиві можуть показати, що вони відрізняються від номінальних даних, зазначених в паспортних даних.

Age – старіння ФЕМ. Значення за замовчуванням дорівнює нулю.

Availability – доступність. Зменшення продуктивності системи викликане запланованим і позаплановим відключенням системи для технічного обслуговування, збоями в електромережі та іншими експлуатаційними факторами. Стандартне значення становить 3%.

Розрахунок СЕС можна провести також за іншими спеціалізованими програмами, зокрема PV*SOL online [3].

Кроки виконання завдання

Для виконання завдання необхідно виконати такі кроки:

1. Ввійти в програму [PVGIS](#);
2. Вибрати на карті місце розміщення СЕС (для збільшення масштабу карти потрібно поставити курсор на карту і обернути коліщатко мишки. Карта має високу роздільну здатність і можна вибрати місце розміщення станції з високою точністю (рис. 2).



Рисунок 2 – Вибір місця розміщення СЕС
(м. Харків, вул. Різдвяна, 19)

Справа від карти будуть вказані координати точки розміщення СЕС. Відповідно для вибраної точки координати такі: 49,99 градусів пн.ш. і 36,222 градусів сх.д., висота відносно рівня моря 105 м.

Cursor:

Selected: 49.990, 36.222

Elevation (m): 105

3. Вибрати в таблиці для розрахунку наступні параметри (рис. 3):

- тип сонячної електростанції – GRID CONNECTED;
- тип даних сонячної радіації (Solar radiation database) – PVGIS-SARAH2;
- технологію виготовлення модулів (PV technology) – Crystalline silicon;
- монтажне положення (Mounting position) – Free standing.

GRID CONNECTED

TRACKING PV

OFF-GRID

MONTHLY DATA

DAILY DATA

HOURLY DATA

TMY

PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

Solar radiation database* PVGIS-SARAH2

PV technology* Crystalline silicon

Installed peak PV power [kWp]* 10

System loss [%]* 14

Fixed mounting options

Mounting position* Free-standing

Slope [°]* 35

Azimuth [°]* 0

PV electricity price

Optimize slope

Optimize slope and azimuth

PV system cost (your currency)

Interest [%/year]

Lifetime [years]

Visualize results

Optimize slope

Рисунок 3 – Вибір параметрів розрахунку

4. Ввести в таблицю свої дані (рис. 3):

- встановлену пікову потужність (Installed peak PV power [kWp]);
- втрати в системі (System loss [%]);
- азимут розміщення поверхні ФЕМ (Azimuth [°] = 0).

5. Провести розрахунок оптимального кута нахилу поверхні ФЕМ (в таблиці розрахунку натиснути на кнопку **Visualize results** та натиснути на кнопку **Optimize slope**).

За результатами розрахунків будуть наведені дані та побудовані помісячні графіки генерації (рис. 4).

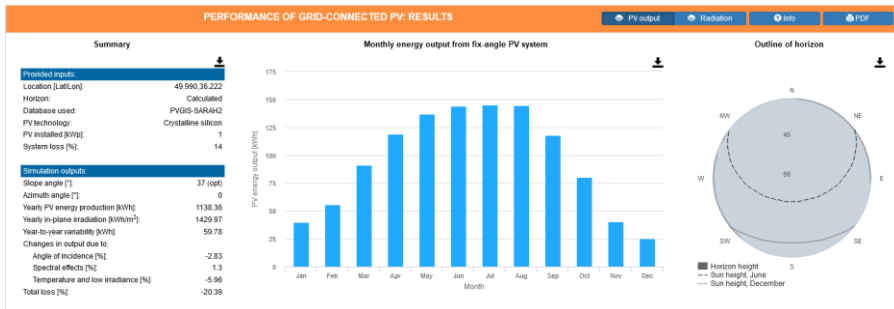


Рисунок 4 – Результати розрахунків

В наведеній таблиці (рис. 4) вказано оптимальний кут нахилу ФЕМ (для даного прикладу 37°) та річна генерація СЕС (для даного прикладу 1138,36 кВт*год). Там також вказана річна мінливість генерації 59,78 кВт*год, тобто відхилення річної генерації може складати $\pm 5,25\%$.

6. Дослідити вплив кута нахилу ФЕМ на генерацію СЕС. Для цього потрібно задатися рядом значень кутів (попередньо потрібно відключити функцію Optimize slope). Рекомендується задавати по 5 значень кутів у різні сторони від оптимального значення, з інтервалом 5° , при азимуті (Azimuth) рівному 0° та провести розрахунки, результати розрахунків занести в таблицю (табл. 1). Розрахунки краще проводити в програмі **Microsoft Excel**. За результатами розрахунків побудувати графік річної генерації СЕС в залежності від кута нахилу поверхні ФЕМ (рис. 5).

Таблиця 1 – Результати розрахунку річної генерації СЕС в залежності від кута нахилу поверхні ФЕМ

Кут нахилу ФЕМ, град.	12	17	22	27	32	37	42	47	52	57	62
Річна генерація, кВт*год	1056	1085	1107	1123	1134	1138	1135	1126	1110	1088	1060



Рисунок 5 – Графік річної генерації СЕС в залежності від кута нахилу поверхні ФЕМ

7. Дослідити вплив азимуту розміщення поверхні ФЕМ на генерацію СЕС. Для цього потрібно задатися рядом значень кутів азимута в межах від 0 до 90^0 , рекомендується задавати по 6 значень кутів азимута в кожную сторону від 0 з інтервалом 15^0 при оптимальному куті нахилу ФЕМ, та провести розрахунки, результати розрахунків занести в таблицю (табл. 2). Розрахунки краще проводити в програмі Microsoft Excel. За результатами розрахунків побудувати графік річної генерації СЕС при оптимальному куті нахилу ФЕМ в залежності від азимута поверхні ФЕМ (рис. 6).

Таблиця 2 – Результати розрахунку річної генерації СЕС в залежності від кута нахилу поверхні ФЕМ

Азимут поверхні ФЕМ відносно півдня, град.	-90	-75	-60	-45	-30	-15	0 Пів-день	15	30	45	60	75	90
Річна генерація, кВт*год	889	958	1019	1068	1107	1130	1138	1129	1105	1065	1015	954	886

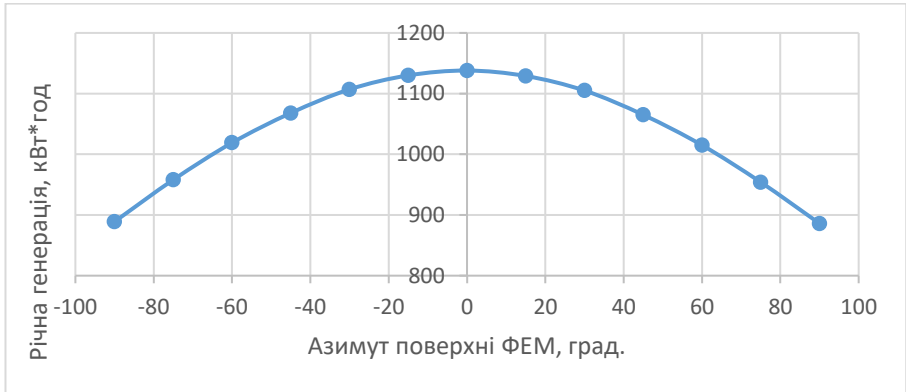


Рисунок 6 – Графік річної генерації СЕС в залежності від азимута поверхні ФЕМ

8. Зробити висновки за результатами дослідження.

Оптимальним кутом нахилу поверхні ФЕМ СЕС є кут 37° , річна генерація електричної енергії при цьому буде 1138,36 кВт*год.

При зміні кута нахилу від 37° до 62° генерація зменшується на 6,6 %, а при зміні кута нахилу від 37° до 12° генерація зменшується на 6,96%.

$$\Delta E_{37-62} = \frac{1135 - 1060}{1135} \cdot 100\% = 6,6\%$$

$$\Delta E_{37-12} = \frac{1135 - 1056}{1135} \cdot 100\% = 6,96\%$$

При зміні азимута від 0^0 до 90^0 генерація зменшується на 21,94 %, а при зміні кута нахилу від 0^0 до -90^0 генерація зменшується на 21,67%.

$$\Delta E_{0-90} = \frac{1135 - 886}{1135} \cdot 100\% = 21,94\%$$

$$\Delta E_{-90-0} = \frac{1135 - 889}{1135} \cdot 100\% = 21,67\%$$

Питання для самоконтролю

1. Від чого залежить генерація електричної енергії СЕС?
2. Як впливає азимут поверхні ФЕМ на генерацію електроенергії СЕС?
3. Яке призначення програми PVGIS?
4. Як визначаються координати місця розміщення СЕС?
5. Як перевести з англійської мови «GRID CONNECTED»?
6. Які фактори впливають на втрати енергії в обладнанні СЕС?
7. Які потрібні вихідні дані для розрахунку СЕС за допомогою програми PVGIS?
8. Які значення відхилень генерації від прогнозних?
9. Як визначити помісячну генерацію за допомогою отриманих графіків?
10. Чому у літні місяці генерація максимальна?
11. Яка послідовність побудови графіків в програмі Microsoft Excel?

Використані джерела інформації

1. Photovoltaic Geographical Information System.
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR.
2. Calculate System Losses Breakdown.
<https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>.
3. PV*SOL online. <https://pvsol-online.valentin-software.com/#/>.

Вихідні дані для розрахунку РГЗ

1. Місцем розміщення СЕС є місце проживання студента/студентки або його/її батьків.
2. Потужність СЕС (кВт) – день народження студента/студентки.
3. Втрати в системі (%) – місяць народження студента/студентки.

Зразок титульного листка РГЗ

Державний біотехнологічний університет

Факультет енергетики, робототехніки та комп'ютерної інженерії

Кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту

Розрахунково-графічне завдання

**Визначення оптимального кута нахилу фотоелектричних
модулів СЕС та дослідження впливу кута нахилу і азимута
поверхні модулів на**

генерацію СЕС за допомогою програми PVGIS

Місце розміщення СЕС – м. Харків, вул. Різдяна, 19

Виконав студент

гр. 141-22м-01 (51-Ем ОНП)

Микола Григоренко

Перевірив

професор **Олександр Мороз**

Харків, 2023

Навчальне видання

ПРОЕКТУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

**Методичні вказівки до виконання РГЗ
Визначення оптимального кута нахилу фотоелектричних модулів СЕС
та дослідження впливу кута нахилу і азимута поверхні
модулів на генерацію СЕС за допомогою програми PVGIS**

Укладачі:

МОРОЗ Олександр Миколайович
МІРОШНИК Олександр Олександрович

Формат 60×84/16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.
Ум. друк. арк. 0,6. Наклад 100 пр.

Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44