

**«Сонячна електростанція»
(шифр)**

**«ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ
ЇХ ВПЛИВУ НА РОБОТУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ»**

Галузь:
Енергетика

Секція:
Електричні станції, мережі і системи

2017/2018

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГЕЛІОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ	4
1.1 Сучасний стан розвитку геліоенергетики України	4
1.2 Аналіз зміни структури генеруючих потужностей в Україні	8
2 ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛЬНИХ МОЖЛИВЛСТЕЙ ВИРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕПРГІЇ СОНЯЧНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ УКРАЇНИ	9
3 ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ СЕС	11
4 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО РИНКУ ГЕЛІОЕНЕРГЕТИКИ.....	14
5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СЕС	17
6 АЛГОРИТМ ВИБОРУ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ.....	19
7 ОЦІНКА ВПЛИВУ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА РОБОТУ ЕЕС22	
7.1 Прогнозування графіків навантаження після підключення сонячної електростанції.....	22
7.2 Оцінка впливу сонячних електростанцій на роботу електроенергетичних систем.....	23
7.3 Висновки щодо впливу сонячних електростанцій на роботу ЕЕС	26
ВИСНОВКИ.....	27
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	28

ВСТУП

Розвиток сучасних технологій посилює залежність людської діяльності від безперебійного електропостачання. Саме тому в багатьох країнах набуло поширення використання розподіленої генерації (РГ) – енергетичних установок невеликої потужності (використання міні- та мікро електростанцій) для часткового або повного забезпечення власних потреб споживачів в електроенергії. Широке розповсюдження РГ пов'язано, в першу чергу, з появою вискоєфективних газотурбінних і паро-газових установок та розвитком відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) [1].

Особливість системи електропостачання (СЕС) багатьох регіонів полягає в розосередженості навантаження по значній території, наявності протяжних повітряних ліній 10 та 0,38 кВ і, як наслідок, в низькій надійності та великих втратах напруги і потужності. Разом із цим в даних мережах присутні сезонні підприємства, для яких власні генеруючі потужності дозволяють зменшити вартість приєднання до розподільних електричних мереж, та надають можливості додаткового прибутку за рахунок продажу електроенергії в систему. До того ж, промислові та сільськогосподарські комплекси мають значну добову та сезонну нерівномірність навантаження [2], що призводить до тривалих малозавантажених режимів роботи електричних мереж таких об'єктів.

Іншою перевагою СЕС з приєднаними генеруючими потужностями є можливість використання острівних режимів [3], які полягають в тому, що при відключенні живлення від енергосистеми джерела розподіленої генерації (ДРГ) переходять в автономний режим роботи на власне навантаження. Відповідно до існуючих стандартів [4], переключення ДРГ на автономне навантаження, або їх відключення повинно відбуватися протягом 100-300 мс. При зростанні потужностей ДРГ та підвищенні рівня автоматизації СЕС існуюча практика відключення ДРГ при пошкодженнях в живлячій мережі вже не буде доцільним рішенням. Отже, ДРГ можуть розглядатися, як один з можливих видів резервування.

Таким чином, використання ДРГ в СЕП може значно підвищити ефективність забезпечення споживачів електричною енергією. Але одночасно це створює й нові проблеми, пов'язані із втручанням в режими роботи існуючих систем, що потребує цілеспрямованого управління нормальними та післяаварійними режимами роботи таких мереж.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ГЕЛІОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

1.1 Сучасний стан розвитку геліоенергетики України

Вид енергетики, який заснований на використанні сонячного випромінювання для отримання енергії називається геліоенергетика (або сонячна енергетика). Сонячна енергія впевнено займає стійкі позиції в світовій енергетиці. До переваг сонячної енергетики відноситься те, що сонячна енергія - це екологічно чисте джерело енергії, що дозволяє використовувати його в зростаючому масштабі без негативного впливу на навколишнє середовище. Сонячна енергія - це практично невичерпне джерело енергії, сонячна енергія доступна в кожній точці нашої планети. Потенційні можливості енергетики, що засновані на використанні безпосередньо сонячного випромінювання, надзвичайно великі. Так використання всього лише 0,0125 % кількості енергії Сонця могло б забезпечити всі сьогоденні потреби світової енергетики, а використання 0,5 % - повністю покрити потреби на перспективу. На жаль, навряд чи коли-небудь ці величезні потенційні ресурси вдасться реалізувати у великих масштабах [5].

В даний час для теплопостачання та вироблення електричної енергії величезними темпами витрачаються органічні види палива. Однак в сучасному світі їх використання пов'язане з виникненням ряду проблем: постійним зростанням цін, залежністю від поставок, високими експлуатаційними витратами на обладнання, забрудненням навколишнього середовища.

Одним з ефективних шляхів вирішення цієї проблеми є використання відновлюваних джерел енергії. У світі цього питання давно приділяється багато

уваги. Станом на початок 2017 року, за даними аналітичної компанії IHS Markit, загальна потужність об'єктів сонячної енергетики в світі досягла 301 ГВт. На кінець 2016 року Міжнародне енергетичне агентство опублікувало доповідь, згідно з яким 10 держав вийшли в світові лідери з виробництва сонячної енергії. Серед них - Китай (78,1 ГВт.), Японія (42,5 ГВт.), Німеччина (41,3 ГВт.), США (40,3 ГВт.) і Італія (19,3 ГВт.).

Не стала винятком і Україна, в якій застосування енергії сонця з кожним роком набирає все більше популярності. Загальна встановлена потужність об'єктів відновлюваної енергетики в Україні становить 1492 МВт, з них 56% (839 МВт) - це об'єкти сонячної енергетики. 2016 рік в Україні став періодом активної установки сонячних електростанцій в приватних домогосподарствах, загальна потужність таких електростанцій перевищила 1 МВт. За 2016 рік обсяг виробництва електроенергії сонячними електростанціями, встановленими в приватних домогосподарствах, досяг 250 тис. кВт·год. Ефективності та доцільності використання сонячної енергії в Україні присвячено багато досліджень [6-9].

Взяті Україною зобов'язання в частині зниження впливу енергетики на довкілля обумовлюють потребу у додаткових обсягах інвестицій. Пріоритетом у цьому напрямі буде реалізація комплексу заходів з енергоефективності, енергозбереження та розширення використання відновлюваної енергетики [10]. До основних цільових параметрів на період до 2035 року згідно [10] віднесено оптимізацію структури енергетичного балансу держави, виходячи з вимог енергетичної безпеки та забезпечення частки відновлюваної енергетики на рівні 20%. Значна частка в цьому секторі відводиться сонячній енергетиці.

У той же час, зростання виробництва електроенергії на базі відновлюваних джерел енергії на основі вітрової та сонячної енергетики обмежуватиметься спроможністю електроенергетичної системи компенсувати коливання їх потужності та рівнем економічного навантаження на споживача. При цьому, розширення даних видів генерації безпосередньо у споживача не підпадає під обмеження енергосистеми і формує перспективу динамічного розвитку на місцевому рівні [10].

Традиційні джерела енергії (газ, нафта, вугілля і т.д.) є вичерпними, тому альтернативна енергетика, зокрема сонячна, розвивається активно і представляє великий інтерес для багатьох країн. Енергія, що отримується Землею від Сонця за рік (фотоелектрична або фотовольтаїчні), приблизно в 20 тис. разів перевершує річне споживання енергії всім людством. Україна не має ідеальних зон для збору сонячної енергії, але на її території є зони оптимального розміщення сонячних батарей.

Потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження геліосистем як теплоенергетичного, так і фотоелектро-енергетичного обладнання практично на всій території. Взагалі територія України є зоною середньої інтенсивності сонячної радіації. Сонячне випромінювання в Україні становить 3500 - 5200 МДж / м² на рік [11]. У той же час в нашій країні більше сонячних годин на рік, ніж в половині країн ЄС, що робить її дуже привабливою в плані інвестицій в місцеву геліоенергетику. Однак величина сонячної радіації коливається в залежності від координат місцевості, характеристик атмосфери і поверхні, часу доби і сезону. З цієї причини річний обсяг сонячного випромінювання на один квадратний метр землі істотно відрізняється в різних областях України.

Сезонний період для активного використання сонячної енергії в північних регіонах триває з квітня по вересень, а в південних з березня по жовтень, що становить 1900 - 2400 год / рік. Загальна середньорічна сонячне випромінювання варіюється від 1070 кВт·год / м² в північних районах України до 1400 кВт·год / м² на півдні країни. За рівнем інтенсивності сонячного випромінювання (радіації) на території України необхідно виділити чотири зони, які показані на рис. 1.1.

У першій і другій зонах знаходяться всі південні області України; більше половини території нашої країни знаходяться в третій зоні, четверта зона найменш придатна для використання сонячної енергії. В цілому територія України належить до зон з середньою інтенсивністю сонячної радіації. В реальних умовах величина щільності прямої і дифузійної сонячної радіації залежить від широти місцевості, прозорості атмосфери, характеристик земної поверхні, а також від часу доби і пори року [12].

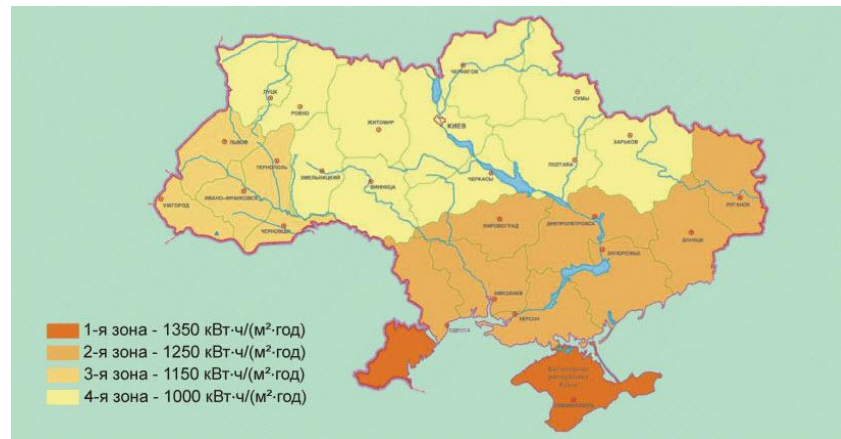


Рисунок 1.1 – Зони інтенсивності сонячного випромінювання в Україні

Виконуючі аналіз особливостей сучасної геліоенергетики, слід зазначити такі переваги, що стимулюють перехід на сонячну енергію: безкоштовний і необмежений запас палива; безшумний і нешкідливий процес вироблення електроенергії; автономні системи енергопостачання безпечні і високонадійні; нескладне обслуговування обладнання; використання електрики в віддалених сільських районах; модулі можуть бути частиною дизайну будівлі; стрімке зменшення часу енергетичної окупності модулів; збільшує надійність енергопостачання країни.

До недоліків відносяться наступні: висока вартість вироблення електроенергії; мінливість генерації та необхідність використання акумулюючого обладнання; низький ККД сонячних станцій; невелика потужність.

Таким чином, з огляду на сучасні світові наукові й технічні тенденції, особливості географічного і кліматичного положення, для України розвиток сонячної енергетики є перспективним напрямком енергозбереження.

Сонячна енергія відноситься до так званих відновлюваних або «зелених» видів енергії, які, за людськими мірками, є невичерпними. Електропостачання промислових підприємств та населених пунктів має свої особливості, головна з них – це необхідність підводити електроенергію до великої кількості об'єктів порівняно невеликої потужності, які знаходяться на значній території. В результаті протяжність мереж в багато разів перевищує цю величину в інших галузях народного господарства [13]. Разом із тим, значення електроенергії в агропромисловій сфері постійно зростає, а реформування галузі призвело до под-

рібнення крупних виробників і збільшення ролі невеликих фермерських господарств в економіці держави [14]. Основними вимогами, які висуваються до електричних мереж є [15, 16]: надійність електропостачання; забезпечення норм якості електричної енергії; ефективність транспортування електричної енергії; безпека обслуговування; енергозбереження та екологія; можливість безперервного подальшого розвитку та реконструкції електричних мереж без корінних змін існуючої її частини.

1.2 Аналіз зміни структури генеруючих потужностей в Україні

Світова електроенергетика традиційно розвивалася шляхом централізації систем генерування при створенні все більш потужного енергетичного обладнання та його об'єднання в енергетичні комплекси. Як наслідок, були сформовані великі територіально протяжні енергетичні системи: європейська ENTSO-E, ЄЕС Росії, ОЕС України та інші.

Основою електроенергетики країни є Об'єднана енергосистема (ОЕС) України, яка здійснює централізоване енергозабезпечення електроенергією внутрішніх споживачів і взаємодіє з енергосистемами сусідніх країн, забезпечуючи експорт та імпорт електроенергії магістральними і міждержавними лініями електропостачання.

Впровадження ДРГ в СЕП, зокрема побудованих на основі використання ВДЕ, крім зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище та вирішення багатьох проблем, пов'язаних з викидами і відходами при виробництві електроенергії, дозволить, по-перше, суттєво підвищити ефективність використання первинних ресурсів та - в майбутньому – знизити вартість електричної енергії, по-друге, розвантажити як системоутворюючі, так і розподільні електричні мережі, і нарешті, «підштовхнути» процес модернізації об'єктів електроенергетики і тим самим, підвищити надійність електропостачання [18].

В рамках концепції різноманітні вимоги усіх заінтересованих сторін зведено до групи ключових цінностей нової електроенергетики [19]: доступність, надійність, економічність, ефективність, органічність з навколишнім середовищем, безпека.

З метою стимулювання споживача до використання нетрадиційних та ВДЕ в Україні було введено так званий "зелений" тариф – спеціальний тариф, за яким закуповується електрична енергія, вироблена на об'єктах електроенергетики, що використовують ВДЕ (сонячна, вітрова, геотермальна енергія, енергія хвиль та припливів, гідроенергія (з установленою потужністю не більше 10 МВт), енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, газу метану від дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів). Величина "зеленого" тарифу установлюється на рівні роздрібного тарифу для споживачів другого класу напруги, помноженого на відповідний коефіцієнт "зеленого" тарифу в залежності від потужності та виду джерела енергії [20, 21].

2 ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛЬНИХ МОЖЛИВЛСТЕЙ ВИРОБЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕПРГІЇ СОНЯЧНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ УКРАЇНИ

Знаючи статистику сонячної радіації за декілька років, ми маємо можливість спрогнозувати вироблення електроенергії фотоелектричними модулями в різних регіонах України. Середній місячний рівень сонячної радіації, кВт·год/м²/день, в містах України (середній показник за останні 22 роки за даними NASA) наведено в табл. 2.1.

Кількість енергії, Вт·год, що виробляється фотоелектричним модулем протягом дня, розраховується за формулою:

$$W_{E/E}^{\text{ФЕМ}} = P_{\text{ФЕМ}} \cdot k_{\text{ФЕМ}} \cdot T_{h\text{ФЕМ}}, \quad (2.1)$$

де $P_{\text{ФЕМ}}$ – номінальна потужність фотоелектричного модуля, Вт; $k_{\text{ФЕМ}}$ – коригувальний коефіцієнт, що дорівнює 0,7 влітку і 0,5 в зимовий період, робить поправку на втрату потужності сонячних елементів при нагріванні на сонці, а також враховує похиле падіння променів на поверхню модулів протягом дня; $T_{h\text{ФЕМ}}$ – кількість пікових годин, тобто умовний час, протягом якого сонце світить з інтенсивністю 1000 Вт/м², визначається як:

$$T_{h\text{ФЕМ}} = \frac{E_{\text{СІ}}^{\text{ср}}}{1000}, \quad (2.2)$$

де $E_{\text{СІ}}^{\text{ср}}$ – середньодобове значення інтенсивності сонячного випромінювання в даному місяці, Вт·год/м²/день; 1000 – інтенсивність світлового випромінювання при стандартних умовах випробувань фотоелектричних панелей, Вт/м².

Таблиця 2.1 – Інтенсивність сонячного випромінювання

Регіони/ Місяці	Січ.	Лют.	Бер.	Кв.	Тр.	Чер.	Лип.	Сер.	Вер.	Жов.	Лис.	Гр.	Серед. показ.
Вінниця	1,07	1,89	2,94	3,92	5,19	5,3	5,16	4,68	3,21	1,97	1,10	0,9	3,11
Луцьк	1,02	1,77	2,83	3,91	5,05	5,08	4,94	4,55	3,01	1,83	1,05	0,79	2,99
Дніпро	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,20	0,96	3,36
Донецьк	1,21	1,99	2,94	4,04	5,48	5,55	5,66	5,09	3,67	2,24	1,23	0,96	3,34
Житомир	1,01	1,82	2,87	3,88	5,16	5,19	5,04	4,66	3,06	1,87	1,04	0,83	3,04
Ужгород	1,13	1,91	3,01	4,03	5,01	5,31	5,25	4,82	3,33	2,02	1,19	0,88	3,16
Запоріжжя	1,21	2,00	2,91	4,20	5,62	5,72	5,88	5,18	3,87	2,44	1,25	0,95	3,44
Івано- Франківськ	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94
Київ	1,07	1,87	2,95	3,96	5,25	5,22	5,25	4,67	3,12	1,94	1,02	0,86	3,10
Кропивни- цький	1,20	1,95	2,96	4,07	5,47	5,49	5,57	4,92	3,57	2,24	1,14	0,96	3,30
Луганськ	1,23	2,06	3,05	4,05	5,46	5,57	5,65	4,99	3,62	2,23	1,26	0,93	3,34
Львів	1,08	1,83	2,82	3,78	4,67	4,83	4,83	4,45	3,00	1,85	1,06	0,83	2,92
Миколаїв	1,25	2,10	3,07	4,38	5,65	5,85	6,03	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Одеса	1,25	2,11	3,08	4,38	5,65	5,85	6,04	5,33	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Полтава	1,18	1,96	3,05	4,00	5,40	5,44	5,51	4,87	3,42	2,11	1,15	0,91	3,25
Рівне	1,01	1,81	2,83	3,87	5,08	5,17	4,98	4,58	3,02	1,87	1,04	0,81	3,01
Суми	1,13	1,93	3,05	3,98	5,27	5,32	5,38	4,67	3,19	1,98	1,10	0,86	3,16
Тернопіль	1,09	1,86	2,85	3,85	4,84	5,00	4,93	4,51	3,08	1,91	1,09	0,85	2,99
Харків	1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,10	1,19	0,9	3,26
Херсон	1,30	2,13	3,08	4,36	5,68	5,76	6,00	5,29	4,00	2,57	1,36	1,04	3,55
Хмельниць- кий	1,09	1,86	2,87	3,85	5,08	5,21	5,04	4,58	3,14	1,98	1,10	0,87	3,06
Черкаси	1,15	1,91	2,94	3,99	5,44	5,46	5,54	4,87	3,40	2,13	1,09	0,91	3,24
Чернігів	0,99	1,80	2,92	3,96	5,17	5,19	5,12	4,54	3,00	1,86	0,98	0,75	3,03
Чернівці	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94

В табл. 2.2 продемонстровано деякі данні стосовно середнього річного рівня сонячної радіації за 2017 рік та кількості електричної енергії, яка виробляється фотоелектричною системою 11 кВт за рік.

Таблиця 2.2 – Данні про виробництво електроенергії в різних містах України за 2017 рік

Місто	Середній річний рівень сонячної радіації, кВт·год/м ² /день	Кількість електричної енергії, яка виробляється фотоелектричною системою за рік, МВт·год
Харків	3,03	8,09
Луганськ	3,31	8,76
Суми	3,12	8,28
Запоріжжя	3,52	9,27
Мелітополь	3,77	9,91
Полтава	3,29	8,69
Кропивницький	3,43	9,05
Чернігів	2,93	7,78
Київ	3,08	8,18
Одеса	3,74	9,85
Вінниця	3,17	8,39
Львів	2,99	7,87
Ужгород	3,11	8,16

Фотоелектричні панелі придатні для використання на дахах, і в даний час виробляються в достатній кількості. Електрика, що генерується в деяких сприятливих місцях, майже досягло паритету сітки (точка, де вартість фотоелектричної електрики відповідає ціні у звичайній мережі). Зростання виробництва фотоелектричних панелей було обумовлено державними стимулами, які субсидують витрати на електроенергію і стимулюють технологічні інновації.

3 ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ СЕС

Сонячна електростанція - інженерна споруда, яка служить для перетворення сонячної радіації в електричну енергію. Використовують різні способи перетворення сонячної радіації, від яких залежить конструкція сонячної електростанції.

СЕС бувають двох видів: фотоелектричні (безпосередньо перетворюють сонячну енергію в електроенергію з допомогою фотоелектричного модулю) та термодинамічні (перетворюють сонячну енергію в теплову, а потім в електричну; потужність термодинамічних сонячних електростанцій вище, ніж потужність фотоелектричних станцій).

До елементів СЕС відносяться:

1. Фотоелектричні панелі (сонячні модулі), які перетворюють сонячну енергію в електричну;
2. Контролер, для управління сонячною фотоелектричною системою, який не допускає перевантаження системи або зворотного струму в нічний час;
3. Акумулятор, який потрібен для накопичення електроенергії, що генерується сонячними модулями;
4. Інвертор, що перетворює постійний електричний струм від сонячних батарей в змінний, який необхідний для живлення електроприладів;
5. Електричний лічильник, що фіксує кількість електроенергії, яка подається в загальну мережу або споживаної при необхідності.

На рис. 3.1 представлена схема сонячної електростанції, яка демонструє взаємозв'язок усіх елементів станції та основний принцип її роботи.

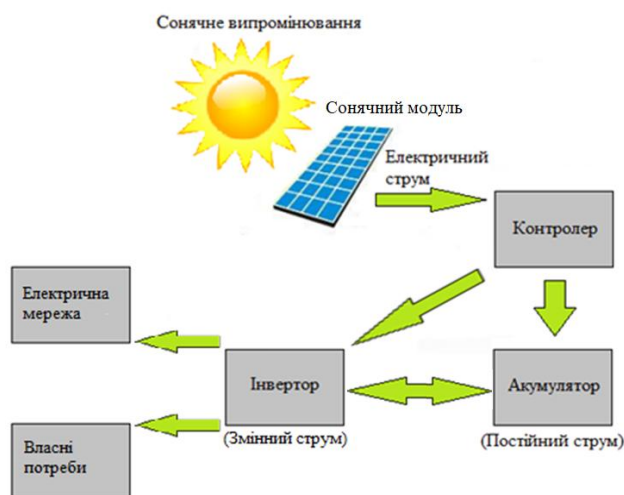


Рисунок 3.1 – Схема сонячної електростанції

Робота СЕС відбувається в такій послідовності. Сонячні промені потрапляють на панель фотоелектричних модулів, за рахунок трансформації перетворюються в електроенергію. Сонячні модулі застосовуються на основі кристалічного кремнію або монокристалів, у останніх значно вище термін служби і відсоток вироблення в залежності від терміну служби набагато вище. Кількість електроенергії, яку можуть забезпечити сонячні модулі, залежить від їх ефективності, розміру і місцевого рівня сонячного освітлення.

Після перетворення електроенергія проходить через підключений акумулятор, тим самим забезпечуючи зарядку акумуляторних батарей.

Наступний етап – це живлення споживачів енергії, а також з'єднання внутрішньої ланцюга сонячної електростанції з зовнішньою електричною мережею для видачі надлишків електроенергії.

СЕС можуть бути двох типів:

- мережеві, які є більш потужними, вони підключаються до зовнішньої електричної мережі, більшість виробляємої ними електричної енергії передається в мережу через окремий лічильник, величина навантаження власного споживання незначна;

- автономні, які призначені в першу чергу покривати потреби навантаження власного споживання, тому вони розраховуються на меншу потужність (що визначається переліком власних електроприймачів), вони також підключаються до зовнішньої електричної мережі і лише надлишки електричної енергії передаються в мережу через окремий лічильник.

Завдяки діючому в Україні законодавству громадяни нарівні з організаціями можуть продавати енергію, що генерується їх альтернативним джерелом, за спеціальними «зеленим» тарифом [20, 21]. «Зелений» тариф - це особлива тарифна сітка, згідно з якою уряд від імені державної компанії «Енергоринок» набуває у комерційних організацій і приватних осіб електричну енергію, генеровану із застосуванням відновлювальних джерел - сонця (сонячні панелі), вітру (вітряки), біологічних речовин (біопаливо), а також води (невеликих гідроелектростанцій) за високими цінами.

Такий тариф на сонячну електроенергію від приватних осіб забезпечує можливість оптимальної експлуатації конструкцій сонячних батарей для постачання електроенергією житлових будівель і підвищення їх рентабельності. Власникам індивідуальних будинків держава завжди платить за надлишок електроенергії, поставлений в електричну мережу.

4 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО РИНКУ ГЕЛІОЕНЕРГЕТИКИ

Активне впровадження СЕС у світі стимулює інтенсивний розвиток ринку комплектуючих для сонячних електростанцій. Сьогодні великий попит мають китайські фотоелектричні панелі, так як їх вартість на порядок нижче, ніж системи виробництва США та Європи. Також свою продукцію на ринку пропонують виробники Японії, оцінна вартість якої тримається на одному рівні з європейськими та американськими конкурентами. Серед провідних виробників сонячних модулів, які зарекомендували себе завдяки якості продукції та значній кількості поставок, слід відмітити наступних: Abi-Solar, Panasonic (SolarCity), Viessmann, Jinko Solar, Trina Solar, Canadian Solar, JA Solar, Hanwa Q CELLS, Yingli Green Energy (YGE), First Solar та інші.

Перше місце за обсягом поставок сонячних панелей зайняла китайська компанія JinkoSolar з результатом 6,6-6,7 ГВт, яка посунула на друге місце колишнього лідера, також китайську Trina Solar (6,3-6,55 ГВт). На третьому місці знову китайська компанія (але з канадським назвою) Canadian Solar (5,073-5,173 ГВт). Четверте місце зайняла компанія JA Solar, також з Китаю з об'ємом поставок 4,9-5 ГВт. На п'ятому місці - корейська Hanwha Q Cells (4,8-5 ГВт), на шостому - китайська GCL System Integration Technology (4,6-5 ГВт). Американська компанія First Solar посіла сьоме місце (2,8-2,9 ГВт поставлених сонячних модулів).

Вітчизняні виробники у світовому рейтингу конкурувати не в змозі, але вони також представлені на ринку України значною кількістю продукції. Серед найбільш відомих з них є ПАО «Квазар» (м. Київ), ЗАО «Піллар» (м. Київ), Prolog Semikor LLC (м. Київ), ТОВ «Сілікон» (Світловодськ Кіровоградської обл.). Плоскі сонячні колектори для гарячого водопостачання в Україні випускає тільки компанія «Сінтек» (Запоріжжя) під ТМ SintSolar.

Інформація про найбільш поширене обладнання для СЕС представлена у табл. 4.1 – 4.3.

Таблиця 4.1 – Характеристика сонячних модулів

Виробник	Країна	Характеристика	Вартість, дол.
1. Perlight PLM 270P-60	Китай	Тип кремнію: полікристал. Клас фотомодулю: "А" Номинальна потужність: 270 Вт. Напруга при макс. потужності: 31.22 В. Струм при макс. потужності: 8.65 А. Струм короткого замикання: 9.13 А. Напруга холостого ходу: 38.23 В. Розміри: 1640x992x35 мм.	147
2. Risen RSM60-6-270P	Китай	Тип кремнію: полікристал Клас фотомодулю: "А" Макс. потужність: 270 Вт. Напруга при макс. потужності: 31.20 В. Струм при макс. потужності: 8.66 А. Струм короткого замикання: 9.20 А Напруга холостого ходу: 38.20 В. Розміри: 1650x992x35 мм.	162
3. Altek ALM-265P	Китай	Тип кремнію: полікристал Клас фотомодулю: "А" Макс. потужність: 265 Вт. Напруга при макс. потужності: 30.96 В. Струм при макс. потужності: 8.56 А. Струм короткого замикання: 9.1 А. Напруга холостого ходу: 38.13 В. Розміри: 1640x992x35 мм.	147
4. KV7-270P	Україна	Тип кремнію: полікристал Клас фотомодулю: "А" Макс. потужність: 270 Вт. Напруга при макс. потужності: 30.7 В. Струм при макс. потужності: 8.8 А. Струм короткого замикання: 9.3 А. Напруга холостого ходу: 38.4 В. Розміри: 1640x992x40 мм.	180
5. Perlight Solar PLM-280M-60	Китай	Тип кремнію: монокристал Номинальна потужність: 280 Вт. Напруга при макс. потужності: 31.64 В. Струм при макс. потужності: 8.85 А. Струм короткого замикання: 9.24 А. Напруга холостого ходу: 39.24 В. Розміри: 1640x992x40 мм.	185

Таблиця 4.2 – Характеристика інверторів

Виробник	Країна	Характеристика	Вартість, дол.
1. Growatt 10000 HY	Китай	Макс. потужність сонячної електростанції, що підключається: 14850 Вт. Діапазон напруг відстеження точки макс. потужності: 320-900 В. 2 МРРТ трекара. Безтрансформаторний. 3-фази.	4730
2. InfiniSolar 3P 10 кВт.	Китай	Макс. потужність сонячної електростанції, що підключається: 14850 Вт. Діапазон напруг відстеження точки макс. потужності: 400-800 В. 2 МРРТ трекара. Безтрансформаторний. 3-фази. Клас захисту IP 65.	4200
3. Victron Energy Quattro 48/10000/140-100/100	Нідерланди	Макс. потужність сонячної електростанції, що підключається: 12300 Вт. Діапазон напруг відстеження точки макс. потужності: 400-800 В. 2 МРРТ трекара. Безтрансформаторний. 3-фази.	5235

Таблиця 4.3 – Характеристика акумуляторів

Виробник	Країна	Характеристика	Вартість, дол.
1. АТАВА NP-12-200	Україна	Номінальна напруга: 12 В Номінальна ємність (10 годинний розряд): 200 А·год.	414
2. SunLight SP 12-200	Греція	Номінальна напруга: 12 В Номінальна ємність (10 годинний розряд): 200 А·год.	532
3. Ventura GPL 12-200	Китай	Номінальна напруга: 12 В Номінальна ємність (10 годинний розряд): 200 А·год.	423
4. ALVA AD12-200 AGM	Китай	Номінальна напруга: 12 В Номінальна ємність (10 годинний розряд): 200 А·год.	383
5. Altek 6FM200AGM	Китай	Номінальна напруга: 12 В Номінальна ємність (10 годинний розряд): 200 А·год.	419

Таким чином, на сьогоднішній день ринок геліоенергетики широкозабезпечений комплектуючими для СЕС и дає можливість задовольнити досить вибагливі вимоги до СЕС, які вводяться в експлуатацію.

5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СЕС

Ефективності та доцільності використання сонячної енергії в Україні присвячено багато досліджень. Коефіцієнт корисної дії сонячних електростанцій непостійний і залежить від декількох факторів. Головний з них - інтенсивність і тривалість інсоляції, яка, в свою чергу, визначається погодними умовами, тривалістю дня і ночі, тобто широтою місцевості. Величезне значення має і тип настановних сонячних батарей.

Економічна ефективність використання сонячних електростанцій визначається величиною чистого дисконтованого доходу, який використовується в якості коефіцієнта економічної ефективності використання установки і розраховується за виразом:

$$K_{\text{ефi}} = \text{ЧДД}, \quad (5.1)$$

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^T \frac{D_t}{(1+E)^t} - K_n, \quad (5.2)$$

де D_t – доход, що одержаний за рік t ; K_n – капіталовкладення, наведені в часі до початку розрахункового періоду; E – прийнята процентна ставка (норма дисконту).

Річний інвестиційний доход визначається за виразом:

$$D = \text{ЧП} + V_{\text{ан}}, \quad (5.3)$$

де ЧП – прирост чистого прибутку; $V_{\text{ан}}$ – витрати на амортизацію нового обладнання.

Прирост чистого прибутку (ЧП) визначається з урахуванням податку на прибуток і на майно:

$$\text{ЧП} = (\Pi - \text{ПМ}) \cdot \left(1 - \frac{C_{\text{ПП}}}{100}\right), \quad (5.4)$$

де Π – прибуток; $C_{\text{ПП}}$ – діюча ставка податку на прибуток, %; ПМ – податок на майно.

Прибуток при впровадженні сонячної електростанції визначається наступним чином:

$$\Pi = \Delta E - V_e, \quad (5.5)$$

де ΔE – вартість зекономлених ресурсів; V_e – поточні витрати, пов'язані з експлуатацією нових технічних засобів.

Поточні витрати становлять:

$$V = V_{ан} + V_{рон}, \quad (5.6)$$

де $V_{ан}$ – витрати на амортизацію нового обладнання; $V_{рон}$ – витрати на ремонт та обслуговування нового обладнання.

Складові поточних витрати визначаємо наступним чином:

$$V_{ан} = \alpha_a \cdot K_H, \quad (5.7)$$

$$V_{ан} = \alpha_{po} \cdot K_H, \quad (5.8)$$

де α_a – норма відрахувань на амортизацію обладнання; α_{po} – норма відрахувань на ремонт та обслуговування обладнання; K_H – капіталовкладення в нове обладнання.

Дисконтування капіталовкладень здійснюється наступним чином:

$$K_H = \sum_{t=0}^{T_{стр}} \frac{K_t}{(1+E)^t}, \quad (5.9)$$

де K_t – капіталовкладення в спорудження установки за рік t ; $T_{стр}$ – тривалість спорудження установки в роках.

Капіталовкладення в спорудження установки K_t визначаються як сума капіталовкладень в будівельні конструкції $K_{бк}$, капіталовкладень в окремі елементи сонячної електростанції $K_{об}$ та супутніх капіталовкладень, які включають передвиробничі витрати на передінвестиційні дослідження, проектування та розробку техніко-економічного обґрунтування, тощо $K_{суп}$:

$$K = K_{бк} + K_{об} + K_{суп}. \quad (5.10)$$

$$T_O = \frac{K}{D_t}. \quad (5.11)$$

Критерієм економічної ефективності використання сонячних електростанцій є максимум чистого дисконтованого доходу :

$$K_{ефi} \rightarrow \max. \quad (5.12)$$

Запропонований критерій економічної ефективності дозволить обґрунтувати доцільність використання СЕС.

6 АЛГОРИТМ ВИБОРУ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Алгоритм вибору СЕС передбачає послідовне виконання розрахунків та порівнянь, необхідних для обґрунтованого визначення структури СЕС та її комплектуючих. Розроблений алгоритм вибору СЕС представлено на рис. 6.1.

Для прикладу розглянемо варіант побудови СЕС для автономного живлення будівлі, розташованої на південній території Харківської області. Характеристика навантаження такої будівлі представлена у табл. 6.2.

Використовуючи викладену методику розрахунку, складаємо декілька варіантів побудови СЕС та знаходимо найбільш ефективний з них. Результати розрахунку представлені в табл. 6.3.

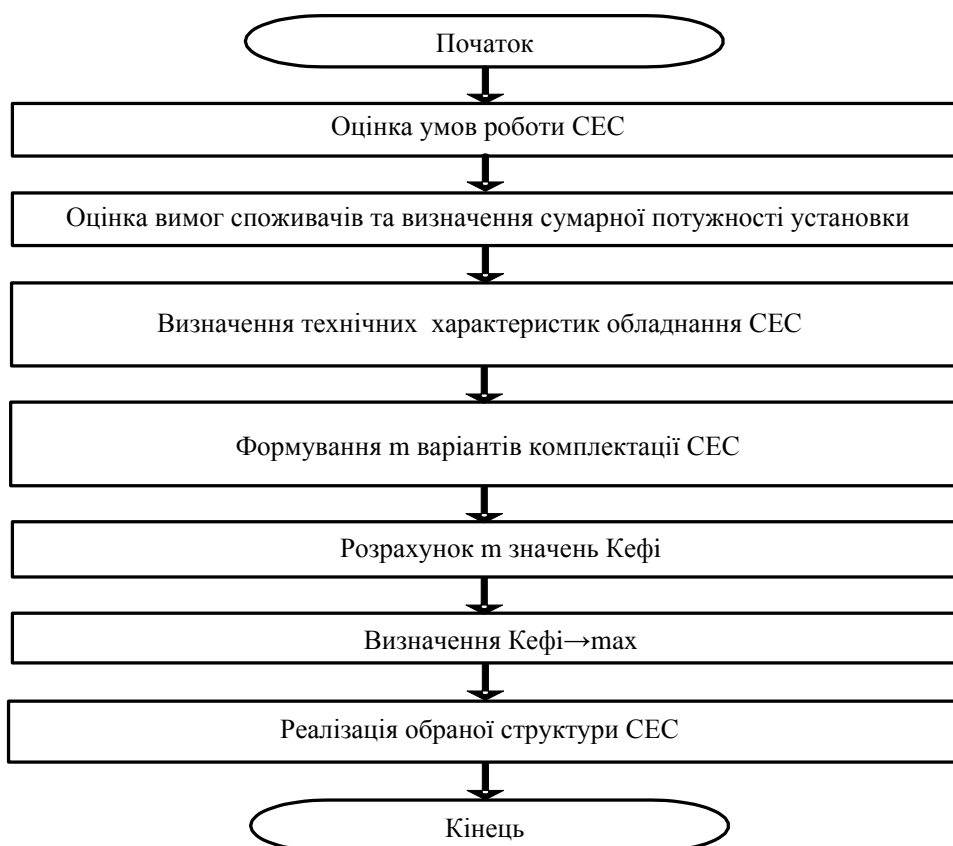


Рисунок 6.1 – Алгоритм вибору СЕС

Таблиця 6.2 – Характеристика навантаження будівлі для живлення від СЕС

Споживачі енергії	Кількість, шт.	Потужність, кВт.	Загальна потужність, кВт.
Холодильник	1	1	1
Телевізор	4	0,08	0,32
Пральна машина	1	2,5	2,5
Електрочайник	1	2,2	2,2
Персональний комп'ютер	2	0,3	0,6
Пилосос	1	0,8	0,8
Праска	1	2	2
Мікрохвильова піч	1	1	1
Освітлення	20	0,02	0,4
Інші прилади	1	0,15	0,15
Загалом, кВт.		10,97	

Вибираємо варіант 1 так, як $K_{\text{ефі}}$ має найбільше значення з усіх розглянутих нами варіантів.

Для прийнятого варіанту сонячної електростанції визначаємо

$$ИД = \frac{ЧДД}{K_H} + 1. \quad (6.1)$$

$$ИД = 1,15$$

Таблиця 6.3 – Результати розрахунку різних варіантів СЕС

Варіант	Обладнання	К, дол.	Д _г , дол.	Т _о , років	$K_{\text{ефі}}$
1.	Perlight PLM 270P-60 InfiniSolar 3P 10 кВт. АТАВА NP-12-200	11616	1221	9,5	1704
2.	Risen RSM60-6-270P Growatt 10000 HY Altek 6FM200AGM	12481	1221	10,2	839
3.	Altek ALM-265P InfiniSolar 3P 10 кВт. ALVA AD12-200 AGM	11841	1221	9,7	1479
4.	KV7-270P InfiniSolar 3P 10 кВт. АТАВА NP-12-200	12870	1221	10,5	450
5.	Perlight Solar PLM-280M Growatt 10000 HY Ventura GPL 12-200	13375	1221	10,9	-55

На рис 6.2 представлено графік терміну окупності проекту введення в експлуатацію СЕС.

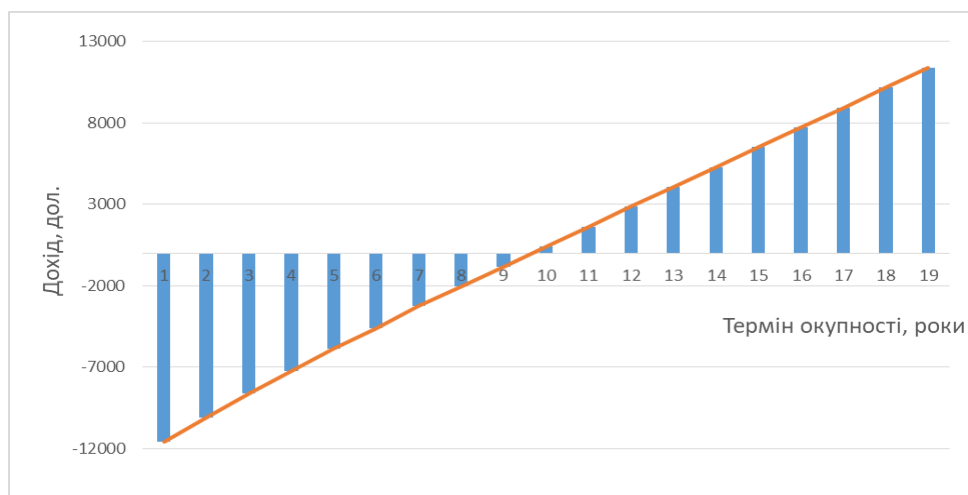


Рисунок 6.2 – Графік терміну окупності проекту введення в експлуатацію СЕС

Результати остаточного вибору комплектуючих для СЕС представлені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Вибір комплектуючих для СЕС

Назва обладнання	Характеристики	Кількість
Сонячний модуль Perlite	Тип кремнію: полікристал. Клас фотомодулю: "А". Номінальна потужність: 270 Вт. Напруга при макс. потужності: 31.22 В. Струм при макс. потужності: 8.65 А. Струм короткого замикання: 9.13 А. Напруга холостого ходу: 38.23 В. Розміри: 1640x992x35 мм.	38
Гібридний інвертор InfiniSolar 10 кВт.	Макс. потужність сонячної електростанції, що підключається: 14850 Вт. Діапазон напруг відстеження точки макс. потужності: 400-800 В. 2 МРРТ трекера. Безтрансформаторний. 3-фази. Клас захисту IP 65	1
Акумуляторна батарея 200 А·год, 12 В	Батарея акумуляторна 12 В 200А·год, 331 * 175 * 216 мм.	5

СЕС призначена для зниження витрат на споживання електроенергії з мережі і генерації в мережу з наступним продажем за "Зеленому Тарифом", а також - резервування споживачів на випадок відключення основної мережі з запасом енергії від 12 кВт · год в акумуляторному блоці.

Дане рішення практично для установки в будинку, на дачі, виробництві з середньодобовим споживанням від 5 кВт · год на добу.

7 ОЦІНКА ВПЛИВУ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА РОБОТУ ЕЕС

7.1 Прогнозування графіків навантаження після підключення сонячної електростанції

Для оцінки впливу сонячної електростанції на роботу електричної мережі необхідно оцінити величину потужності, яку електростанція видає в мережу після покриття потреб електричного навантаження будівлі. Для вирішення цієї задачі використана багатошарова штучна нейронна мережа для прогнозування короткострокового навантаження ANNSTLF. Схема багатошарової штучної нейронної мережі показана на рис. 7.1.

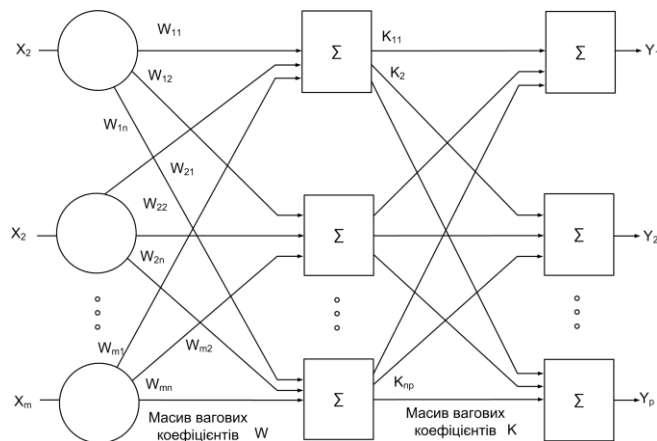


Рисунок 7.1 – Багатошарова штучна нейронна мережа

Безліч вхідних сигналів, позначених x_1, x_2, \dots, x_m , надходить на штучні нейрони. Кожен сигнал множиться на відповідну вагу $w_{11}, w_{12}, \dots, w_{mn}$ і надходить на сумуючий блок, позначений Σ . Вихід з першого шару є входом для наступного шару, на якому сигнали множаться на вагу $k_{11}, k_{12}, \dots, k_{np}$ і надходять на наступний сумуючий блок. Навчання нейронної мережі відбувається шляхом налаштування ваг за рахунок зміни w_{ij} та k_{ij} при он-лайн прогнозуванні.

Для якісної оцінки впливу сонячної електростанції на роботу електричної мережі доцільно на основі вимірів навантаження побудувати графіки навантаження будинку та ТП 10/0,4 кВ, до якої буде підключатися СЕС. Далі з викори-

станням штучної нейронної мережі виконати прогноз графіки навантаження після підключення сонячної електростанції.

Графік навантаження будинку до підключення сонячної електростанції та після підключення представлений на рис. 7.2. Графік навантаження ТП 10/0,4 кВ, до якої підключається СЕС, до її підключення та після представлений на рис. 7.3.

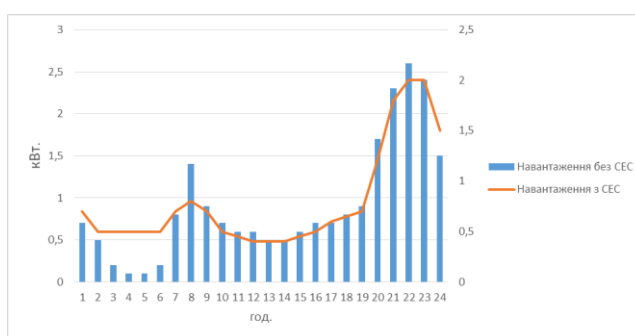


Рисунок 7.2 – Графік навантаження будинку

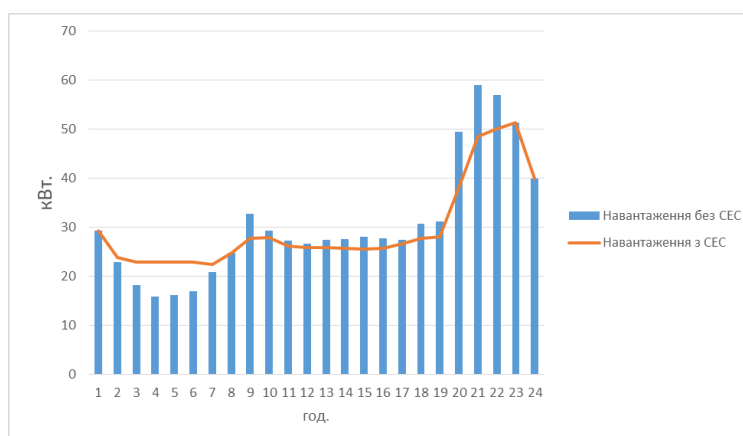


Рисунок 7.3 – Графік навантаження ТП 10/0,4 кВ

Аналіз графіків навантаження свідчить про позитивний вплив сонячної електростанції на роботу електричної мережі, оскільки сумарний графік навантаження ТП 10/0,4 кВ, до якої підключається СЕС, вирівнюється.

7.2 Оцінка впливу сонячних електростанцій на роботу електроенергетичних систем

Аналізуючі вплив сонячних електростанцій на роботу електроенергетичної системи (ЕЕС), слід зазначити, що до їх складу входять інвертори, які перетворюють постійний електричний струм від сонячних батарей в змінний. Ці елементи є

нелінійними, вони призводять до спотворення синусоїдної форми кривої напруги в електричній мережі та зниження якості електричної енергії [22].

Якість електричної енергії (ЯЕ) характеризується показниками, що визначають ступінь відповідності напруги і частоти їх нормованим значенням. На сьогоднішній день в Україні вимоги до якості електричної енергії в точках, до яких приєднуються електроприймачі в мережах загального призначення змінного трифазного струму з частотою 50 Гц, встановлюють два діючі стандарти:

- національний стандарт України ДСТУ EN 50160:2014 [23] ідентичний європейському стандарту EN 50160:2010 [22], який набрав чинність з 01.10.2014 р.;
- міждержавний стандарт ГОСТ 13109- 97 [24], який діє на території України з 01.01.2000 р. і до теперішнього часу не втратив чинності.

Положення зазначених стандартів [22-24] є обов'язковими для виконання і це потребує оцінки впливу сонячної електростанції на такі показники якості електричної енергії (ПЯЕ) в електричній мережі: коефіцієнт спотворення синусоїдності кривої напруги K_U ; коефіцієнт n -ої гармонійної складової напруги $K_{U(n)}$.

Значення коефіцієнту n -ої гармонійної складової напруги у відсотках визначається за виразом:

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{(1)}} \cdot 100, \quad (7.1)$$

де $U_{(1)}$ і $U_{(n)}$ – діючі значення напруг першої і n -ої гармонік.

Коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги визначають у відсотках для діапазону гармонійних складових напруги від 2-ї до 40-ї гармоніки:

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_{(n)}^2}}{U_{\text{НОМ}}} \cdot 100, \quad (7.2)$$

де $U_{\text{НОМ}}$ – номінальна напруга електричної мережі.

Збільшення гармонік при роботі сонячної електростанції в мережі призводить до збільшення значень і коефіцієнту спотворення синусоїдальності кривої напруги, і коефіцієнтів n -ої гармонійної складової напруги. Отже ці ПЯЕ в ме-

режі з сонячними електростанціями слід контролювати та за необхідності вживати заходи до нормалізації якості електроенергії в такій мережі.

Підключення сонячної електростанції до електричної мережі буде впливати на стійкість роботи ЕЕС, в яку дана електростанція видає потужність. Запас статичної стійкості для режиму роботи енергосистем визначається його близькістю до границі області стійкості, яка може бути обумовлена аперіодичним або коливальним порушенням стійкості. Запас статичної стійкості характеризується коефіцієнтами запасу по активній потужності в перетинах енергосистеми і за напругою у вузлах навантаження. Значення коефіцієнта запасу за активною потужністю в перетині визначається за формулою:

$$K_p = \frac{P_{пп} - P - \Delta P}{P}, \quad (7.3)$$

де $P_{пп}$ – активна потужність, яка передається з розглядуваного перерізу (перетік в перетині) в граничному по стійкості режимі;

P – перетік в перетині в розглянутому режимі; $P > 0$;

ΔP – амплітуда нерегулярних коливань активної потужності в перетині в розглянутому режимі. Допускається, що внаслідок нерегулярних коливань перетік P змінюється в діапазоні $P \pm \Delta P$.

Для визначення коефіцієнта запасу статичної стійкості за активною потужністю в перетині схеми виконуються обтяження режиму шляхом збільшення перетоку потужності в перетині до отримання граничного по стійкості режиму.

Значення коефіцієнта запасу за напругою у вузлах навантаження визначаються за формулою:

$$K_U = \frac{U - U_{кр}}{U}, \quad (7.4)$$

де U – напруга у вузлі в розглянутому режимі, $U_{кр}$ – критична напруга в цьому ж вузлі, яка відповідає межі, нижче якої має місце порушення статичної стійкості двигунів.

Для контролю дотримання нормативних запасів по напрузі в експлуатаційній практиці можна використовувати напругу в будь-яких вузлах енергосистеми.

За умовами статичної стійкості енергосистем нормують мінімальні коефіцієнти запасу за активною потужністю в перетинах і мінімальні коефіцієнти запасу за напругою у вузлах навантаження [24], значення яких показано в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Мінімальні значення коефіцієнтів запасу статичної стійкості

Перетікання в перетині:	K_P	K_U
Нормальний режим	0,20	0,15
Післяаварійний режим	0,08	0,10

Для аналізу статичної стійкості при підключенні сонячної електростанції до ЕЕС розглянемо схему, представлену на рис. 7.4. В якості перетину виступає лінія електропередачі (ЛЕП).

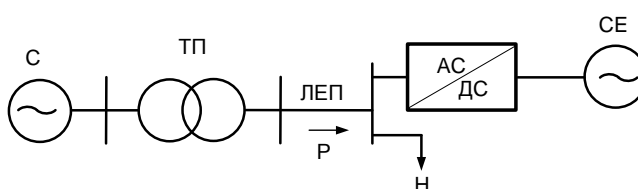


Рисунок 7.4 – Схема підключення сонячної електростанції до ЕЕС

При підключенні сонячної електростанції до ЕЕС потужність, що передається по ЛЕП з надлишкової частини ЕЕС до дефіцитної, зменшується за рахунок покриття навантаження власних споживачів електростанції. Це призводить до збільшення значення коефіцієнта запасу статичної стійкості за активною потужністю в перетині. Стосовно загального балансу активної потужності в ЕЕС, слід відмітити збільшення потужності генеруючих джерел, що також сприяє збільшенню обертаючого резерву та підвищенню запасу статичної стійкості.

7.3 Висновки щодо впливу сонячних електростанцій на роботу ЕЕС

Аналізуючи вплив СЕС на роботу електроенергетичної системи (ЕЕС), слід зазначити наступне:

1. Сонячні електростанції вирівнюють сумарний графік генеруючих потужностей ЕЕС, оскільки генерують і видають потужність в мережу в часи пік.

2. При роботі сонячної електростанції в електричній мережі з'являються гармонійні складові напруги, що призводить до збільшення значень коефіцієнту спотворення синусоїдальності кривої напруги і коефіцієнтів n -ої гармонійної складової напруги; ці ПЯЕ в мережі з сонячними електростанціями слід контролювати та за необхідності вживати заходи до нормалізації якості електроенергії в такій мережі.

3. Підключення сонячної електростанції до ЕЕС призводить до збільшення значення коефіцієнта запасу статичної стійкості за активною потужністю в перетині та сприяє збільшенню обертаючого резерву, що підвищує запас статичної стійкості ЕЕС.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання наукової роботи було зроблено наступне:

1. Розглянуто сучасний стан та перспективи розвитку геліоенергетики в Україні. Виконано аналіз зміни структури генеруючих потужностей в Україні;

2. Виконано оцінку потенціальних можливостей вироблення електричної енергії СЕС, розташованими на території України;

3. Проведено дослідження особливостей конструкції та принцип роботи сонячної електростанції;

4. Виконано аналіз сучасного ринку геліоенергетики для оцінки перспектив побудови різноманітних за структурою СЕС;

5. Запропоновано методичку оцінки економічної ефективності використання СЕС;

5. Розроблено алгоритм вибору СЕС, який дозволяє обґрунтовано приймати рішення щодо структури та комплектації СЕС;

6. Виконано оцінку впливу сонячних електростанцій на роботу ЕЕС, до якої вони підключаються.

Результати проведених досліджень опубліковано у 5 збірниках наукових праць конференцій та у 1 фаховому виданні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Воропай Н. И. Интеллектуальные электроэнергетические системы: концепция, состояние, перспективы / Воропай Н. И. // Автоматизация и ИТ в энергетике. М., 2011. – № 3. – С.25-33.
2. Енергозбереження. Методика розрахунку технологічних втрат електроенергії в мережах електропостачання напругою від 0,38 до 110 кВ включно – К.: Держстандарт України, 1998. – 68 с.
3. Mahat P. Control and Operation of Islanded Distribution System / Mahat P. – Aalborg: Aalborg University, 2010. – 174 p.
4. IEEE 1547. Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems. – Режим доступу: <http://qrouper.ieee.org/groups/scc21/1547/1547index.html>
5. Sen, Z. Solar energy in progress and future research trends // Progress in Energy & Combustion Science. – 2004. – V. 30. – 367-416 p.
6. Атлас енергетичного потенціалу відновлених та нетрадиційних джерел енергії. – К.: Изд. Института возобновляемой энергетики НАН Украины, 2005. – 44 с.
7. Шкурупская И.А. Оценка перспектив развития гелиоэнергетики в Украине. http://www.confcontact.com/2008febr/6_shkurup.php
8. Дюжев, В. Г. Роль комплексной социально-экономической и природоохранной оценки потенциала энергосберегающих инноваций в повышении их инновационной восприимчивости для предприятий и организаций Украины / В. Г. Дюжев, С. В. Сусликов // Вісник Національного політехнічного університету «Харківський політехнічний інститут». Технічний про-грес і ефективність виробництва. – 2008. – № 21.
9. Сусликов, С. В. Совершенствование метода прогнозирования изменения стоимости энергоресурсов в рамках расчета эффективности внедрения технологий гелиоэнергетики / С. В. Сусликов // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2011. – № 6. – 63–67с.
10. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Проект оновленої «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року». – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13>
11. Калиниченко, В. А. «Возобновляемые источники энергии» / В. А. Калиниченко, Р. Титко. – Варшава – Краков – Полтава, 2010. – 525 с.
12. Дудюк, Д. Л. «Нетрадиционная возобновляемая энергетика» / Д. Л. Дудюк, С. С. Мазепа. Львов, 2009. – 188 с.
13. Будзко И.А. Электроснабжение сельского хозяйства / И.А. Будзко,

Н.М. Зуль – М.: Агропромиздат, 1990. – 496 с.

14. Жесан Р.В. Автоматизація управління автономним енергопостачанням з використанням відновлюваних джерел енергії в умовах 120 селянського (фермерського) господарства: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.07 / КДТУ. - Кіровоград, 2001. – 18 с.

15. Лях В.В. Вопросы перспективного развития распределительных электрических сетей напряжением 0,38-154 кВ / В.В. Лях // Электрические сети и системы. – 2003. – №2. – С.8-13.

16. Зорін В.В. Електричні мережі та системи (окремі розділи): навчальний посібник для студентів вищ. техн. навч. закл / В.В. Зорін, Є.А. Штогрин, Р.О. Буйний – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-поліграф», 2011. – 248 с.

17. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения: ГОСТ 27.002-89. – [Чинний від 01.07.1990]. – М.: Госстандарт. – 24 с.

18. Кириленко О.В. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах / О.В. Кириленко, В.В. Павловський, Л.М. Лук'яненко // Технічна електродинаміка. – 2011. – №1. – 46-53 с.

19. SmartGrid: концептуальные положения // Энергорынок. – 2010. – Режим доступу: <https://ipcrem.hse.ru/data/2010/04/29/1218067362/volkova-kobec.pdf>.

20. Закон України "Про електроенергетику" [Прийнятий Верховною радою 16 жовтня 1997 року, зі змінами та доповненнями станом на 10 січня 2011 р.]// Відомості Верховної Ради (ВВР), 1998, N 1, ст.1

21. Закон України від 04.06.2015 № 514-19 Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії / Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2015, N 33, ст.324. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/514-19>

22. EN 50160:2010 Voltage Characteristics of electricity supplied by public distribution networks.

23. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності: ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT). - К.: Держс-тандарт України, 2014. – 27 с.

24. Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97. [Введ. 01.01.2000]. - К.: Изд-во стандартов, 1999. - 31 с.