

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ПОЄЖАН МИКОЛА АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 697

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Дослідження можливостей підвищення ефективності використання сонячної
енергії в зоні Полісся

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр.
Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело

_____ М. А. Поєжан

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Соколовський Олег Феліксович

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.т.н., доцент кафедри електрифікації,

автоматизації виробництва та інженерної екології

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Поежан М. А. Дослідження можливостей підвищення ефективності використання сонячної енергії в зоні Полісся. Кваліфікаційна робота на правах рукопису. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка Житомирський національний агроекологічний університет, Житомир, 2020.

В кваліфікаційній роботі приведені дослідження та аналіз можливостей підвищення ефективності використання сонячної енергії в зоні Полісся.

В роботі проведено дослідження можливостей підвищення ефективності використання сонячної енергії за рахунок генерації фото панелей на сонячних електростанціях.

Ключові слова: сонячна енергія, ефективність, фотоелектричні панелі, генерація, електроенергія, сонячні електростанції.

SUMMARY

Poezhan M. A. Research of possibilities of increase of efficiency of use of solar energy in the zone of Polissya. Qualification work on the rights of the manuscript. Qualification work for obtaining a master's degree in 141 Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics Zhytomyr National Agroecological University, Zhytomyr, 2020.

In the qualification work the researches and the analysis of possibilities of increase of efficiency of use of solar energy in the zone of Polissya are resulted. The paper investigates the possibilities of improving the efficiency of solar energy use by generating photo panels at solar power plants.

Key words: solar energy, efficiency, photovoltaic panels, generation, electricity, solar power plants.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	9
1.1 Світовий досвід та перспективи використання сонячної енергії.....	9
1.2 Стан та перспективи використання сонячної енергії на Житомирському Поліссі.....	9
1.3 Співпраця з інвесторами.....	10
Висновки до першого розділу.....	10
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЗА РАХУНОК ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....	12
2.1 Технічні характеристики сонячних електростанцій.....	12
2.1 Дослідження енергетичних можливостей ФЕП.....	16
2.2 Дослідження та аналіз впливу умов навколишнього середовища і метеорологічних показників на роботу фотоелектричних панелей.....	17
2.3 Дослідження та аналіз використання трекерних систем для регулювання кута повороту сонячних панелей.....	20
2.4 Використання інверторів, акумуляторів, контролерів заряду на сонячних електростанціях.....	21
2.5. Дослідження пускових струмів в мережах електропостачання.....	21
Висновки до другого розділу.....	23
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ	25
3.1 Математична модель фотоелектричного модуля.....	25
3.2 Дослідження та аналіз ефективності фотоелектричного перетворення.....	28
3.2.2 Побудова імітаційної моделі сонячного фотоелектричного модуля в програмному середовищі Matlab/Simulink.....	30

Висновки до третього розділу.....	33
ВИСНОВКИ.....	34
ЛІТЕРАТУРА.....	36
ДОДАТКИ.....	38

ВСТУП

Пріоритетним напрямком вирішення питання енергоефективності, і енергозбереження являється дослідження, аналіз та впровадження відновлювальних альтернативних джерел енергії.

Аналізи досліджень показують, що одним із основних напрямків впровадження альтернативних джерел енергії являється дослідження та використання сонячної енергії.

Головною метою цих досліджень було підвищення можливостей ефективності використання сонячної енергії, та зниження їх вартості, створення сонячних електростанцій на їх основі з використанням відповідних комплектуючих.

Тому доцільним є пошук оптимальних параметрів сонячних панелей з урахуванням необхідної встановленої потужності сонячних модулів з панелями до необхідної робочої споживаної потужності об'єктів електропостачання.

Сьогодні актуальним є розробка ефективних проектів та реконструкція існуючих систем сонячної енергетики для їх максимальної інтеграції в традиційні системи енергопостачання, підключення по програмі «зелена» енергетика та широке застосування на практиці для автономного постачання електроспоживачів.

Мета і задачі дослідження

Метою роботи являється дослідження можливостей підвищення ефективності використання сонячної енергії за рахунок фотоелектричних панелей.

Відповідно до мети в роботі розв'язуються наступні **основні задачі**:

Дослідження та аналіз впливу умов навколишнього середовища і метеорологічних показників на генерацію фотоелектричних панелей.

Аналіз досліджень впливу затінення на генерацію фотоелектричних панелей.

Досліджень та аналіз впливу температури на генерацію фотопанелей.

Дослідження та аналіз використання статичних та трекерних систем на регулювання кута повороту сонячних панелей

Об'єкт дослідження – процес генерації сонячної енергії в фотоелектричних панелях.

Предмет дослідження - величина генерації фотоелектричних панелей сонячних електростанцій в кліматичних умовах зони Житомирського Полісся на основі статистичних даних на протязі року.

Методи дослідження. Використовувались: методи системного аналізу для аналізу структури системи генерації електропостачання, графічний метод, об'єктно-орієнтованого програмування для автоматизації розрахунків, математичне моделювання фотоелектричного модуля, моделювання в середовищі Matlab/Simulink.

Наукова новизна одержаних результатів

Вперше розроблено методику вибору встановленої потужності сонячної електростанції, яка відрізняється від існуючих з врахуванням не лише встановленої потужності сонячних модулів і рівня споживання електроенергії, але також і рівень генерації сонячними панелями з врахуванням зниження їх ефективності за рахунок впливу умов навколишнього середовища і метеорологічних показників, що дозволить підвищити техніко – економічну та енергетичну ефективність ще при проектуванні.

Практичне значення одержаних результатів

Дослідження та аналіз показали, що потенціал сонячної енергії на Поліссі дозволяє розраховувати на високу ефективність використання фотоелектричних панелей для вироблення електроенергії, але крім інтенсивності сонячного випромінювання на генерацію панелей діє ряд негативних факторів, які пов'язані з розташуванням кута нахилу, затінення, орієнтація на сторони світу, вплив умов навколишнього середовища і метеорологічних показників, температура фотопанелей.

Практичну цінність одержаних результатів, які доцільно використовувати при проектуванні сонячних електростанцій являються:

визначення основних критеріїв під час вибору встановленої потужності та проектування;

розробка алгоритму вибору потужності сонячної електростанції;

моделювання характеристик фотоелектричних панелей.

Особистий внесок магістранта

В роботі було проведено дослідження та аналіз можливостей підвищення ефективності використання сонячної енергії на базі сонячних фотопанелей в зоні Житомирського Полісся.

Розроблено методику вибору встановленої потужності сонячних електростанцій, яка враховує зниження рівня генерації сонячними панелями за рахунок впливу умов навколишнього середовища і метеорологічних показників, температури панелей, що дозволить підвищити енергетичну ефективність ще при проектуванні.

Апробація результатів роботи

Головні результати магістерської роботи доповідалися та обговорювалися:

- на практичній конференції «Наукові читання» ЖНАЕУ (Житомир, 2020 р.)
- на 4 Міжнародній науково-технічній конференції «Біоенергетичні системи» Поліський національний університет (Житомир, 2020 р.).
- Всеукраїнський конкурс наукових робіт за напрямком «Машини та засоби сільськогосподарського виробництва» Поліський національний університет (Житомир, 2019 р.).

Публікації

За результатами магістерської роботи опубліковано 1 наукова робота, 2 праці в матеріалах науково-практичних конференцій.

1. Всеукраїнський конкурс наукових робіт за напрямком «Машини та засоби сільськогосподарського виробництва» на тему: «Дослідження теплових насосів» Поліський національний університет (Житомир, 2019 р.) Поєжан М. А..
2. Дослідження можливостей створення геліоенергетичних комбінованих установок / Поєжан М. А., «Наукові читання»:– Житомир: Вид-во ЖНАЕУ, 2020. – 218 с.
3. Оптимізація різно типових ВДЕ / Поєжан М. А., Прядко В. А. «Біоенергетичні системи»: матеріали 4 конференції 28–29 травня 2020 року. Поліський національний університет. – Житомир: Вид-во ЖНАЕУ, 2020. – Частина 2.

РОЗДІЛ 1. СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

1.1 Світовий досвід та перспективи використання сонячної енергії

Найбільш ефективно застосування сонячної енергії знайшло у системах електро та теплопостачання.

На рис. Д 1.1 показано всі типові основні види джерел генерації електроенергії, їх під'єднання до загальної електромережі та розподіл електроенергії між міськими та сільськими споживачами, в цю структуру також включено джерела відновлювальної енергії, такі як гідроелектростанції, вітрові електростанції та сонячні електростанції.

На 2020 р. в світі встановлена потужність сонячних електростанцій склала 0,5 млн. кВт, а комбінованих сонячних панелей - колекторів для електро та теплопостачання – 77 млн. кВт

1.2 Стан та перспективи використання сонячної енергії на Житомирському Поліссі

На Житомирському Поліссі працює 310 сонячних електростанцій. Кожен із їх власників може отримати відшкодування за встановлене обладнання, адже на Житомирщині успішно реалізується програма, за якою можна отримати до 50 тис. грн компенсації згідно програми розвитку сонячної енергетики.

Загалом програмою вже скористалися 134 жителі області, які отримали понад 6 млн грн компенсації.

Ще 112 заявок на відшкодування перебувають на розгляді у департаменті регіонального розвитку ОДА.

Зазначається, що кожен, хто встановлює сонячну електростанцію, може отримати компенсацію з обласного бюджету в розмірі 20% від вартості обладнання, але в межах 50 тис. грн.

В ОДА акцентують, що сонячні електростанції дозволяють забезпечувати будинок електроенергією, а залишок продавати за «зеленим» тарифом, який наразі становить 18 євроцентів за кВт/год (близько 5,5 грн).

1.3 Співпраця з інвесторами

У серпні 2018 року словенська компанія Riko розпочала під Житомиром будівництво сонячної електростанції потужністю 10,6 мВт, яка була здана в експлуатацію в серпні 2019 біля Глибочиці Комунальне підприємство «Центр інвестицій» в 2019 році отримало 35,6 млн. грн. від продажу сонячної енергії.

28 вересня 2018 року голова ОДА Ігор Гундич підписав меморандум з компанією, яка за майже 50 млн. євро планує побудувати сонячну електростанцію потужністю 50-55 МВт у Брусилівському районі на площі 89 га. Станом на 31 березня 2019 року в Житомирській області було встановлено 228 сонячних електростанцій, і вона знаходилася за кількістю СЕС на 14 місці серед інших регіонів України [3].

30 жовтня 2019 року був підписаний меморандум між компанією MNG та Брониківською ОТГ про співпрацю з метою надання земельної ділянки для будівництва сонячної електростанції у 2020 році потужністю 12 МВт, що стимулюватиме притік інвестицій та створить сучасну промислову екосистему в регіоні.

Висновки до першого розділу

В першому розділі роботи було проведено дослідження світового досвіду, перспективи використання сонячної енергії, в Україні та на Житомирському Поліссі.

Дослідження показали, що на Житомирському Поліссі працює 310 сонячних електростанцій. Успішно реалізується компенсаційна програма ,

за якою можна отримати до 50 тис. грн. компенсації за будівництво власних сонячних електростанцій.

При цьому сонячні електростанції дозволяють забезпечувати будинок електроенергією, а залишок продавати за «зеленим» тарифом, який наразі становить 18 євроцентів за кВт/год (близько 5,5 грн).

Проходить хороша співпраця з інвесторами по проектуванню та будівництву сонячних електростанцій на Поліссі.

Проведено дослідження та аналіз роботи відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), сонячних електростанцій (СЕС) та об'єднаної енергосистема (ОЕС) України.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЗА РАХУНОК ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

2.1 Технічні характеристики сонячних електростанцій

Дослідження показали, що встановлені в зоні Полісся сонячні електростанції складаються із окремих сонячних елементів і у вигляді сонячних батарей встановлюються на монтажні конструкції.

Приклад схеми сонячної електростанції промислового призначення, яка генерує електроенергію для власних потреб і продажу в загальну електричну мережу наводиться в додатку 2, рис. 2.1.

Сонячна електростанція може складатися з однієї або декількох кількох фотоелектричних панелей. Для будівництва потужних промислових сонячних електростанцій з фотоелектричних панелей монтують системи для електростанцій з потужностями з десятками, сотнями МВт, з підключенням до електричної мережі.

Дослідження показали, що на Поліссі використовують три основні типи фотоелектричних систем:

підключені до електромережі, гібридні і автономні.

Системи адаптовані для забезпечення електропостачання відповідних вимог при допомозі зміни конфігурації системи, типу і кількості фотоелектричних панелей.

Підключення фотоелектричної системи до електричної мережі

В системах житлових будинків, інвертор приєднаний до ввідно розподільного щитка, звідки струм переходить до загальної електричної мережі або до електричної мережі в будинку.

Такі системи не вимагають акумуляторів, так як вони підключені до мережі, в яку передаються надлишки згенерованої електроенергії, а також, вона постачає будинок електроенергією в періоди недостатнього рівня

виробництва електроенергії фотовольтаїчними модулями. Але часто в таких системах також використовують батареї для того, щоб збільшити рівень споживання електроенергії власного виробництва і зменшити споживання з загальної мережі.

Приклад підключення до електричної мережі через інвертор фотоелектричного модуля зображено на рис. 2.2.

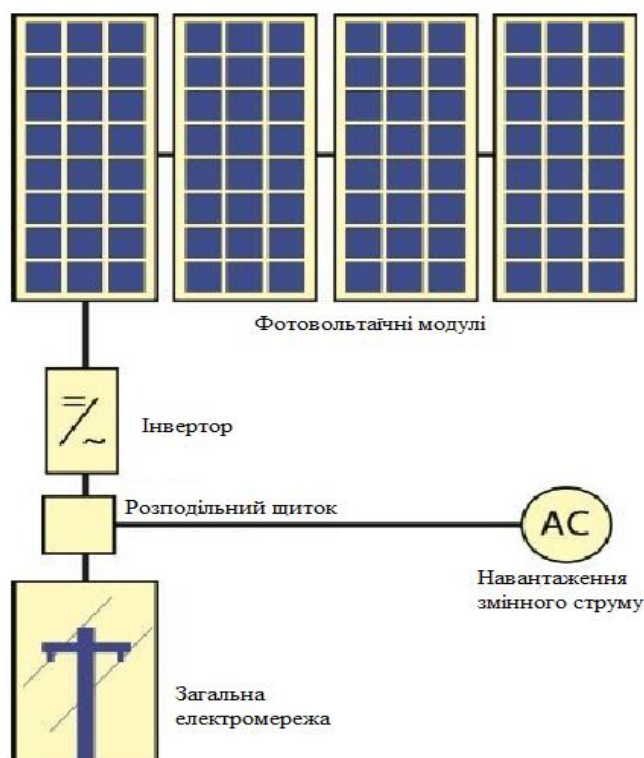


Рис. 2.2 Підключення до електричної мережі через інвертор фотоелектричного модуля.

Гібридні системи електропостачання

Гібридні системи електропостачання поєднують в собі фотоелектричні модулі з додатковим джерелом електропостачання, таким як вітро генератор, газ або дизельне паливо. Гібридні системи генерації, як правило, вимагають більш складного управління та контролю, ніж автономні або підключені до мережі фотоелектричні систем. Наприклад, у випадку сонячної системи та бензинового генератора, двигун повинен бути запущений, коли батарея досягає певного рівня розрядки, і зупинився, коли батарея досягає

відповідного стану зарядки. Резервний генератор може бути використаний для зарядки батареї або для живлення навантаження. Приклад зображення гібридної фотоелектричної системи зображено на рис. 2.3.

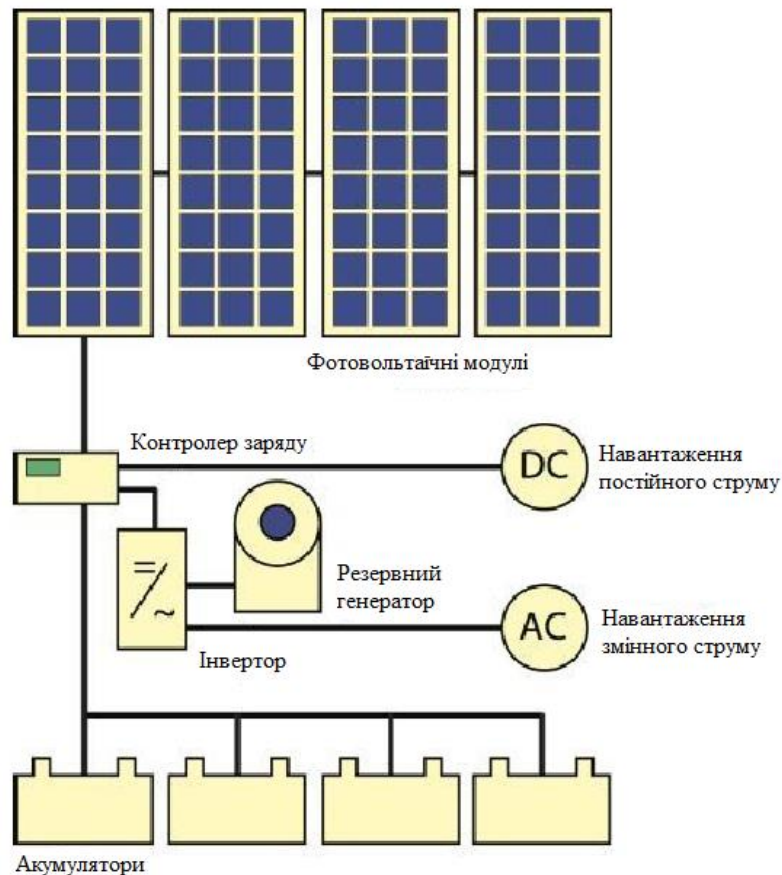


Рис. 2.3 Гібридна фотоелектрична система

Автономні системи електропостачання

Автономні системи електропостачання можуть розраховуватися тільки на сонячну енергію. Ці системи можуть складатися з тільки фотоелектричних модулів і навантаження або до систем додатково монтують акумулятори для зберігання електричної енергії. При цьому для відключення, підключення акумуляторів від фотоелектричних модулів, при повній їх зарядці, або щоб запобігти батареї від розряджання нижче певної межі потрібні контролери.

Для використання в нічний час і в періоди поганої погоди акумулятори повинні мати достатню ємність для зберігання енергії, виробленої протягом дня.

На рис. 2.4 показано приклад зображення простої фотоелектричної системи постійного струму без акумулятора для електропостачання водяного насоса,

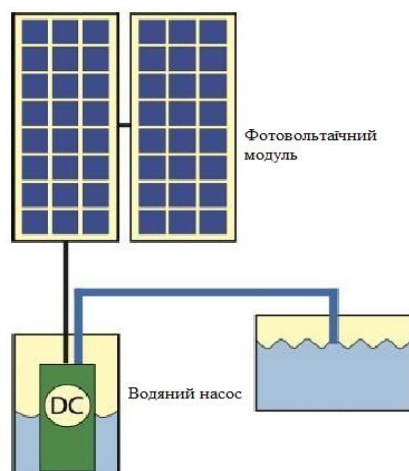


Рис. 2.4 Приклад простої системи постійного струму від сонячних батарей для живлення водяного насоса.

а на рис. 2.5 приклад фотоелектрична система з навантаженням постійного струму і навантаженням змінного струму.

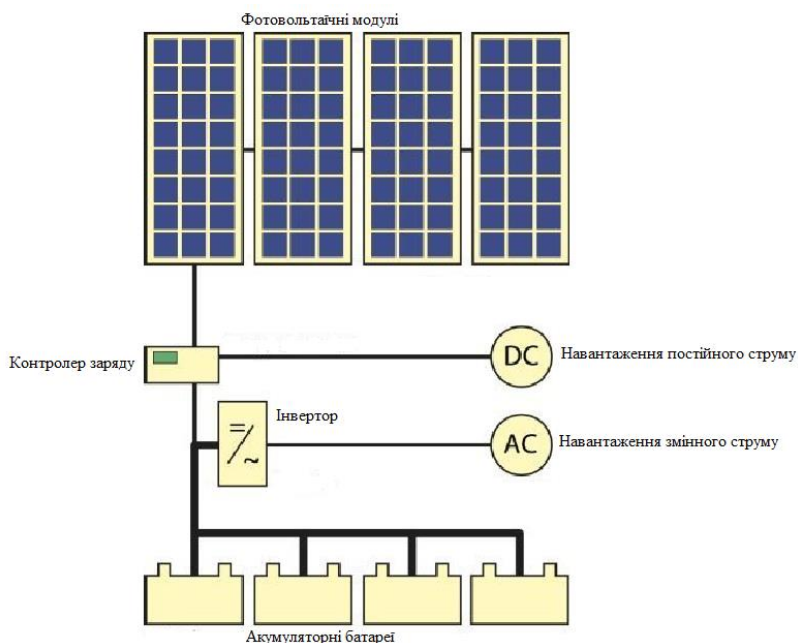


Рис. 2.5 Приклад зображення складної системи сонячних батарей, акумуляторів, провідників струму та навантажень постійного і змінного струму.

Аналіз досліджень показує широкі можливості використання сонячної енергії і перетворення в електричну для електроспоживачів промислових підприємств, фермерських господарств, приватних будинків та продажу по «зеленому тарифу».

2.1 Дослідження енергетичних можливостей ФЕП

Енергетичні можливості фотовольтаїчних елементних панелей залежить від ефективної робочої площі. Вихідна потужність модуля ФЕП пропорційна прийнятій інтенсивності оптичної потужності сонця I_{opt} тобто $I_{opt} = P_{opt}/S$, Вт/м^2), ефективній площі S_{ef} , коефіцієнта поглинання k , величині коефіцієнта корисної дії перетворення η і косинусу кута падіння α , що можна виразити формулою

$$P_{FEP} = I_{FEP} \cdot U_{FEP} = \eta \cdot K_t \cdot k \cdot I_{opt} \cdot S_{ef} \cdot \cos \alpha, \quad (2.1)$$

де I_{FEP} - робочий струм фотоелектричного модуля;

U_{FEP} - напруга фотоелектричного модуля;

η - коефіцієнт корисної дії перетворення;

K_t - температурний коефіцієнт, $K_t = 0,5 - 0,7$.

k - коефіцієнт поглинання, $k = 0,8 - 0,98$;

I_{opt} - інтенсивність оптичного випромінювання;

S_{ef} - ефективна площа поверхні модуля;

$\cos \alpha$ - кут падіння світлових променів, $0 - 90^\circ$.

Ефективність перетворення збільшується коли кут падіння випромінювання на активну поверхню α , буде максимально наближатися до 90° .

Кут падіння променів повинен відповідати умові максимального перетворення при $\cos 90^\circ = 1$. При цьому формула (2.1) матиме вигляд:

$$P_{FEP} = \eta \cdot K_t \cdot k \cdot I_{opt} \cdot S_{ef} \quad (2.2)$$

Через особливості побудови фотоелектричних перетворювачів виникає проблема, яка заключається в тому, що із підвищенням температури панелі знижується її к.к.д., тому при розрахунках вихідної потужності на протязі року необхідно враховувати коефіцієнти: 0,6-0,7 для зимового періоду і 0,4-0,5 для літнього.

При експлуатації сонячних панелей відбувається їх часткове затемнення, що приводить до зменшення вихідної напруги, що в значній мірі погіршує ефективність перетворення сонячної енергії в електричну, к.к.д. яких можна визначити за формулою

$$\eta = \frac{P_{elect}}{P_{optic}} \times \gamma \times 100\% \approx \frac{I_r \times U_r}{\Phi \times S \times \sin \varphi} \times \gamma \times 100\% \quad (2.3)$$

Такий розрахунок дає можливість оцінити ефективність та доцільність використання сонячних панелей.

2.2 Дослідження та аналіз впливу умов навколишнього середовища і метеорологічних показників на роботу фотоелектричних панелей

Дослідження та аналіз показали, що потенціал сонячної енергії на Поліссі може бути використаний в значній мірі як відновлювальний потенціал енергії. Але аналіз досліджень показує, що крім інтенсивності сонячного випромінювання на продуктивність ФЕП діє ряд факторів, які пов'язані з її розташуванням: кута нахилу, затінення, орієнтація на сторони світу [5].

Для проектування сонячної електростанції важливо знати положення та рух Сонця впродовж доби, місяця та пори року. Положення сонця може бути охарактеризоване двома кутами, які проілюстровані на рис. 2.6.

Можна також використовувати Декартові координати, які тут позначено ξ (ксі), υ (іпсилон) і ζ (дзета) на рис. 2.6 [6].

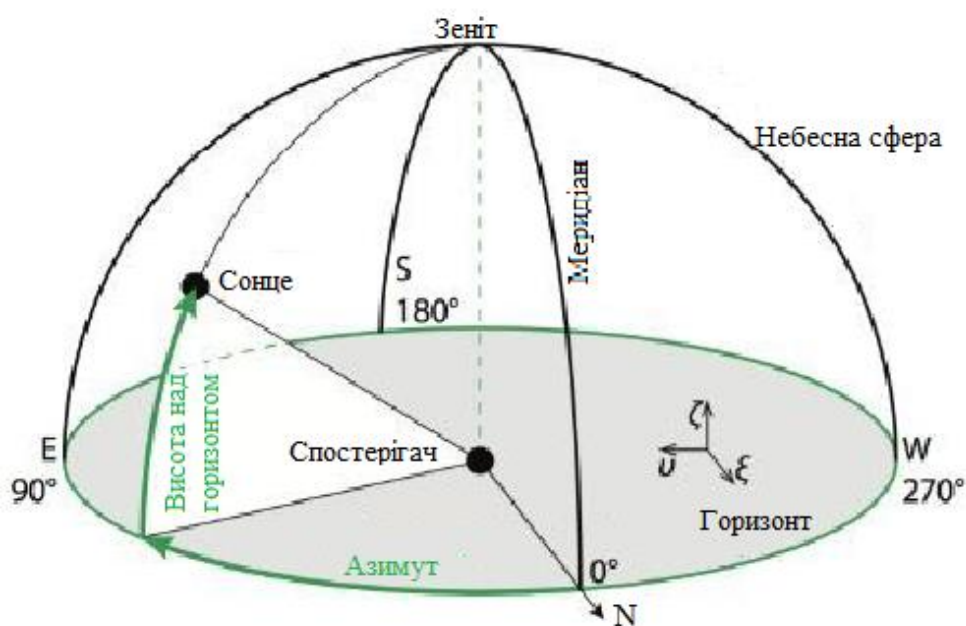


Рис. 2.6 – Кут висоти сонця над горизонтом та азимуту відносно спостерігача.

Проведемо дослідження потужності орієнтованої на південь панелей в середині доби при різних кутах нахилу. Будуємо графік залежності потужності панелей від кута нахилу рис. 2.7.

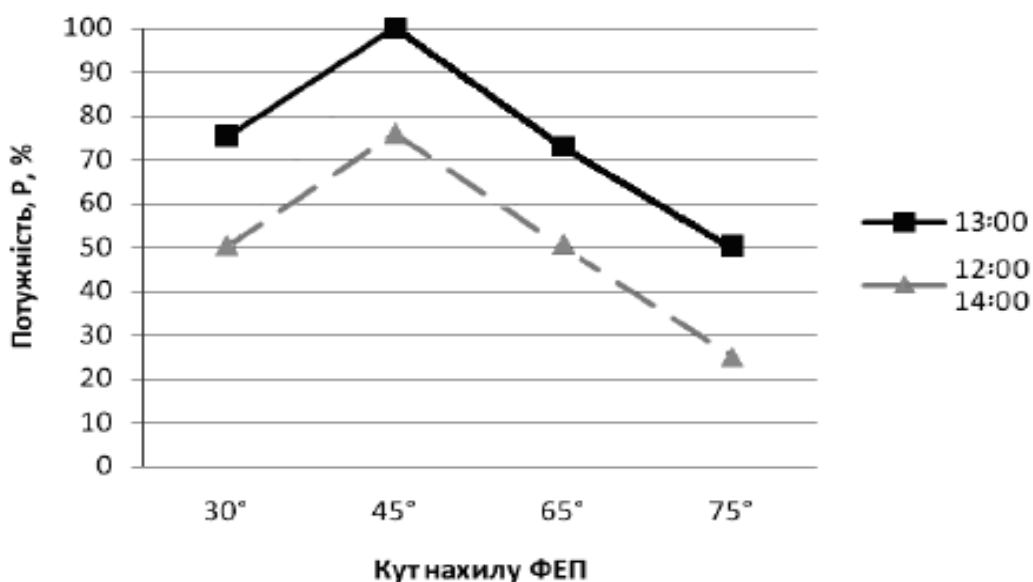


Рис. 2.7– Залежність потужності ФЕП від кута нахилу [28]

На рис. 2.7 наведено результати досліджень, оцінки потужності орієнтованої на південь панелей в середині доби при різних кутах нахилу.

Аналіз досліджень впливу затінення на роботу фотоелектричних панелей.

Будуємо графіки зміни потужності фотоелектричних панелей при різних варіантах затінення.

На рис. 2.8 представлені результати зміни потужності панелей при різних варіантах затінення. На рис. 2.8 *а* затінення панелей відбувалося поступово зверху-вниз, а рис. 1.8 *б* – в напрямку знизу до верху.

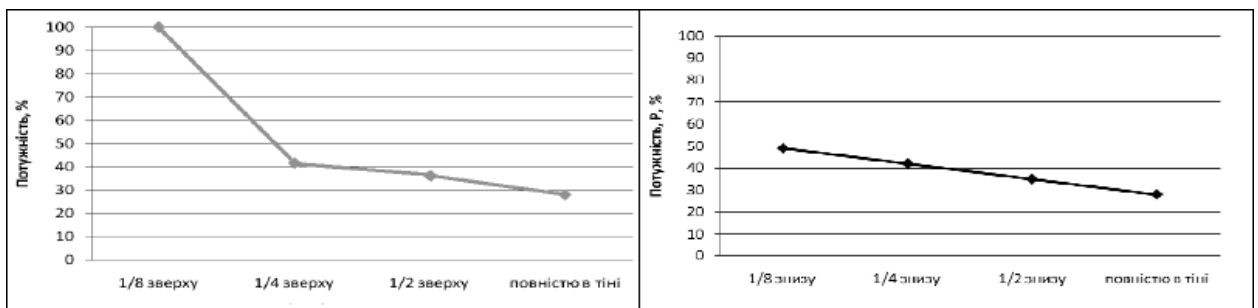


Рис. Д 2.8 – Залежність потужності панелей від ступеня затінення:
а – зверху; б – знизу.

Як видно, завдяки підключенню до затінених панелей діодів не зменшує потужності на виході.

Досліджень та аналіз впливу температури на роботу фото панелей

Дослідження показали, що зміна температури навколишнього середовища негативним чином позначається на роботі сонячних електростанцій. Тести, при яких встановлюється потужність фото панелі, проводять за температури 20°C. При підвищенні температури вище цієї позначки встановлена потужність фото панелі знижується, в результаті цього знижується і генерація.

На основі досліджень розробляємо графік залежності роботи фото панелей від температури, який представлено на рис. 2.9.

На графіку показано залежність роботи фото панелей від підвищення температури.

З графіка можна зробити висновок, що при збільшенні температури фото панелей з 10 до 50 °C напруга зменшується з 19 до 12 В, а ККД падає з 13 до 5%. При цьому різниця температури повітря і фото панелей становить від 10 до 30°C. За результатами даного експерименту можна зробити висновок, що температурний коефіцієнт напруги холостого ходу $\Delta U_x/T = -0,2\text{В}/^\circ\text{C}$; температурний коефіцієнт ККД $\Delta\eta/T = -0,22\%/^\circ\text{C}$.

Робоча температура фото панелі буде залежати від температури повітря і швидкості вітру, що сприяє інтенсивності теплообміну [7].

2.3 Дослідження та аналіз використання трекерних систем для регулювання кута повороту сонячних панелей

Для покращення ефективності використання сонячних батарей однією з умов є адаптація їх кута повороту відносно положення сонця, тобто сонячні промені для найкращої ефективності повинні бути перпендикулярно бути спрямовані на фотоелементи батарей.

. Для проведення досліджень будемо використовувати трекерну систему, яка зображена на фото 2.10 в якій для зміни кута повороту панелей вертикально використовуємо кроковий двигун, на який подаються керуючі сигнали з мікроконтролера, а для зміни кута повороту системи панелей відносно горизонтальної осі використаємо гідропривод.



Фото Д 2.10 Трекерна система, в якій змінюється кути повороту панелей вертикально і системи панелей горизонтально.

Сигнали на мікроконтролер подаються при допомозі фото датчиків. Датчики враховуючи сонячний потік променів подають відповідну інформацію на мікроконтролер, обробивши інформацію мікроконтролер подає команди виконавчим органам установки, які повертають панелі і установлюють в відповідне положення.

2.4 Використання інверторів, акумуляторів, контролерів заряду на сонячних електростанціях

На сонячних електростанціях (СЕС) для перетворення постійного струму в змінний використовують інвертори, які можна розділити на три типи:

Для автономних фотоелектричних систем обов'язково використовуються тільки автономні інвертори.

Інвертори мережеві, що працюють синхронно з централізованою мережею електропостачання і забезпечують регулювання основних параметрів мережі: частота напруги, амплітуда.

Акумуляторні батареї відіграють значну роль в передачі і зберіганні згенерованої електроенергії тому що сонячна батарея генерує максимальну величину електричної енергії вдень для вечірнього і нічного використання.

Передача виробленої електроенергії від фото панелей до акумуляторів використовують різні схеми підключення. Для цього використовують контролери – пристрої які створені на основі мікропроцесорних технологій.

Для запобігання роботи акумуляторів в аварійному режимі обмеження зарядного струму можна вирішити вручну або при допомозі контролерів. Краще використовувати схему з підключенням контролера (рис. 1.17).

2.5. Дослідження пускових струмів в мережах електропостачання

Мережі електропостачання можуть бути підключені до електроспоживачів, які мають великі пускові струми, що в значній мірі будуть негативно впливати на роботу систем СЕС. Так наприклад в

асинхронних трифазних електродвигунах пусковий струм електродвигуна може перевищувати номінальний струм від 3,5 до 7,5 разів.

Для цього маючи технічні характеристики електродвигуна за каталогом визначаємо кратність або відношення пускового струму до номінального.

Пусковий струм двигуна визначається за формулою:

$$I_{II} = I_H \times K, \quad (2.6)$$

де I_H – номінальний струм електродвигуна;

K – кратність або відношення пускового струму до номінального.

Якщо тривалість пускових струмів незначна, пуски обладнання проводяться не часто і встановлена потужність обладнання є не надто високою,

і певна частина згенерованої енергії іде на покриття пускових струмів, для більшості випадків ця частка дуже мала і не перевищує 1% від добової генерації, тоді додатковий розрахунок не проводиться

Але якщо на підприємствах є великі встановлені потужності, проводяться часті тривалі пуски електродвигунів, втрати на пусковий струм необхідно розраховувати додатково, тому що вони можуть бути досить значними у загальному добовому споживанні електроенергії.

На рис. 2.18 представимо графік пускового струму для двигуна з номінальним струмом 5,5 А і пусковим струмом 20,8 А, тобто їх кратність складає 3,8.

Графік на рис. 2.18 можна описати рівнянням:

$$I_{II} = \frac{35t-10}{2t^2} + 5,5, \quad (2.7)$$

де t – час пускового навантаження, мс.

Для розрахунку спожитої електроенергії за рахунок пускового струму на протязі часу t будемо користуватися формулою:

$$P_{СП} = \left(\int_{t_n}^{t_k} \left(\frac{35t-10}{2t^2} + 5,5 \right) dt - I_H \times t \right) \times U \times \cos\varphi \times t, \quad (2.8)$$

де U – напруга електромережі, В;

$\cos\varphi$ – коефіцієнт, що показує величину активної потужності у складі повної потужності.

Для того, щоб знати витрати на пусковий струм за добу такі розрахунки потрібно проводити для кожного пуску електродвигунів за добу. Крім того необхідно враховувати технічні характеристики та особливості роботи кожного електродвигуна: пусковий струм, режими роботи, частоту вмикання та реверсування, умови пуску від цього буде залежати графік пускового струму [11].

Висновки до другого розділу

В другому розділі було проведено дослідження та аналіз технічних характеристик сонячних електростанцій на основі фотоелектричних панелей (ФЕП), які працюють в Житомирській зоні Полісся, їх склад, приклад підключення до електричної мережі, проаналізовано їх енергетичні можливості.

Проведено дослідження та аналіз впливу умов навколишнього середовища і метеорологічних показників на роботу фотоелектричних панелей, показано залежність роботи сонячної електростанції від різних факторів та кліматичних параметрів, описано призначення комплектуючих сонячної електростанції та їх роботу.

Виконано дослідження та розрахунки на випадок наявності в системі електропостачання електроспоживачів у яких є пускові струми.

Проведено дослідження та аналіз ефективності використання статичних та динамічних трекерних систем для регулювання кута повороту

сонячних панелей. Розроблені рекомендації по підвищенню ефективності роботи сонячної електростанції.

Приведено розрахунки, які демонструють різницю між встановленою потужністю та фактичною генерацією.

Величина відмінності, що вказана в результатах приведенного дослідження, характерна для кліматичних умов зони Полісся.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ

3.1 Математична модель фотоелектричного модуля

Для роботи сонячних електричних станцій монтують сонячні модулі (СМ). До складу модулів входять сонячні батареї (СБ), які складаються з окремих сонячних фотоелектричних елементів (СЕ). Монтаж сонячних фотоелектричних елементів виконується їх з'єднанням в певному порядку з метою отримання необхідних вихідних значень напруги і струму.

Сонячні фотоелектричні елементи можна представити як функціональний блок, який має зовнішні, внутрішні та вихідні параметри і представлений на (рис. 3.1). Як видно на рисунку що до параметрів зовні відносять температуру СЕ (T) і освітленість СЕ (G), а до внутрішніх параметрів сонячних фотоелектричних елементів відносять електричні параметри: напруга холостого ходу (U_{xx}) і струм короткого замикання ($I_{kз}$). Вихідними параметрами являються: вихідна напруга (U), струм навантаження (I) і вихідна потужність (P).

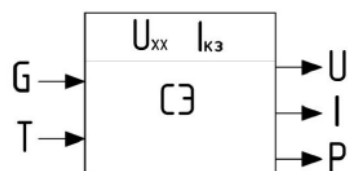


Рисунок 3.1 Сонячний фотоелектричний елемент у вигляді функціонального блоку

Основною характеристикою сонячного фотоелектричного елемента (модуля) є вольт - амперні характеристики (ВАХ) – залежність між струмом навантаження та напругою на клеммах фотоелектричної панелі при незмінних значеннях інтенсивності сонячного випромінювання та температури.

У визначенні ВАХ фотоелектричної панелі пріоритетним напрямком являється температура та інтенсивність сонячного випромінювання.

На рис. 3.2 представлена принципова схема зняття вольт - амперних характеристик.

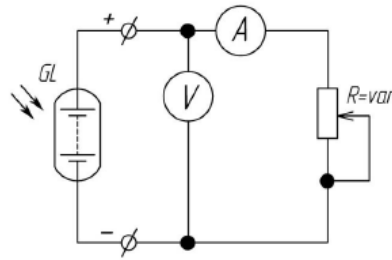


Рисунок 3.2 – Принципова схема зняття ВАХ фотоелектричної панелі.

Напруга холостого ходу ($U_{хх}$) – напруга, при якій сила струму $=0$.

В іншому випадку, коли напруга $= 0$, то сила струму прагне до безкінечності, то це є струм короткого замикання ($I_{кз}$). Це крайні точки ВАХ, в яких потужність фотоелектричної панелі дорівнює нулю. Максимальні значення струму і напруги (I_{max} , U_{max}) при сталих величинах температури і освітленості визначають (ТМП) тобто точку максимальної потужності

На рис. 3.3 показані типові ВАХ і ВВХ фотоелектричних перетворювачів.

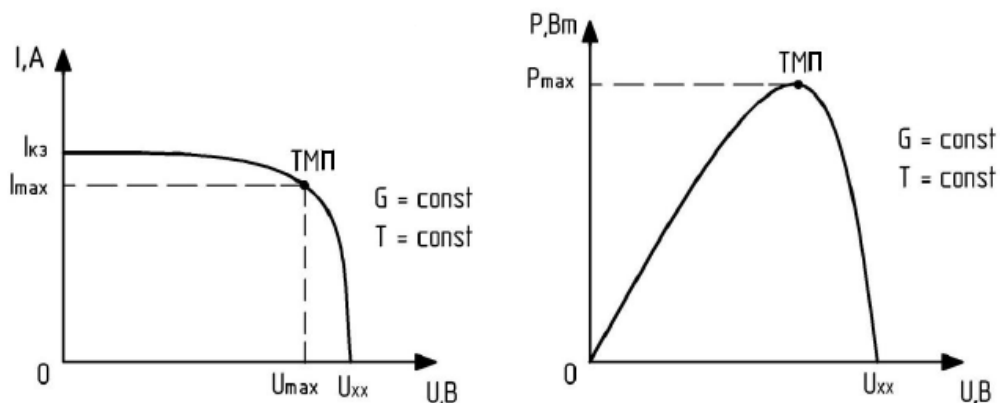


Рисунок 3.3 – Типові ВАХ і ВВХ фотоелектричної панелі

Максимальна потужність фотоелектричної панелі – потужність ТМП на вольт – амперній характеристиці, де значення добутку струму на напругу максимальне.

Дослідження показують, що інтенсивність сонячного випромінювання створює вплив на величину вихідного струму, а температура – на вихідну напругу сонячного фотоелемента. При зменшенні сили сонячного потоку в 2

рази сила струму короткого замикання СЕ зменшується в 2 рази, а напруга холостого ходу змінюється мало. Відомо, що існує температурний коефіцієнт, який враховує різницю температур і складає порядку декількох міліампер на один °С.

Математичну модель фотоелектричного елемента будемо будувати на основі класичної еквівалентної схеми заміщення з зосередженими параметрами згідно рис. 3.4. Така еквівалентна схема включає в себе генератор фотоструму, діод, шунтуючий ($R_{Ш}$) і послідовний ($R_{П}$) опори.

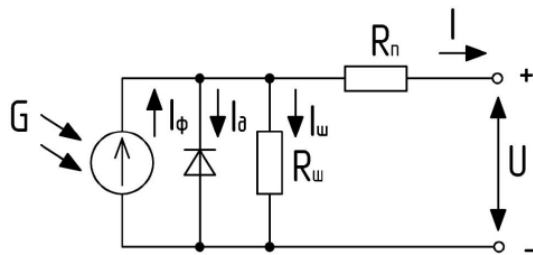


Рисунок 3.4 – Класична еквівалентна схема заміщення сонячного фотоелектричного елемента (СЕ)

Згідно з еквівалентною схемою заміщення, яка представлена на рис. 3.3 можна записати:

$$I = I_{\Phi} + I_{Д} + I_{Ш} \quad (3.1)$$

де I – струм навантаження;

I_{Φ} – фотострум;

$I_{Д}$ – струм, що протікає через діод;

$I_{Ш}$ – струм, що протікає через шунтуючий опір .

Виражаємо величину струмів через фізичні параметри фотоелектричної панелі, отримаємо аналітичний вираз вольт – амперної характеристики у вигляді формули

$$I = I_{\Phi} - I_3 \left[\exp \left(\frac{q(U + IR_{П})}{AkT} \right) - 1 \right] - \frac{U + IR_{П}}{R_{Ш}}, \quad (3.2)$$

де I_3 – зворотний струм насичення;

U – вихідна напруга;

$R_{ш}$ – шунтуючий опір фотоелектричної панелі;

$R_{п}$ – послідовний опір фотоелектричної панелі;

q – заряд електрона;

k – постійна Больцмана;

A – параметр його вольт – амперної характ фотоелектричної панелі,
що називається діодним фактором;

T – абсолютна температура сонячного фотоелектричного елемента K .

В зв'язку з тим, що ККД сонячного фотоелектричного елемента залежить від форми його вольт – амперної характеристики (рис. 3.3), його параметри, що входять в формулу (3.2), визначають ефективність сонячного фотоелектричного елемента. Формула (3.2) являє собою п'ятипараметричну модель вольт – амперної характеристики фотоелектричних панелей, що представляє особливий інтерес лише для розробників сонячних елементів і модулів.

3.2 Дослідження та аналіз ефективності фотоелектричного перетворення

Дослідження показують, що ефективність фотоелектричного перетворення визначається світловою вольт-амперною характеристикою сонячних фотоелектричних елементів, форма характеристики залежить від ряду параметрів: послідовного і паралельного (шунтуючого) опору сонячних фотоелектричних елементів, щільності струму насичення діода, діодного коефіцієнта і деяких інших параметрів.

Потужність, що виробляється сонячним елементом визначаємо за формулою

$$P = I \times U \quad (3.3)$$

Тільки при умові, що відомі значення внутрішніх опорів фотоелементів може бути отримана задовільна точність моделі

Однак часто, при моделюванні спостерігаються систематичні відхилення теоретичної кривої вольт-амперної характеристики від

експериментальних, які являються наслідком змінних величин градієнтів напруги і густини струмів .

Розглянемо модель, що часто використовується при аналізі сонячних елементів, модулів і батарей, але характеристики, які отримані на основі цієї моделі, мають невеликі, інколи небажані відхилення від характеристики реального сонячного елемента або модулів.

Дослідження показали, що однією з причин відхилень являється складність точного вимірювання послідовного опору елемента R_{Π} . Необхідно звернути увагу на те, що з додаткових параметрів, які входять у (3.2), відчутний вплив на форму вольт – амперної характеристики сонячного фотоелектричного елемента робить $R_{\text{ш}}$. При цьому шунтуючий опір приймають великим, а послідовний опір – відносно малим.

Моделювання характеристик фотоелектричних панелей використовується при вирішенні таких основних завдань, як:

- оптимізація схеми підключення фотоелектричних панелей;
- визначення оптимальної робочої точки при мінімальних температурі і освітленості;
- оцінка схемних втрат;
- визначення впливу часткового затінення на вихідні характеристики фотоелектричних панелей і зміни потужності;
- розрахунок і моделювання фотоелектричних систем електропостачання при проектуванні;
- дослідження, аналіз та прогнозування роботи сонячної фотоелектричної станції.

При моделюванні ВАХ і ВВХ потрібно знати основні параметри сонячного фотоелектричного модуля: напруга холостого ходу ($U_{\text{хх}}$) і струм короткого замикання ($I_{\text{кз}}$). Такі параметри вказуються в паспорті на сонячну панель або модуль.

З досліджень можна зробити висновок, що особливий вплив на характеристики панелей мають: послідовний опір R_{Π} , температура T і

діодний параметр A . Спостерігаються слідуючі закономірності: чим менше величина $R_{\text{П}}$, тим більше потужність, вироблювана СЕ, а отже і ККД, зі збільшенням температури T зменшується величина $U_{\text{хх}}$, при цьому $I_{\text{кз}}$ практично не змінює свого значення.

3.2.2 Побудова імітаційної моделі сонячного фотоелектричного модуля в програмному середовищі Matlab/Simulink.

На рисунку Д 3.5. представлена розроблена Simulink-модель, яка дозволяє реєструвати основні характеристики сонячного фотоелектричного модуля.

Побудована модель включає в себе слідуючі підсистеми і блоки. Блок «Irradiance» (Constant) задає значення інтенсивності сонячного випромінювання G , Вт/м². Задаючий блок пов'язаний з входним портом підсистеми сонячного модуля. Підсистема «PLM-200M» реалізує собою власне сонячний модуль.

На рис. 3.6. представлена розгорнута структура сонячної електростанції

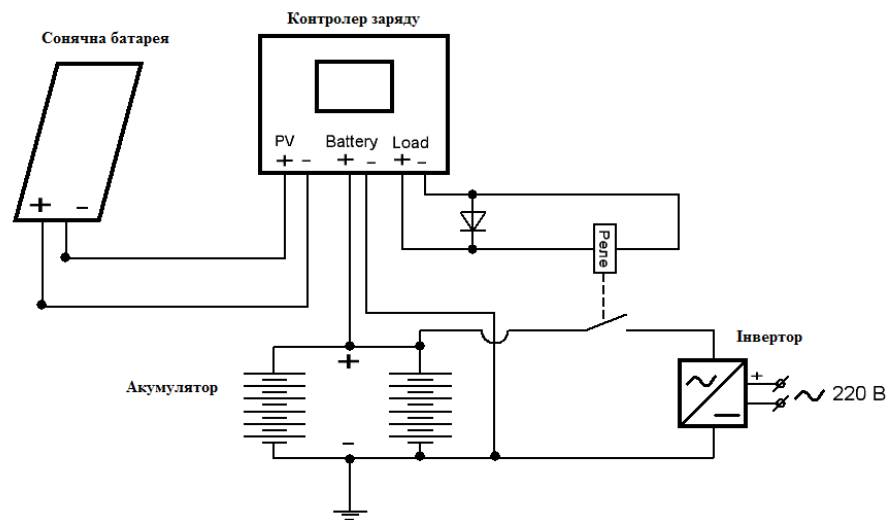


Рисунок. 3.6 – Монтажна схема сонячної електростанції

Підсистема містить наступні блоки: «Simulink-PS Converter», «PS-Simulink Converter» – перетворювачі сигналів; «Voltage Sensor», «Current

Sensor» – вимірювачі напруги і струму; «Solver Configuration» – блок конфігурації; «Product» – блок множення.

В Simulink побудуємо підсистему сонячного модуля з вихідними даними що будуть аналогічні характеристикам дійсного сонячного модуля PLM-200M (Perlight Solar) при освітленості 1000 Вт/м^2 : $P=200 \text{ Вт}$; $U=37,8 \text{ В}$; $I=5,3$; $U_{\text{хх}}=45,5$; $I_{\text{кз}}=5,6 \text{ А}$.

Вибираємо з бібліотеки Simscapе програми універсальний блок «Solar Cell» («Сонячний елемент»). Налаштування блоку проводиться у вікні параметрів, представленому на рис. Д 3.7. Даний елемент описується математичним виразом, показаним у верхній частині вікна параметрів. Значення температурних параметрів виставляються в наступній вкладці (рис. Д 3.8). Блоки сонячних елементів з'єднуються послідовно і об'єднуються в підсистеми (рис. Д 3.9).

Структура підсистеми регульованого опору R_{var} включає в себе блок «Ramp», який формує лінійний сигнал і перетворювальний блок «Simulink-PS Converter».

Блоки «PV», «IV» (XY Graph) відображають результати моделювання які виконують побудову графіків значень одного сигналу у функції іншої.

Під час моделювання приймалися слідуючі допущення: ВАХ і ВВХ моделювалися без урахування часткового затінення поверхні фотоелектричних панелей і без можливого її пошкодження. Такі припущення дають можливість використати класичні аналітичні вирази для моделювання характеристик фотоелектричних панелей. Прийmemo температуру сонячних елементів рівною 25°C (рис. Д 3.18). Точність моделювання залежить від можливих технологічних розкидів для кожного елемента окремо і модуля в цілому.

На рис. 3.10 представлені результати моделювання із позначенням значень точок максимальної потужності (ТМП). Криві ВАХ і ВВХ отримані при слідуючих величинах освітленості: 200; 400; 600; 800; 1000 Вт/м^2 .

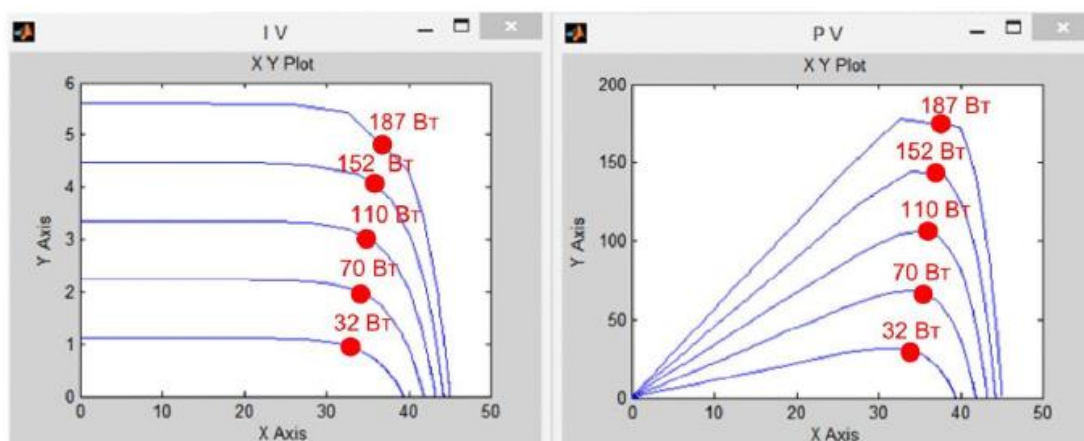


Рис. 3.10 – Результати моделювання ВАХ і ВВХ сонячного модуля

На рис. 3.11 показано сімейство вольт-амперних характеристик монокристалічного сонячного модуля PLM-200M (Perlight Solar) при температурі 25°C різних освітленостях (200; 400; 600; 800; 1000 Вт/м²)

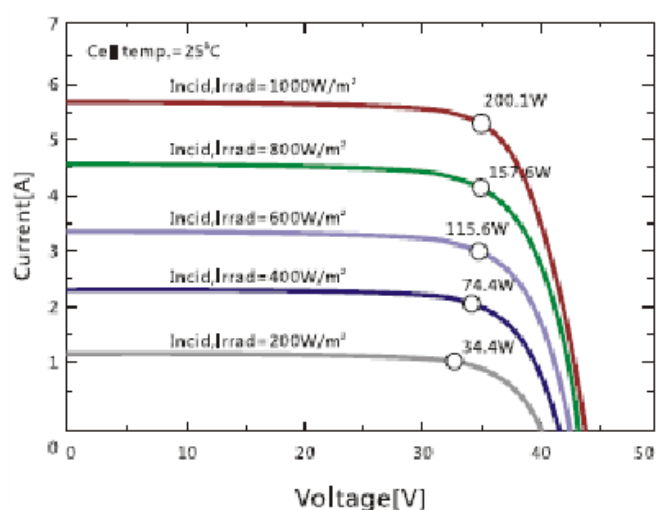


Рисунок 3.11 – Сімейство вольт-амперних характеристик монокристалічного сонячного модуля PLM-200M (Perlight Solar)

Проведемо дослідження і аналіз схожості характеристик сонячного модуля, за паспортом виробника і характеристик, які отримані при моделюванні в Matlab/Simulink. Для цього складемо таблицю порівняння реальних значень потужності модуля в точках максимальної потужності зі значеннями, отриманими в результаті імітаційного моделювання (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Порівняння реальних значень ТМП з результатами моделювання.

№ ТМП	Технічні характеристики, Вт	Результати моделювання, Вт	Відмінність значень, %
1	200,1	187	6,5
2	157,6	152	3,2
3	115,6	110	5
4	74,4	70	7
5	34,4	32	7

Отримана імітаційна модель, що дозволяє відображати сімейство ВАХ і ВВХ сонячних панелей модулів відповідно величини температури і сонячного випромінювання. Розбіжність результатів моделювання з паспортними характеристиками не перевищує 7%, це є допустимим при розрахунках, що підтверджує відповідність запропонованої імітаційної моделі.

Висновки до третього розділу

Продемонстровано математичну модель роботи сонячної батареї. Приведена модель описує реальний сонячний модуль лише з певним ступенем відповідності.

Слід відмітити похибки отриманих результатів при моделюванні вольт-амперних характеристик від дослідних. головною причиною похибок є важкість точного виміру послідовного та шунтуючого опору сонячних елементів. Виявлено відповідність характеристик сонячного модуля, паспортними даними і характеристиками, які були отримані при моделюванні в середовищі Matlab/Simulink.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі приведені дослідження та аналіз можливостей підвищення ефективності використання сонячної енергії в зоні Полісся. Описано стан розвитку сонячної енергетики у світі, Україні та в зоні Полісся на конкретних проектах сонячних електростанцій.

Надано інформацію про вплив різних факторів навколишнього середовища на роботу та ефективність генерації фотоелектричних панелей, на основі впливу цих факторів та статистичних даних генерації сонячних електростанцій приведено методика для вибору встановленої потужності під час проектування сонячних електростанцій для кліматичних умов в зоні Житомирського Полісся.

Метою роботи являється дослідження можливостей підвищення ефективності використання сонячної енергії за рахунок фотоелектричних панелей.

В роботі проведено дослідження та аналіз впливу умов навколишнього середовища затінення, температури, ефективності використання статичних та трекерних систем на регулювання кута повороту сонячних панелей на генерацію фото панелей на сонячних електростанціях.

Дослідження та аналіз показали, що потенціал сонячної енергії в зоні Поліссі дозволяє розраховувати на високу ефективність використання фотоелектричних панелей для вироблення електроенергії, але з урахуванням негативних факторів - впливу умов навколишнього середовища і метеорологічних показників, які впливають на генерацію сонячних панелей.

Для удосконалення проектів сонячних електростанцій запропонований практичний досвід та сучасні підходи збільшення ефективності використання сонячної енергії.

Крім того в опублікованих тезах відмічаються результати наших досліджень, аналізу ефективності впровадження альтернативних джерел

енергії в технологічних процесах, в сільському господарстві та побуті які являється актуальними.

Дослідження проводилися на основі характеристик показників швидкості вітру, сонячних днів, температури, повітря, ґрунту.

В результаті досліджень виявлено, що час і швидкості вітру а також днів з відповідною сонячною активністю в зоні Полісся не задовольняють вимоги вітрогенеруючих установок і роботи сонячних батарей і не забезпечать електричною електроспоживачі.

Доцільно впроваджувати модернізацію альтернативних джерел енергії та енергозберігаючих технологій створювати та застосовувати гібридні та комбіновані установки. Приклади наводяться в додатку 4.

ЛІТЕРАТУРА

1. [Пресслужба ПрАТ "НЕК "Укренерго". 2020 р.](#)
2. Житомирська ОДА. 2020 р.
3. [Житомир.info](#). 2020 р.
4. Положение солнца на заданную дату [Електронний ресурс]: <http://planetcalc.ru/4270/>
5. Забруднення спричинене шкідливими викидами у сфері виробництва електроенергії [Електронний ресурс]: <https://www.epa.gov/cleanpowerplan/learn-about-carbon-pollution-power-plants>
6. Вплив кліматичних змін на погоду [Електронний ресурс]: <https://www.wwf.org.uk/updates/effects-climate-change>
7. Розподіл енергетичного ринку на частку відновлювальної енергетики та частку традиційної енергетики [Електронний ресурс]: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=427&t=3>
8. Доповідь про прискорення росту частки сонячної енергетики на енергетичному ринку за останні роки [Електронний ресурс]: <http://www.thesolarfoundation.org/press-release-census-2015/>
9. Розробки нових акумуляторних батарей з великою ємністю [Електронний ресурс]: <https://cleantechnica.com/2016/02/26/new-energy-storage-solution-could-hit-magic-54-mark/>
10. Принцип дії фотоелектричних елементів [Електронний ресурс]: <http://www.electrical4u.com/working-principle-of-photovoltaic-cell-or-solar-cell/>
11. Контролери заряду для сонячних батарей [Електронний ресурс]: <http://elektrik.info/main/energy/867-kontrollery-dlya-solnechnyh-batarey.html>
12. Міжнародні тести сонячних батарей STC і PTC [Електронний ресурс]: <https://kworum.com.ua/mizhnarodni-testi-sonjachnih-batarej-stci-ptc>
13. Вибір кабеля для сонячних панелей [Електронний ресурс]: <http://www.solar-battery.com.ua/vyibor-secheniya-kabelya-dlya-solnechnyih-paneley/>

14. «Зелений» тариф може стати хорошим джерелом прибутку [Електронний ресурс]: <http://ecotechnica.com.ua/energy/163-zelenyj-tarif-mozhet-stat-dlya-ukraintsev-khoroshim-istochnikom-dokhoda.html>
15. Переверзев И.А. Характеристика основных объектов электропотребления в сельскохозяйственном производстве / И.А. Переверзев, Г.А. Султанов // Новые технологии – 2013. – №3. – С. 66-72.
16. Сонячні трекерні системи [Електронний ресурс]: <http://greenchip.com.ua/26-0-0-0.html>
17. Схема сонячного трекера [Електронний ресурс]: http://mecasolar.com/bin/dimensiones_2_eje.php?lengua=ingl&bandera=eeuu
29. Структурна схема електропостачання характерна для європейських країн [Електронний ресурс]: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1>
18. Вибір лічильника для зеленого тарифу [Електронний ресурс]: <http://provinciyka.rv.ua/19500-vybor-schetchika-dlya-zelenogo-tarifa.html>
19. Захист силових фотоелектричних систем від імпульсних перенапруг [Електронний ресурс]: <http://www.saek.com.ua/index.php?page=zashitasolnechnihbatarey>
20. Моделі лічильників для сонячних батарей [Електронний ресурс]: <http://www.watrouter.ru/info/power-meters-for-pv.html>
21. Електролічильники - лічильники електроенергії, прилади обліку [Електронний ресурс]: <http://specpromsfera.ru/elektroschetchiki---schetchiki-elek>
22. Зеркалов, Д. В. Энергозбереження в Україні: монографія / Д. В. Зеркалов.– Київ : Основа, 2012. – 582 с.
23. Величко С. А. Энергетика навколишнього середовища України. Харківський нац. унів. 2003. С-53.