

*О. А. ЗАГАЙНОВА, Г. М. СЕРДЮКОВА***СОЛЯЧНА ON-GRID ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ ТА ЇЇ ПРИЄДНАННЯ ДО ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ**

Розглянуто мережева сонячна електростанція та її приєднання до електричної мережі. Дана система автономного альтернативного електропостачання відноситься до мережевого типу. Основна спрямованість системи – це видача генерованої електричної потужності в мережу споживача і передача надлишку в міську мережу згідно «Зеленого тарифу». Очікувана електрична потужність сонячної електростанції – 860 кВт. Система являє собою розгалужену збірку, яка складається з наступних елементів: сонячних батарей; мережевих інверторів; систем моніторингу параметрів режиму мережевої сонячної електростанції; лічильників для обліку електроенергії; лінії електропередачі. Визначено необхідна кількість сонячних панелей для покриття потужності споживачів. Розподіл енергії, що генерується сонячними панелями, між фазами рівномірний. Розміщення сонячних панелей передбачено на спеціальних металевих наземних конструкціях. Для підключення панелей до трифазної мережі змінного струму вибрано інвертори. На даній електричній станції встановлено трифазні інвертори. Інвертор оснащений додатковими захисними пристроями, щоб гарантувати безпечну роботу в будь-яких обставинах. Для захисту обладнання від коротких замикань і перенапруги в інверторах встановлені плавкі запобіжники. Інвертори встановлюються на металевих конструкціях, які розміщуються під столами з сонячними панелями. Вся проводка постійного струму виконана спеціалізованим сонячним одножильним кабелем з подвійною полівінілхлоридною ізоляцією, що не поширює горіння. Перетин кабелів вибрано по допустимим струмовим навантаженням і перевірено на втрати напруги. Кабелі прокладаються у металевих лотках та відкрито по конструкціях. Підключення сонячної електростанції до мережі 10 кВ передбачене за допомогою комплектно трансформаторної підстанції зовнішньої установки.

Ключові слова: сонячна електростанція, сонячні панелі, інвертор, електрична мережа, струм, напруга.

*О. А. ZAGAYNOVA, G. M. SERDYUKOVA***SOLAR ON-GRID POWER PLANT AND ITS CONNECTION TO THE ELECTRIC NETWORK**

The network solar power plant and its connection to the electric network are considered. This system of autonomous alternative power supply belongs to the network type. The main focus of the system is the supply of generated electric power to the consumer's network and the transfer of the surplus to the city network according to the "Green Tariff". The expected electrical capacity of the solar power plant is 860 kW. The system is a multi-branched star consisting of the following elements: solar batteries; network inverters; systems for monitoring network solar power plant mode parameters; electricity meters; power lines. The necessary number of solar panels to cover the power of consumers has been determined. The distribution of energy generated by solar panels is uniform between phases. Solar panels are placed on special metal ground structures. Inverters are selected to connect the panels to the three-phase alternating current network. Three-phase inverters are installed at this electrical station. The inverter is equipped with additional protective devices to guarantee safe operation in any conditions. Fuses are installed in the inverters to protect the equipment from short circuit and overvoltage. Inverters are installed on metal structures that are placed under tables with solar panels. All direct current wiring is made of specialized solar single-core cable with double polyvinyl chloride non-flammable insulation. The cross-section of the cables is selected according to the permissible current loads and checked for voltage losses. Cables are laid in metal trays and open on structures. The connection of the solar power plant to the 10 kV network is transferred using a complete transformer substation of the external installation.

Keywords: solar power plant, solar panels, inverter, electrical network, current, voltage.

Вступ. Сонячна енергія, яка потрапляє на поверхню нашої планети, має колосальну потужність. В даний час виробництво електроенергії за допомогою сонячної енергії використовується майже в усьому світі із постійним збільшенням застосування сонячних батарей. Сонячного випромінювання в Україні достатнє щодо розвитку вітчизняної сонячної енергетики на всій території країни [1, 2]. Метод прямого сонячного перетворення випромінювання в електричну енергію є, по-перше, найбільш зручним для споживача, тому що відразу утворюється вживаний вид електроенергії, і, по-друге, такий метод вважається екологічно чистим засобом виробництва електроенергії [3–6].

Для України розвиток інноваційної науково-технічної бази сонячної енергетики з метою поступової заміни традиційних методів отримання енергії в межах доцільної реалізації потенціалу сонячної енергії є важливим завданням [7, 8].

Аналіз стану питання. Світові тенденції розвитку електроенергетики, які передбачують перехід до децентралізованих систем електропостачання, тягнуть за собою підвищення кількості джерел розподіленої генерації – енергетичних установок

невеликої потужності. Впровадження подібних джерел енергії у електричні мережі, зокрема побудованих на основі використання відновлюваних джерел енергії, крім зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та вирішення проблем пов'язаних з викидами і відходами при виробництві електроенергії, також дозволить підвищити ефективність використання первинних ресурсів, розвантажити як системоутворюючі, так і розподільні мережі та стимулювати процес модернізації об'єктів електроенергетики і тим самим, підвищити надійність електропостачання [8].

Мережеві сонячні електростанції (on-grid PV power plants, CEC) – це один з найбільш поширених типів фотоелектричних систем, призначений для генерації електроенергії з подальшою її передачею в зовнішню мережу. Найчастіше електрична енергія, вироблена мережевий сонячною електростанцією, продається сторонньому покупцеві, наприклад, по «зеленому» тарифу [9, 10], за ринковою ціною або ціною, встановленою в ході спеціального «зеленого» аукціону.

Мережеві сонячні електростанції по своїй конструкції поділяються на наземні, дахові, фасадні. У

© О. А. Загайнова, Г. М. Сердюкова, 2023

них може застосовуватися як фіксоване розміщення сонячних батарей, так і використовуються рухомі опорні конструкції, які дозволяють орієнтувати поверхню сонячних панелей в найбільш оптимальному напрямку по відношенню до сонця [11].

Мережеві сонячні електростанції можна також розділити на великі промислові (середньої потужності до 1 МВт і більш потужні – від 1 МВт) та менш потужні приватні (зазвичай їх потужність не перевищує декількох десятків кіловат). Мережеві електростанції (рис. 1) зазвичай складаються з сонячних панелей, а також мережевого інвертора, який підключений до електричних мереж. Вся вироблена електроенергія в першу чергу йде на потреби об'єкта, а надлишки йдуть напругу до мережі. За кожний відданий у мережу кВт електроенергії власник буде отримувати гроші, згідно із «зеленим тарифом».

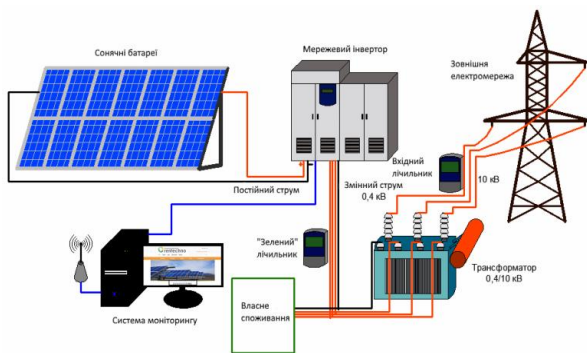


Рисунок 1 – Типова схема мережевої сонячної електростанції [10]

Основні переваги мережевих сонячних електростанцій:

- використання безкоштовної, відновлюваної енергії, доступною практично в необмежених обсягах сонячного випромінювання, яке, крім іншого, немає необхідності доставляти до місця генерації електрики;
- мережеві СЕС, порівняно простіші в установці, оскільки для них не потрібна акумуляторна система;
- висока надійність – сучасні сонячні батареї можуть ефективно експлуатуватися протягом 25 років, крім того, станція не має рухомих/обертючих частин, які особливо швидко зношуються і вимагають заміни;
- –низькі витрати на експлуатацію – сучасна сонячна електростанція відрізняється високим ступенем автоматизації всіх процесів, тому вимагає мінімальної кількості обслуговуючого персоналу;
- технічне обслуговування сонячних станцій для підтримки працездатності станції дуже маловитратне і не вимагає проведення трудомістких дорогих операцій;
- можливість задіяти під будівництво сонячної електростанції не тільки вільні площі, а й ті, які використовуються малоефективно або взагалі не використовуються, наприклад, фасади і дахи будинків, це не тільки дозволяє заощадити територію, але і значно знижує капіталовкладення в будівництво СЕС;

- обсяги генерації електроенергії в кілька разів перевершують ті, які були витрачені для її виробництва;

- висока швидкість повернення інвестицій – на сьогоднішній день інвестиції в сонячну енергетику окупаються швидше, ніж в нафтогазову галузь;

- варіативність потужності сонячних електростанцій – це дає можливість виробляти необхідну кількість електроенергії і використовувати її максимально ефективно;

- висока автоматизація всіх процесів, що дозволяє легко контролювати всі процеси, що відбуваються на станції, і оптимізувати режими генерації.

Основні недоліки мережевих сонячних електростанцій:

- увімкнена до мережі СЕС може спричинити перешкоди з підтриманням рівня напруги. Звичайна електромережа працює за умов одностороннього, або радіального, потоку. Але електроенергія, що відпускається в мережу, збільшує напругу і може перевищувати допустимі коливання $\pm 5\%$.

- СЕС, приєднані до мережі, можуть погіршувати якість електроенергії. Переривчастий характер вироблення СЕС електроенергії, означає швидкі зміни напруги. Це не тільки зношує регулятори напруги через часте регулювання, але і може призвести до мерехтіння напруги.

Зростання вартості паливно-енергетичних ресурсів вже сьогодні визначають техніко-економічні переваги електростанцій, що використовують поновлювані енергоресурси. Очевидно, що надалі ці переваги збільшуватимуться, розширюючи сфери застосування відновлюваної енергетики.

Мета статті. Основною метою статті є дослідження і розрахунок параметрів і умов ефективного функціонування сонячної мережевої електростанції.

Постановка задачі. Надзвичайно високий ступінь зносу інфраструктури енергетичного сектору України і, відповідно, низька ефективність використання енергоресурсів є чинниками розвитку альтернативної енергетики. З'явилася можливість доповнити існуючу інфраструктуру децентралізованими системами генерації, які допоможуть суттєво знизити втрати внаслідок передачі та перетворення електричної енергії. Це дійсно можливо, оскільки сучасний розвиток високотехнологічних технологій уже відкрив реальні перспективи для відновлюваної енергетики. На жаль, Україна відстає не лише від економічно розвинених країн світу, а й від світового показника використання відновлюваної енергетики. Отримання енергії з сонячного світла вважається одним з найбільш перспективних напрямків розвитку електроенергетики. будівництво безпечних, «зелених» станцій дозволяє стимулювати розвиток нових технологій, а не «просто спалювати вуглеводні». Розвиток сонячної енергетики в Україні не такий активний як у провідних країнах, таких як Китай, США, Індія, Японія та інших.

Пов'язано це, в першу чергу, з відносно низьким рівнем інсоляції.

Інтеграція мережевих сонячних електростанцій у національні електромережі може зменшити втрати в лініях передачі та розподілу, підвищити стійкість мережі, знизити витрати на генерацію та зменшити вимоги до інвестування в нові потужності комунального господарства.

Методи дослідження. Дана система автономного альтернативного електропостачання відноситься до мережевого типу. Основна спрямованість системи – це видача генерованої електричної потужності в мережу споживача і передача надлишку в міську мережу згідно «Зеленого тарифу». Очікувана електрична потужність сонячної електростанції – 860 кВт. Система являє собою розгалужену збірку, яка складається з наступних елементів:

- сонячні батареї, що виробляють під дією сонячного випромінювання постійний струм;
- мережеві інвертори, які перетворюють постійний струм в змінний;
- система моніторингу за параметри режиму мережевої сонячної електростанції;
- лічильники для обліку електроенергії;
- металоконструкції для розміщення сонячних батарей та інверторів;
- лінія електропередачі, до якої приєднана мережева сонячна електростанція.

При виборі сонячних панелей необхідно враховувати їх потужність, вартість, ККД та інші технічні характеристики.

Визначимо необхідну кількість сонячних панелей для покриття потужності споживачів:

$$N_{\text{СП}} = \frac{P_{\text{СПЭ}}}{P_{\text{СП}}}, \quad (1)$$

де $P_{\text{СП}}$ – номінальна потужність однієї панелі;

На ринку України китайська компанія Ulica Solar є одним з лідерів за виробництвом сонячних панелей. Відповідність стандартам виготовлення і наявності сертифікатів дозволяє не сумніватися в надійності їхнього продукту. Для даного проекту виберемо панелі марки типу UL-380M-72 потужністю 380 Вт, у кількості 2630 шт.

Панель типу UL-380M-72 – це кремнієвий монокристалічний пристрій для сонячних електростанцій побутового, комерційного та промислового призначення, перетворює сонячне випромінювання на постійний електричний струм.

У мережевих фотоелектричних системах сприяє зменшенню споживання від загальної мережі, є інструментом заробітку на продажах електрики за «зеленим» тарифом. Переваги PERC технології у вищій вихідній потужності та покращеній продуктивності залежно від зміни температури. Крім цього, спеціальна конструкція зменшує вплив затінення на вироблення енергії, знижує ризик виникнення гарячої точки (PID) та підвищує стійкість до механічного навантаження.

Сонячна панель складається з 72 монокристалічних фотоелементів. У кожному осередку налічується 5 струмопровідних шин (технологія 5BB). З лицьового боку кремнієві пластини захищені прозорим загартованим склом. Позаду панелі знаходиться пластиковий лист та розподільна коробка. Вся багатошарова конструкція вміщена в раму з анодованого алюмінію. Витримує стандартні для каркасних сонячних модулів вітрові (до 3800 Па) та снігові (до 5400 Па) навантаження. Служить щонайменше 25 років. Розподіл енергії, що генерується сонячними панелями, між фазами рівномірний.

Основні характеристики панелі типу UL-380M-72 представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Параметри сонячної батареї UL-380M-72

Електричні параметри	
Виробник	Ulica Solar
Номінальна потужність	380Вт
Напруга розімкнутого ланцюга	39,6 В
Струм короткого замикання	14,05 А
Напруга за максимальної потужності	31,6 В
Струм за максимальної потужності	9,6 А
Максимальний ККД	19,42%.
Термічні характеристики	
Номінальна робоча температура комірки –	+ 40... 85°C
Температурний коефіцієнт потужності	– 0,370 % °C
Температурний коефіцієнт напруги	– 0,300 %°C
Температурний коефіцієнт струму	+ 0,060 %°C
Конструкційні характеристики	
Кількість фотоелементів,	60 (6×10)
Габарити, Д×Ш×В, мм	1979×1002×40
Вага	22,5 кг
Ступінь захисту	IP 67
Штекерний роз'єм	MC4

Для створення якісної сонячної електростанції, призначенням якої буде скорочення витрат на електроенергію або отримання прибутку, згідно із «зеленим тарифом», потрібно підібрати якісну апаратуру. Одним із основних компонентів СЕС є мережевий інвертор. Їх слід вибирати виходячи з потужності і необхідних параметрів електроенергії на виході.

Для перетворення постійного струму в змінний використовуються 3-фазні інвертори, які мають з'єднувачі на вході постійного струму для підключення сонячних панелей.

Інвертори мають вбудоване логічне управління з можливістю вибору пріоритетів роботи і реалізації всіляких сценаріїв обумовлених їх призначенням. Інвертор оснащений додатковими захисними пристроями, щоб гарантувати безпечну роботу в будь-яких обставинах. Ці захисні пристрої включають в себе:

- безперервний контроль напруги мережі і вимкненні генерації при невідповідності напруги і частоти;

- контроль внутрішньої температури автоматично обмежує потужність при необхідності.

Умови вибору інверторів наступні.

1) Сумарна потужність інверторів не повинна бути нижче сумарної потужності сонячних панелей:

$$P_{\Sigma}^I \geq P_{\Sigma}^{\text{СП}}, \quad (2)$$

де P_{Σ}^I – сумарна потужність інверторів;

$P_{\Sigma}^{\text{СП}}$ – сумарна потужність сонячних панелей.

2) На даній електричній станції необхідна установка трифазних інверторів.

3) Вихідна напруга групи сонячних панелей не повинна перевищувати максимальної вхідної напруги інвертора:

$$U_{\Sigma}^{\text{СП}} < U_{\text{ВХ}}^I, \quad (3)$$

де $U_{\Sigma}^{\text{СП}}$ – вихідна напруга групи сонячних панелей;

$U_{\text{ВХ}}^I$ – максимальна вхідна напруга інвертора.

Проаналізувавши пропозиції різних виробників і порівнявши техніко-економічні характеристики продукції, було прийнято рішення про використання інверторів від компанії Growatt типу MAX 80KTL3 LV у кількості 10 шт. та інвертора типу MAX 60KTL3 LV у кількості 1 шт.

Технічні характеристики мережевого інвертора Growatt MAX 80 KTL3 LV представлені у табл. 2.

Таблиця 2 – Технічні характеристики мережевого інвертора Growatt MAX 80 KTL3 LV

Технічні характеристики	
Номінальна потужність	80 000 Вт
Максимальна потужність	88800 ВА
Максимальна потужність фотомодулів	104 000 Вт
Максимальна напруга постійного струму	1100 В
Мінімальна напруга для включення	250 В
Діапазон постійного напруження	200-1000 В
Кількість МРРТ координаторів / Кількість входів	6/2
Максимальний струм на МРРТ	25 А
Діапазон змінного напруження на виході	230 В /400 В; 320-478 В
Частота змінного струму на виході	50 Гц/60 Гц
Максимальний змінний струм на виході	128.8 А
Максимальний КПД	99%
Тип інвертора	безтрансформаторний
Метод охолодження	Розумне
Клас захисту	IP65

Розміщення сонячних панелей «СЕС САН-ЛАЙТ» передбачено на спеціальних металевих наземних конструкціях. Інвертори встановлюються на спеціальних металевих конструкціях, які розміщуються під столами з сонячними панелями.

Сонячні панелі поєднані в поля. Панелі у полі об'єднані послідовно.

До кожного інвертора Growatt MAX 80KTL3 LV паралельно приєднується:

- 6 полів по 17 сонячних панелей на 3 входи;
- 8 полів по 18 сонячних панелей на 4 входи.

До кожного інвертора Growatt MAX 60KTL3 LV паралельно приєднується 10 полів по 17 сонячних панелей на 5 входів.

Вся проводка постійного струму виконана спеціалізованим сонячним одножильним кабелем з подвійною ПВХ ізоляцією, що не поширює горіння, перетином 1×6.

Перетин кабелів вибрано по допустимим струмовим навантаженням і перевірено на втрати напруги. Кабелі прокладаються у металевих лотках та відкрито по конструкціях.

Підключення інверторів Growatt MAX 80KTL3 LV до РУ-0,4 кВ КТП 10/04 кВ передбачається силовим кабелем типу АВ66Шнг 3×120+1×70 мм².

Підключення інвертора Growatt MAX 60KTL3 LV до РУ-0,4 кВ КТП 10/04 кВ передбачається силовим кабелем типу АВ66Шнг 3×95+1×50 мм². Спосіб прокладання – в траншеї.

Перетин кабелів вибрано по допустимим струмовим навантаженням та перевірено на втрати напруги.

Підключення сонячної електростанції до мережі 10 кВ передбачене за допомогою КТП зовнішньої установки типу КТПН-1000/10/0,4. КТП встановлюється за окремим проектом.

Загальна встановлена потужність сонячних панелей PDC = 999,4 кВт.

Загальна встановлена потужність інверторного обладнання PAC = 860 кВт.

Схема з'єднань лінії змінного струму на напругу 380 В – TN-C-S.

Приєднання СЕС до мережі може покращити рівні напруги у вузлах системи, але може створювати небаланс виробленої та спожитої енергії. Підключення джерел нетрадиційної енергетики впливає на параметри якості електроенергії, яку отримують від сонячних електростанцій, може призвести до порушення стійкості паралельної роботи діючої системи електропостачання та СЕС [12,13]. Структурна схема генерації СЕС представлена на рис. 2.

Система моніторингу та управління СЕС призначена для контролю параметрів роботи, а також справності всіх компонентів. Сучасні системи управління – дозволяють дистанційно здійснювати безперервний моніторинг за всіма параметрами станції, проводити діагностику обладнання, відображати в режимі реального часу всю необхідну інформацію, зберігати всю інформацію про стан і роботу як самої сонячної станції, так і окремих елементів.

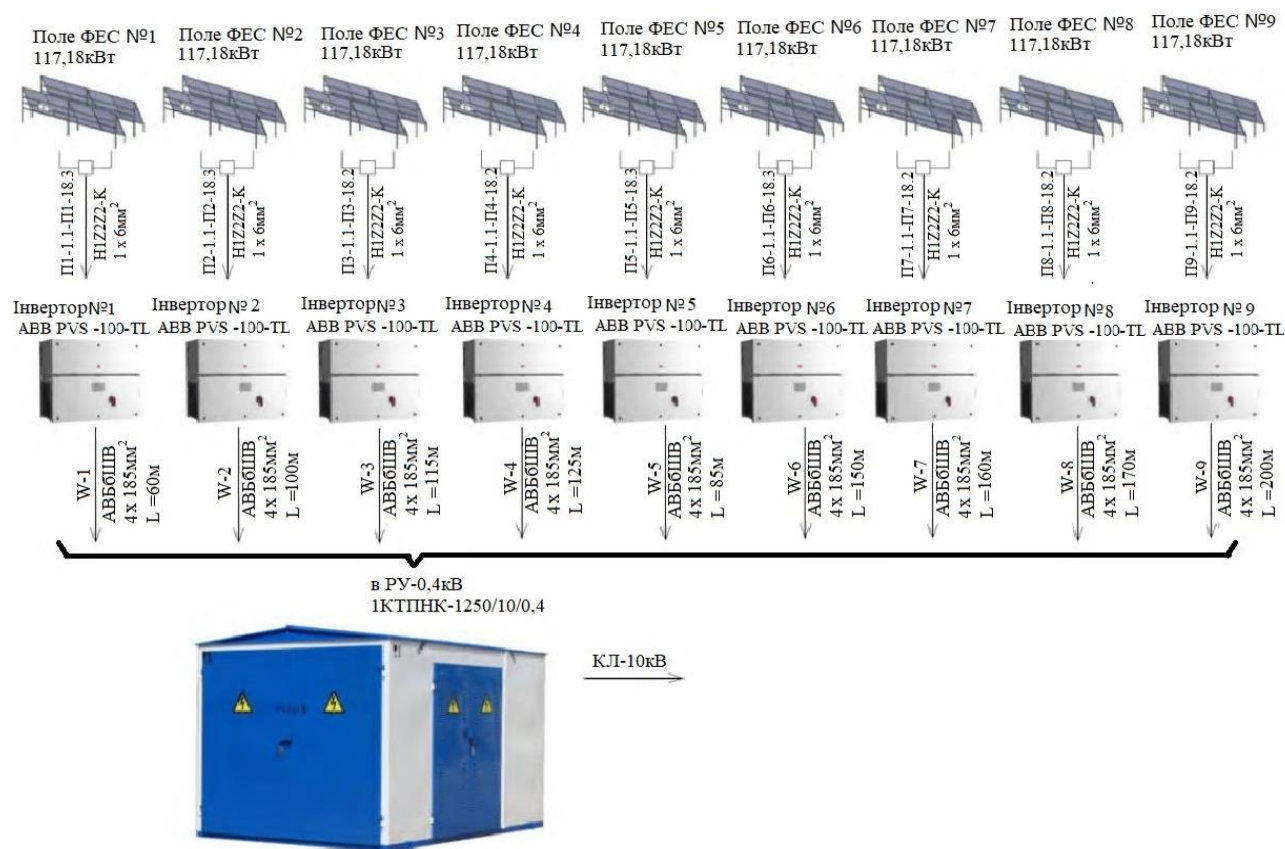


Рисунок 2 – Структурна схема генерації СЕС

Лічильники забезпечують облік кількості електроенергії, яка реалізується в зовнішню загальну мережу за зеленим тарифом.

У разі локального відключення мережі компанії постачальника електроенергії, або коли обладнання вимкнено для робіт з технічного обслуговування, інвертори повинні бути фізично від'єднанні від мережі, щоб забезпечити захист людей, які працюють на лінії.

При технологічних порушеннях в мережі АТ «Харківобленерго» СЕС не виділяється на збалансоване навантаження в зв'язку з відсутністю внутрішніх струмоприймачів, підключених до СЕС. Відбувається зупинка генерації.

Висновки. Запропоноване технічне рішення щодо встановлення сонячної on-grid електростанції в електричній мережі дозволить оптимізувати електроспоживання в системі «електрична мережа-сонячна панель», та підвищити надійність системи електропостачання в цілому.

Список літератури

1. Відроджені джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. 392 с.
2. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за ред. С. О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. 82 с.
3. Diantari R. A., Pujotomo I. Calculation of electrical energy with solar power plant design. 2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), Lombok, Indonesia, 28–30 July 2016. P. 443–446. DOI: <https://doi.org/10.1109/isitia.2016.7828701>.
4. Nakayama T., Mineno K., Thi N., Ishida M. A method for capacity designing of a photovoltaic power generation with a battery using

annual total amount of solar radiation analysis model. 2016 51st International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Coimbra, 6–9 September 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/upec.2016.8114016>.

5. Wogens J., Krost G., Ostermann D., Damm U., Hess J. Application of photo-electrochemical hydrogen production for autonomous solar based electricity supply. 2008 Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, Nanjing, China, 6–9 April 2008. P. 2470–2475. DOI: <https://doi.org/10.1109/drpt.2008.4523826>.
6. Arefifar S. A., Paz F., Ordonez M. Improving solar power PV plants using multivariate design optimization. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. 2017. Vol. 5, no. 2. P. 638–650. DOI: <https://doi.org/10.1109/jestpe.2017.2670500>.
7. Матях С. В., Суржик Т. В., Резцов В. Ф., Іванчук В. Ю. Напрями та перспективи розвитку сонячної теплоенергетики. Відроджена енергетика, 2021. № 3. С. 33–44. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.3\(66\).33-44](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.3(66).33-44).
8. Матях С. В., Резцов В. Ф., Суржик Т. В. Комплексні рішення в сонячній енергетиці. Відроджена енергетика, 2022. №3. С.68–74. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.3\(70\).68-74](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2022.3(70).68-74).
9. Про встановлення «зелених» тарифів на електричну енергію та надбавки до «зелених» тарифів за дотримання рівня використання обладнання українського виробництва для суб'єктів господарювання: Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 29.12.2017 р. № 1617. URL: <http://www.nerc.gov.ua/?id=30123>.
10. Види сонячних електростанцій. URL: http://ishop.sutem.com.ua/articles/topics/solar_energy/SES (дата звернення: 13.09.2023).
11. Види і характеристики сонячних батарей – детальний розбір. URL: <https://greentechtrade.com.ua>. (дата звернення: 02.09.2023).
12. Бацала Я. В. Аналіз показників якості електроенергії сонячної електростанції. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2013. № 4(49). С. 81–90.
13. Сиченко В. Г., Косарев Є. М., Пулін М. М. Якість електричної енергії на шинах 10 кВ при паралельній роботі тягової підстанції

з сонячною електростанцією. *Електрифікація транспорту*. № 13. 2017. С. 71–78. DOI: <https://doi.org/10.15802/etr.v0i13.117873>.

References

1. S. O. Kudria, Ed., *Vidnovliuvani dzherela enerhii [Renewable energy sources]*. Kyiv: Inst. Renewable Energy Nat. Acad. Sci. Ukraine, 2020. [in Ukrainian].
2. S. O. Kudria, Ed., *Atlas Enerhetychnoho Potentsialu Vidnovliuvanykh Dzherel Enerhii Ukrainy [Atlas of the Energy Potential of Renewable Energy Sources of Ukraine]*. Kyiv: Inst. Renewable Energy Nat. Acad. Sci. Ukraine, 2020. [in Ukrainian].
3. R. A. Diantari and I. Pujotomo, "Calculation of electrical energy with solar power plant design", in *2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, Lombok, Indonesia, Jul. 28–30, 2016, pp. 443–446, doi: <https://doi.org/10.1109/isitia.2016.7828701>.
4. T. Nakayama, K. Mineno, N. T. Hoai Thu, and M. Ishida, "A method for capacity designing of a photovoltaic power generation with a battery using annual total amount of solar radiation analysis model", in *2016 51st International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, Coimbra, Sep. 6–9, 2016, doi: <https://doi.org/10.1109/upec.2016.8114016>.
5. J. Wingens, G. Krost, D. Ostermann, U. Damm, and J. Hess, "Application of photo-electrochemical hydrogen production for autonomous solar based electricity supply", in *2008 Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*, Nanjing, China, Apr. 6–9, 2008, pp. 2470–2475, doi: <https://doi.org/10.1109/drpt.2008.4523826>.
6. S. A. Arefifar, F. Paz, and M. Ordonez, "Improving solar power PV plants using multivariate design optimization", *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 5, no. 2, pp. 638–650, Jun. 2017, doi: <https://doi.org/10.1109/jestpe.2017.2670500>.
7. S. Matyakh, T. Surzhyk, V. Rieztsov, and V. Ivanchuk, "Directions and prospects for the development of solar thermal energy", *Vidnovluvana energetika*, no. 3(66), pp. 33–44, Sep. 2021, doi: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.3\(66\).33-44](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.3(66).33-44). [in Ukrainian]
8. S. Matyakh, V. Rieztsov, and T. Surzhyk, "Complex solutions in solar energy", *Vidnovluvana energetika*, no. 3(70), pp. 68–74, Jan. 2023, doi: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3\(70\).68-74](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3(70).68-74). [in Ukrainian]
9. Ukraine, National Commission for State Regulation of Energy and Public Utilities. (2017, Dec. 29). *Decree of the National Commission for State Regulation of Energy and Public Utilities no. 1617, Pro vstanovlennia «zelenykh» taryfiv na elektrychnu enerhiu ta nadbavky do «zelenykh» taryfiv za dotrymanna rivnia vykorystannia obladnannia ukrainskoho vyrobnytstva dlia subiektiv hospodariuvannia [On the establishment of "green" tariffs for electricity and a surcharge to "green" tariffs for compliance with the level of use of Ukrainian-made equipment for business entities]*. [Online]. Available: <http://www.nerc.gov.ua/?id=30123> [in Ukrainian]
10. "Vydy soniachnykh elektrostantsii [Types of solar power plants]." Accessed: Sep. 13, 2023. [Online]. Available: http://ishop.sutem.com.ua/articles/topics/solar_energy/SES
11. "Vydy i kharakterystyky soniachnykh batarei – detalnyi rozbir [Types and characteristics of solar panels - a detailed analysis]." Accessed: Sep. 2, 2023. [Online]. Available: <https://greentechtrade.com.ua>
12. Ya. V. Batsala., I. V. Hlad', U. M. Nykolyn, "Analiz pokaznykiv yakosti elektroenerhiyi sonyachnoyi elektrostantsiyi [Analysis of electricity quality indicators of the solar power plant]," *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyskh [Exploration and development of oil and gas fields]*, iss. 4(49), pp. 81–90, 2013. [in Ukrainian].
13. V. G. Sychenko, Ye. M. Kosariev, M. M. Pulin, "Power quality of the traction substation on 10kv bus with parallel work of the solar power station," *Electrification of transport*, no. 13, pp. 71–78, Dec. 2017, doi: <https://doi.org/10.15802/etr.v0i13.117873>. [in Ukrainian]

Надійшла (received) 14.12.2023

Відомості про автора (-ів) / About the Author (-s)

Загайнова Олександра Анатоліївна (Alexandra Zagaynova) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри передачі електричної енергії; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8558-3211>; e-mail: zagaynova@gmail.com.

Сердюкова Галина Миколаївна (Galina Serdyukova) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри передачі електричної енергії; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1557-0260>; e-mail: serdukova.galina@gmail.com.