

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут Електроенергетики
Електротехнічний факультет
Кафедра Електроенергетики

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра
студента Морозова Ігоря Володимировича
академічної групи 141-17-1
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
на тему «Техніко-економічне обґрунтування вибору комбінованої схеми електропостачання індивідуального будівництва»

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Ковальов О.Р.			
розділів:				
Технологічний розділ	Ковальов О.Р.			
Спеціальний розділ	Ковальов О.Р.			
Охорона праці	Столбченко О.В.			
Економічний розділ	Тимошенко Л.В.			

Рецензент			
-----------	--	--	--

Нормоконтролер	Олішевський Г.С.			
----------------	------------------	--	--	--

Дніпро
2021

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
Електроенергетики

_____ Рогоза М. В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 20__ року

**ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню бакалавра**

студенту Морозова Ігоря Володимировича академічної групи 141-17-1
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка
на тему «Техніко-економічне обґрунтування вибору комбінованої схеми
електропостачання індивідуального будівництва» _____,
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від
_____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
1 Технологічний розділ	Огляд сучасних варіантів використання ВДЕ для окремого споживача	4.05.2020-10.05.2020
2 Спеціальний розділ	Розрахунок та вибір обладнання для ФЕС 10 кВт	11.05.2020-31.05.2020
3 Економічний розділ	Економічне обґрунтування використання сонячних панелей для приватного будинку	01.06.2020-07.06.2020
4 Охорона праці	Заходи безпеки при виконанні монтажу та під час експлуатації сонячних панелей	08.06.2020-14.06.2020

Завдання видано _____ Ковальов О.Р.
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі _____
Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання _____
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

Реферат

Пояснювальна записка: 59 сторінок, 13 рисунків, 1 таблиця, 14 джерел.

Об'єкт дослідження: приватний будинок.

Предмет дослідження: розробка та впровадження комбінованої схеми електропостачання для приватного будинку за рахунок сонячних панелей.

Мета роботи: обґрунтований вибір сонячних панелей з метою енергоефективності та економічної доцільності.

У технологічному розділі розглянуті сучасні варіанти та можливості для використання відновлювальних джерел енергії для енергетичної незалежності окремого споживача, принципи роботи відновлювальних систем електропостачання, державні нормативні акти у сфері ВДЕ.

У спеціальному розділі розглянутий та розрахований вибір, технічні характеристики та взаємодія обраного обладнання для ФЕС 10 кВт.

У економічному розділі розраховували рентабельність впровадження даної системи та період окупності .

У розділі з охорони праці були розглянуті засоби охорони праці при монтажі сонячних станцій, при замиканні на землю в електроустановках.

Практичне завдання проекту полягало у виборі ефективної системи комбінованого електропостачання приватного будинку.

Перелік ключових слів: СОНЯЧНА БАТАРЕЯ, ПАНЕЛЬ, СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ, ІНВЕРТОР, ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ МОДУЛІ.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
Розділ 1. Технологічна частина	
1.1 Загальні положення.....	9
1.2 Переваги та недоліки відновлювальних джерел енергії.....	12
1.3 Політика держави в галузі відновлювальної енергетики.....	18
Розділ 2. Спеціальний розділ	
2.1 Вибір потужності фотоелектрично станції.....	26
2.2 Вибір фотоелектричних панелей.....	26
2.3 Вибір інвертора.....	32
2.4 Відповідність потужності сонячних батарей.....	37
2.5 Розрахунок параметрів та схем з'єднань стрінгів ФЕМ для підключення до інверторів.....	37
2.6 Визначення допустимої кількості модулів в колі з урахуванням MPP трекера інвертора.....	41
Розділ 3. Економічна частина	
3.1 Введення в економічну частину.....	46
3.2 Розрахунок капітальних витрат.....	47
3.3 Розрахунок прибутку.....	49
Розділ 4. Охорона праці	

4.1 Сонячні панелі.....	53
4.2 Небезпека замикання за землю в електроустановках.....	55
4.3 Пожежо- і вибухо- небезпечний пил.....	56
Висновок.....	58
Перелік посилань.....	59

ВСТУП

Відновлювані джерела енергії (сонячні батареї, вітрові генератори, геотермальні установки, тощо) знайшли широке застосування в якості змішаних, автономних і резервних систем електропостачання (СЕП) сучасних індивідуальних будинків, котеджів, інших дрібних споживачів. Такі системи дозволяють забезпечити споживача електроенергією, як при повній відсутності централізованої системи електропостачання, так і при тимчасових збоях в роботі СЕП. Але найбільший інтерес представляють комбіновані системи, здатні не тільки в повній мірі виконувати функції резервного та автономного електропостачання, а й істотно зменшувати споживання електричної енергії від централізованої СЕП. Максимальний ефект може бути отриманий за умови створення інтелектуальної системи управління режимами енергоспоживання і спеціально розробленої схеми підключення споживача до мережі.

У комбінованих СЕП мінімізація витрат, пов'язаних зі споживанням електроенергії від мережі, досягається за рахунок використання відновлюваної енергії (вітру, сонця, тепла Землі, палива). Максимальна ефективність такої комплексної системи електропостачання може бути досягнута шляхом автоматичної підтримки коефіцієнта завантаження поновлюваного джерела близьким до одиниці з урахуванням змінного характеру швидкості вітру, ступеня освітленості, а також з урахуванням змінного графіка включення електричних навантажень споживача.

Для підвищення надійності комбінована СЕП може бути доповнена дизель-електричною установкою.

Основною перевагою запропонованої системи є висока енергетична ефективність за рахунок гнучкості розподілу навантажень і максимального використання енергії навколишнього середовища.

РОЗДІЛ 1
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальні положення

Сонячна енергія - кінетична енергія випромінювання (в основному світла), що утворюється в результаті реакцій в надрах Сонця. Сонце - невичерпне, екологічно безпечний і дешевий джерело енергії. За запевненнями експертів кількість сонячної енергії, яка надходить на поверхню Землі протягом тижня, перевищує енергію всіх світових запасів нафти, газу, урану і вугілля. Сонячна енергетика є «чистою» і не надає негативного впливу на екологію планети.

На практиці сонячна радіація може бути перетворена в електроенергію безпосередньо чи опосередковано. Непряме перетворення може бути здійснено шляхом концентрації радіації за допомогою стежачь дзеркал для перетворення води в пару і подальшого використання пару для генерації електроенергії звичайними способами. Така система може працювати тільки при прямому освітленні сонячними променями. Пряме перетворення сонячної енергії в електричну може бути здійснено з використанням фотоелектричного ефекту. Елементи, виготовлені зі спеціального напівпровідникового матеріалу, наприклад силікону, при прямому сонячному опроміненні виявляють різницю в вольтажі на поверхні, тобто наявність електричного струму.

Сонячна енергія, як відомо, може бути безпосередньо перетворена в електричну за допомогою фотоперетворювачів двох типів - фотоелектричних, що реалізують фотовольватічеській ефект, і Фотоемісійні, в яких опромінені сонячним світлом випускають (емітують) електрони, захоплювані провідниками, розташованими під поверхнею емітера. Практичне застосування знайшов лише перший метод фотоперетворення внаслідок його значно більше високої енергетичної ефективності. Вирішальним фактором для цього напрямку

стало створення кремнієвих фотоелементів з р-n переходом, що мали ККД близько 6%.



Рис 1.1 Загальний вигляд сонячної електростанції

Важливим моментом є той факт, що сировиною для виготовлення фотогальванічних елементів є один з найбільш часто зустрічаються елементів - кремній. У складі земної кори кремній є другим елементом після кисню (29,5% по масі). На думку багатьох вчених, кремній - це «нафта двадцять першого століття», тому що протягом 30 років один кілограм кремнію в фотоелектричній станції виробляє стільки електрики, скільки 75 тонн нафти на тепловій електростанції.

Однак деякі експерти вважають, що сонячну енергетику не можна назвати екологічно безпечною огляду на те, що виробництво чистого кремнію для фотогальванічних елементів є досить «брудним» і дуже енергоємним виробництвом. Поряд з цим, будівництво сонячних електростанцій вимагає відведення великої кількості земель, які можна порівняти з площею водосховищами ГЕС. Ще одним недоліком сонячної енергетики, на думку фахівців, є висока волативність, тобто варіація як технічних параметрів фотоелементів, так і цінових характеристик. Забезпечення ефективної роботи енергосистеми, елементами яких є сонячні електростанції, можливо за умови:

- наявності значних резервних потужностей, що використовують традиційні енергоносії, які можна підключити вночі або в похмурі дні;
- проведення масштабної і дорогої модернізації електромереж.

Незважаючи на зазначений недолік, сонячна енергетика продовжує свій розвиток в світі. Перш за все, з огляду на те, що промениста енергія буде дешевшати і вже через кілька років складе вагому конкуренцію нафти і газу. На даний момент в світі існують фотоелектричні установки, які перетворюють сонячну енергію в електричну на основі методу прямого перетворення, і термодинамічні установки, в яких сонячна енергія спочатку перетворюється в тепло, потім в термодинамічній циклі теплової машини перетворюється в механічну енергію, а в генераторі перетворюється в електричну.

Сонячні елементи як джерело енергії можуть застосовуватися:

- в промисловості (авіапромисловість, автомобілебудування, тощо);
- в сільському господарстві;
- в побутовій сфері;
- в будівельній сфері (наприклад, еко-будинки);
- на сонячних електростанціях;

- в автономних системах відеоспостереження;
- в автономних системах освітлення;
- в космічній галузі.

Вітроенергетика - одна з галузей енергетики, що спеціалізується на отриманні енергії від руху повітряних мас, шляхом перетворення кінетичної енергії в інші форми. Тобто, це різні способи відбирання енергії у вітру з метою отримати електрику, тепло або можливість пересуватися.

Енергію вітру відносять до поновлюваних видів енергії, так як вона є наслідком активності Сонця. Вітроенергетика є бурхливо розвивається галуззю.



Рис 1.2 Загальний вигляд вітряної електростанції

1.2 Переваги та недоліки відновлювальних джерел енергії

Вітроенергетика

Незважаючи на масове виробництво, вартість будівництва сучасної вітрової електростанції велика. Однак, слід зазначити, що незначна вартість її експлуатації. Екологічні та економічні вигоди залежать від правильного розташування. Вимагає це детального і всебічного аналізу як технічних аспектів, так і екологічних, а також фінансових. Вітряна енергетика відповідає всім умовам, необхідним для зарахування її до екологічно чистим методам виробництва енергії. Її основними перевагами є:

- Відсутність забруднення навколишнього середовища - виробництво енергії з вітру не призводить до викидів шкідливих речовин в атмосферу або утворення відходів.
- Використання поновлюваного, невичерпного джерела енергії, економія на паливі, на процесі його видобутку і транспортування.
- Територія в безпосередній близькості може бути повністю використана для сільськогосподарських цілей.
- Стабільні витрати на одиницю отриманої енергії, а також зростання економічної конкурентоспроможності в порівнянні з традиційними джерелами енергії.
- Мінімальні втрати при передачі енергії - вітряна електростанція може бути побудована як безпосередньо у споживача, так і в місцях віддалених, які в випадку з традиційною енергетикою вимагають спеціальних підключень до мережі.
- Просте обслуговування, швидка установка, низькі витрати на технічне обслуговування і експлуатацію.
- Що стосується потреби вітряних електростанцій в великих площах, то це швидше особливість, а не негативна властивість, та й сучасні прибережні і шельфові установки на родючі землі не претендують.

Противники вітряної енергетики знаходять в ній також і недоліки. Більшість потенційних перешкод для використання цього виду енергії надмірно пропагуються як недоліки, які унеможливають її розвиток. У порівнянні зі шкодою, яка заподіюється традиційними джерелами енергії, вони незначні:

- Високі інвестиційні витрати - вони мають тенденцію до зниження у зв'язку з новими розробками і технологіями. Також вартість енергії з вітру постійно знижується.
- Мінливість потужності в часі - виробництво електроенергії залежить, на жаль, від сили вітру, на яку людина не може вплинути.
- Шум - дослідження шуму, виконані з використанням новітнього діагностичного обладнання, не підтверджують негативного впливу вітряних турбін. Навіть на відстані 30-40 м від працюючої станції, шум досягає рівня шуму фону, тобто рівня середовища проживання. 4. Загроза для птахів - відповідно до останніх досліджень, ймовірність зіткнення лопатей вітряка з птахами не більш, ніж в разі зіткнення птиці з високовольтними лініями традиційної енергетики.
- Можливість спотворення прийому сигналу телебачення - незначна.
- Зміни в ландшафті.

Незважаючи на всі переваги, вітряки мали серйозні недоліки. Ефект їх роботи залежав від погодних умов, тому в безвітряні дні і дні, коли вітер дуже сильний, вітряки не могли працювати. Однак, енергія всіх видів була, є і буде нам потрібна. Саме слово «енергія» походить від грецького слова *energia* і означає діяльність, активність. Її використання може бути різноманітним. Найбільш за все ми потребуємо в ній в промисловому виробництві, опаленні, транспорті, для освітлення. На початку вона поставлялася нам з навколишнього середовища

(природні ресурси), такі як буре вугілля, деревина або нафту. Сьогодні важко уявити собі життя без електроенергії.

Сонячна енергетика

До переваг можна віднести:

- **Відтворюваність:** Сонячна енергія є поновлюваним джерелом енергії, на відміну від таких викопних видів палива (непоновлювані джерела енергії) як вугілля, нафта, газ, які за останніми даними можуть відновлюватися, але з дуже малою швидкістю, що в майбутньому їх вже не буде вистачати для постачання енергією всього населення планети.
- **Невичерпність:** Сонячна енергія невичерпна, її не можна виробити занадто багато, і її завжди вистачить на абсолютно всі потрібні людства протягом ще багатьох поколінь.
- **Кількість енергії:** Кількість енергії від Сонця на Землю щорічно надходить близько 1 мільярда терават-годин, в той час як людство виробляє приблизно 20 тисяч терават-годин на рік, тобто, 0,002% від сонячної енергії, що приходить на Землю.
- **Безшумність:** Безшумність систем сонячної енергетики досягнута завдяки тому, що в ній немає рухомих частин, як наприклад в вітрової установки великої потужності, де є ротор.
- **Велика область використання:** Сонячна енергія - це те, що можна використовувати для віддалених регіонів будь-якої країни, де немає централізованого енергопостачання. Цю енергію можна використовувати як нагрівальний елемент, як допоміжне обладнання для збільшення обсягу видобутку прісної води в далеких населених пунктах Єгипту, і звичайно

це один з основних джерелом енергії для міжнародної космічної станції (МКС) і супутників, так як в космосі потужність сонячного випромінювання гораздовише ніж на поверхні Землі.

- Економія експлуатації: Використовуючи сонячні панелі в якості альтернативного джерела енергії, власники будівель і приватних будинків отримують більшу економію. Вирішальним фактором у галузі обслуговування є те, що витрати на обслуговування дуже низькі. Для обслуговування сонячних панелей необхідно лише кілька разів на рік чистити їх, в той час як гарантія виробника починається від 10 років.
- Повсюдність: Сонячна енергія надходить в ті місця, де світить сонце, то є абсолютно в усі частини планети, як на екватор так і в північні широти, що дозволяє добувати сонячну енергію повсюдно.
- Екологія: Екологія, одна з найгостріших проблем в сучасному світі. З екологічною проблемою людство бореться всіма силами, але переважне використання невідновлюваної палива призводить до великого забруднення навколишнього середовища, величезна кількість відходів складаються на величезних територіях, що вже згубно позначається на природі і здоров'я людини. У той час як сонячна енергетика є найбільш екологічно безпечною енергією, так як при установці сонячних панелей і всього супутнього обладнання практично не викидом шкідливих речовин в навколишнє середовище.
- Передові технології: Сонячна енергетика не стоїть на місці. Щороку з'являються все нові розробки з більш кращих матеріалів, збільшується ККД сонячної панелі, що дозволяє сонячним панелям займати все менше місця і виробляти все більше енергії. Сучасні розробки в області

технології виготовлення сонячних панелей дозволять збільшити ККД в доступному для огляду майбутньому до 50%.

До недоліків можна віднести наступне:

- Велика вартість: це є частою причиною відмови купувати сонячні панелі, так як на початковому етапі вони вимагають великих вкладень і люди не можуть собі цього дозволити. Але в багатьох країнах, що розвиваються уряд допомагає своїм громадянам придбати і встановити сонячні електростанції, видаючи їм кредити і допомагаючи їм оформити всі потрібні документи для цього. У цій області Росія дуже сильно відстає, і тому це є проблемою для великого відсотка населення.
- Забруднення навколишнього середовища: як згадувалося раніше, сонячна енергія є найбільш екологічно чистим бачимо енергії. Але для її видобутку необхідно виробляти сонячні панелі, при виробництві яких в атмосферу викидаються парникові гази, і хімічні сполуки, небезпечні для навколишнього середовища і людини.
- Низька потужність на квадратний метр: один з найважливіших параметрів електроенергії є середня щільність потужності на квадратний метр (m^2), який вимірюється в $Вт / m^2$ і кількість енергії, які можна отримати з одиниці площі. Для сонячної енергетики цей показник в середньому дорівнює $170 \text{ Вт} / m^2$, дане значення більше ніж у всіх використовуваних поновлюваних джерел енергії, але в порівнянні з традиційними джерелами енергії (нафта, вугілля, газ, атомна енергія) цей показник набагато нижчий. Що призводить до збільшення площі сонячних панелей для видобутку 1 кВт енергії.

- Переривчастий цикл: сонце не світить вночі, і в похмурі дні кількість виробленої енергії відчутно знижується, що в багатьох випадках робить сонячну енергію не основним джерелом електроенергії. Але навіть з огляду на ці фактори, сонячна енергія залишається набагато стабільніше, ніж, наприклад, також поширена вітроенергетика.
- Проблеми акумулювання енергії: акумуляторні батареї потрібні в даній галузі для акумулювання енергії і періодичного згладжування нерівномірного надходження енергії від сонячних панелей. Їхній головний мінус - ціна, так як АКБ великих потужностей стоять задоволеного дорого, і не кожній людині доступна така ціна. Часткове вирішення цієї проблеми полягає в тому, що пікове навантаження припадає на світлий час доби, де практично всю необхідну енергію виробляють сонячні панелі.
- Використовувані елементи: для виготовлення сонячної панелі потрібні матеріали, які є рідкоземельними, що збільшує їх вартість і робить їх дуже важкими у виготовленні і утилізації. У підсумку це призводить до істотного збільшення цін на сонячні панелі.

В цілому можна затвердити, що Світ поступово відмовляється від традиційних джерел енергії і у близькому майбутньому частка альтернативної енергетики стане переважною на ринку електроенергетики.

1.3 Політика держави в газузі відновлювальної енергетики

Законодавство України у сфері альтернативної енергетики виділяє такі положення:

- Закон України «Про альтернативні джерела енергії»;

- Закон України «Про внесення змін до статті 9 Закону України "Про альтернативні джерела енергії" щодо врегулювання питання генерації електричної енергії приватними домогосподарствами» ;
- Розпорядження кабінету Міністрів України від 1 жовтня 2014 р. № 902-р «Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року» ;
- Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, Постанова КМУ від 30.08.2019 № 1817 «Про затвердження Порядку встановлення, перегляду та припинення дії «зеленого» тарифу на електричну енергію для суб'єктів господарської діяльності, споживачів електричної енергії, у тому числі енергетичних кооперативів, та приватних домогосподарств, генеруючі установки яких виробляють електричну енергію з альтернативних джерел енергії»;
- Кабінет Міністрів України, Постанова від 19 червня 2019 р. № 556 «Про внесення змін до Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2020 роки»;

Закон України «Про альтернативні джерела енергії» визначає терміни :

- альтернативні джерела енергії - відновлювані джерела енергії, до яких належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, гідротермальна, аеротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний

гази, газ метан-дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів;

- альтернативна енергетика - сфера енергетики, що забезпечує вироблення електричної, теплової та механічної енергії з альтернативних джерел енергії;
- енергія, вироблена з альтернативних джерел, - електрична, тепла та механічна енергія, яка виробляється на об'єктах альтернативної енергетики і може виступати товарною продукцією, призначеною для купівлі-продажу;
- об'єкти альтернативної енергетики - енергогенеруюче та інше обладнання, що виробляє енергію за рахунок використання альтернативних джерел енергії, частка яких становить не менш як 50 відсотків від встановленої потужності всіх задіяних на об'єкті джерел енергії;
- сфера альтернативних джерел енергії - галузь діяльності, що пов'язана з використанням альтернативних джерел енергії для виробництва, постачання, транспортування, зберігання, передачі та споживання енергії, виробленої з альтернативних джерел;
- відновлювані джерела енергії - відновлювані невикопні джерела енергії, а саме енергія сонячна, вітрова, аеротермальна, геотермальна, гідротермальна, енергія хвиль та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів;
- вітрова електростанція - група вітрових електричних установок або окрема вітрова електроустановка, устаткування і споруди, розташовані на певній території, які функціонально пов'язані між собою і становлять єдиний комплекс, призначений для виробництва електричної енергії шляхом перетворення кінетичної енергії вітру в електричну енергію;

- вітрова електроустановка - електрична установка, що перетворює кінетичну енергію вітру в електричну енергію;
- «зелений» тариф - спеціальний тариф, за яким закуповується електрична енергія - та малими гідроелектростанціями).

Зелений тариф в Україні - це механізм, що стимулює використовувати поновлювані джерела енергії. Ви встановлюєте в приватному будинку або на іншій вашої території сонячну електростанцію і укладаєте договір з державою, за яким вона зобов'язана купувати у вас надлишок виробленої енергії в 4-5 разів дорожче тарифів споживання. Таким чином, за 4-7 років вартість обладнання повністю окупається, а далі - чистий дохід, вироблена на об'єктах електроенергетики, зокрема на введених в експлуатацію чергах будівництва електричних станцій (пускових комплексах), з альтернативних джерел енергії (а з використанням гідроенергії - лише мікро-, міні д.

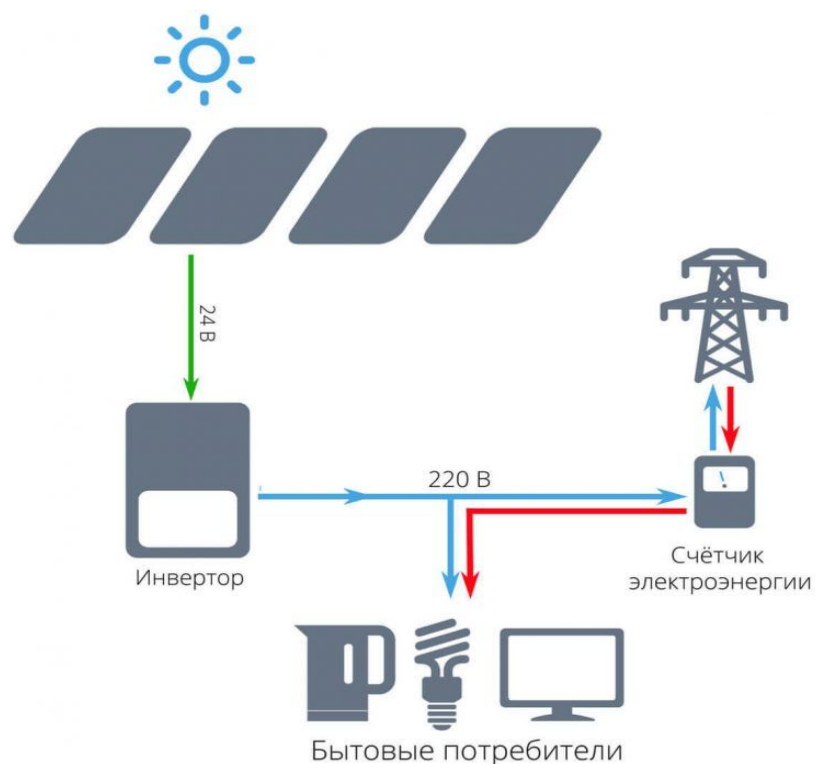


Рис 1.3 Типова схема мережевої домашньої сонячної електростанції, яка працює за зеленим тарифом

В Україні "зелений тариф" працює з 2009-го року. З кожним роком все більше українців переходить на альтернативну енергетику і підключається до програми "зелений тариф". Причини очевидні: економія на комунальних платежах, які постійно зростають, екологічність і додатковий дохід. Чим більше пропозицій, тим менше попит, тому тарифи з кожним роком знижуються: чим раніше ви підключилися до програми, тим вище ваш фіксований тариф. Важливо: підключення до програми не вимагає ніяких ліцензій, "зелений тариф" діє для юридичних і фізичних осіб однаково.

Зелений тариф в Україні в 2021 як і раніше привабливий для потенційних інвесторів домашніх сонячних електростанцій. На сьогоднішній момент тариф становить 0,164 EUR за 1 кВт • год переданий в загальну електромережу.

Насамперед потрібно розібратися з обладнанням: сонячні батареї не універсальні, перед установкою вам потрібна консультація фахівця, який підбере модель конкретно для вашого приватного будинку або іншій території. Максимальна потужність обладнання, яке може брати участь в "зелений тариф" в Україні - 30 кВт. Навіть якщо ваш приватний будинок споживає набагато менше енергії, є сенс підключати обладнання максимальної потужності - це принесе більше прибутку, так як держава купує абсолютно весь надлишок електрики.

Для точного підрахунку виробленої і витраченої сонячної енергії на об'єкт встановлюється двонаправлений лічильник з комунікаційним модулем GSM \ GPRS. Такий прилад передає дані про вашому енергообороте в Обленерго. Зазвичай, передача даних здійснюється кожні півгодини і в кінці місяця підсумовується в загальну цифру згенерованої і використаної енергії. За вибір

моделі лічильника відповідальність несе ви, а за передачу даних - Обленерго. З питанням підбору лічильника найкраще звернутися до фахівців, які займаються підключенням обладнання на ваш об'єкт, вони підберуть оптимальний варіант.

У зв'язку з постійним зростанням ціни на мережеву електроенергію все більше і більше людей замислюються про рішення, які допоможуть зменшити витрати на утримання будинку. Одним з таких рішень є покупка сонячних батарей для виробництва власної сонячної електроенергії. Сонячні батареї вартість мають не найнижчу, але їх установка допоможе вам стати більш незалежним від підняття цін на енергоресурси.



Рис 1.4 Динаміка встановлень домашніх сонячних станцій по роках в Україні

Багато хто думає що нові сонячні панелі в Україні ефективні тільки влітку, а взимку взагалі не працюють. Це не так, сонячні батареї виробляють електроенергію цілий рік, але в зв'язку з менш активним зимовим сонцем, в цей час виробляють її менше. Більш того, купити сонячні батареї це не тільки економити електроенергію, а й можливість на ній добре заробляти за допомогою Зеленого тарифу. Надлишки виробленої за допомогою альтернативних джерел електроенергії держава зобов'язана купити у власника будинку за ціною, що значно перевищує вартість мережевий електроенергії. До всього цього варто сказати, що ціна сонячних панелей з кожним роком стає все нижче і нижче, тому пропозиція купити сонячні батареї сьогодні стало особливо привабливим.

РОЗДІЛ 2
СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір потужності фотоелектричної станції

Особливою популярністю в сегменті домашніх сонячних електростанцій користуються дахові проекти, в яких сонячні батареї розміщуються не на земельній ділянці, а на даху будівлі або споруди. Дахове розміщення сонячних батарей дозволяє більш раціонально використовувати площу наявних земельних ділянок та одночасно отримувати додаткову вигоду від дахів, які крім своєї основної функції при цьому починають брати участь в генерації "сонячної" електроенергії.

Тому приймаємо рішення обрати потужність в **10 кВт**, оскільки ми можемо зекономити площу нашої ділянки, тому будемо монтувати сонячні панелі на даху.

2.2 Вибір фотоелектричних панелей

Для початку обираємо кут нахилу панелей, виходячи з нашого географічного місцезнаходження, а саме в місті Дніпро:

$$\text{Кут нахилу панелі} = \text{широта} \times 0,76 + 3,1^\circ.$$

Географічна широта у місті Дніпро дорівнює $48^\circ 27'$ пн.ш.

$$\text{Кут нахилу панелі} = 48^\circ 27' \times 0,76 + 3,1^\circ = \mathbf{39^\circ 78'},$$

тобто приблизно 40° .

Орієнтація за сторонами світу:

Визначення поправочного коефіцієнту K_w при орієнтації панелей за сторонами світу.

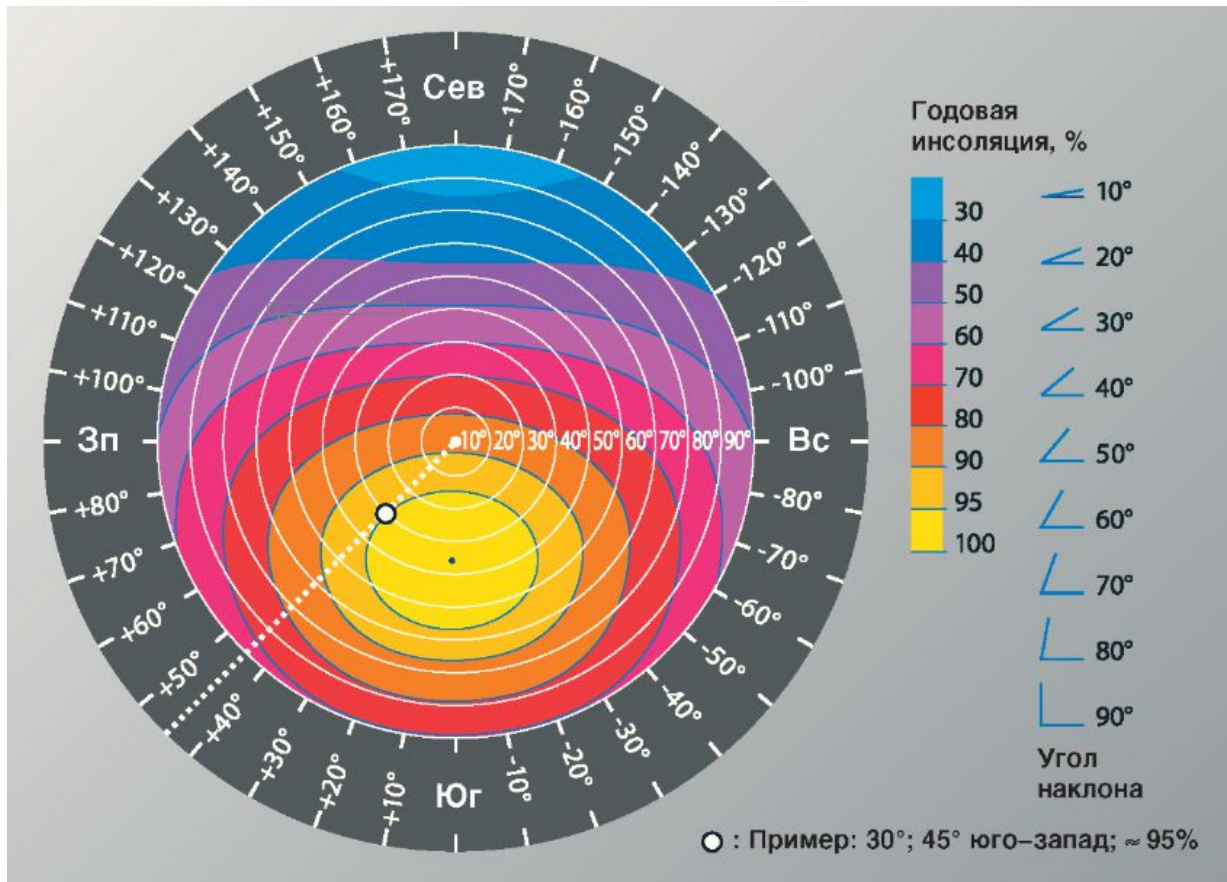


Рис. 2.1 Визначення поправочного коефіцієнта на розташування сонячних фотомодулів

Розташуємо наші панелі на ПД-ЗХ 50°, кут нахилу панелей 40°,

$$K_w = 0,9$$

Номінальні параметри ФЕС

STC (Standard Test Conditions), що визначає стандартні тестові умови:

- рівень інсоляції повинен бути 1000 Вт на м²;
- температура сонячного модуля – 25°C;
- спектр випромінювання повинен відповідати відносній масі атмосфери 1,5;
- швидкість вітру 0 м/с.

Це відповідає орієнтації панелей на південь під кутом до горизонту в 37 ° і модулює наближені до весняних умов роботи модуля, на який сонячні промені опівдні падають перпендикулярно поверхні.

На практиці це означає, що тільки деколи фотопанелі зможуть видавати заявлену виробником потужність, вираховану за стандартом STC. Будь-яке відхилення від стандарту, наприклад, кута падіння сонячних променів або температури модуля буде призводити до зниження фактично вироблюваної потужності.

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) - температура модуля при типових умовах експлуатації, яка стало однією з основних характеристик панелей.

NOCT визначається за таких умов:

- інсоляція 800 Вт/м²;
- температура повітря 20°C;
- орієнтації модуля на ПД.

Чим нижче NOCT панелі, тим краще вона буде працювати. Залежно від використовуваних матеріалів і якості монтажу, температура модуля може бути на 15-30°C вище температури навколишнього середовища. Чим вище це значення, тим більше енергії буде втрачатися.

Завжди потрібно звертати увагу на параметр NOCT при виборі фотомодуля:
у якісного виробника він не перевищує 47 ° С.

Так само, дуже важливо знати, що NOCT має на увазі відкриту задню поверхню модуля для можливості природного охолодження, ось чому необхідно при монтажі завжди залишати зазор між панелями і покрівлею. В іншому випадку, панелі перегріються і їх коефіцієнт корисної дії впаде.

За допомогою NOCT можна перерахувати потужність, заявлену в стандарті STC на більш реалістичний PTC (Photovoltaics Test Conditions), який враховує вже не температуру самого сонячного елемента, а температуру навколишнього середовища.

Очікувана температура модуля обчислюється з NOCT за формулою:

$$T_{PTC} = 20 + 1,389 \times (NOCT - 20) \times (0,9 - \eta_{фем})$$

Передбачається, що 10% енергії відбивається.

Частина енергії перетворюється в електрику - це корисна енергія модуля, ККД, відсоток якого вказано в технічних характеристиках

Якщо температура елемента для умов PTC визначена, то можна обчислити потужність по PTC з потужності STC за допомогою температурного коефіцієнта (зазначеного в технічних характеристиках) потужності (C_T):

$$P_{PTC} = P_{STC} \cdot [1 - C_T (T_{PTC} - 25^\circ\text{C})]$$

Оптимальним є значення співвідношення P_{PTC} / P_{STC} , що перевищує 88%.

Прийmemo якісні фотоелектричні модулі виробництва **JA Solar (TIER-1)**, які мають характеристики:

- сертифікована STC-потужність 275 Вт;
- $NOCT = 45 \text{ }^\circ\text{C}$;
- ККД $\eta_{фем} = 16,83\%$;
- температурний коефіцієнт потужності $C_T = 0,41\% / \text{ }^\circ\text{C}$ (0,0041 в.о.).

Підставивши значення в формули, можна легко підрахувати, що:

$$T_{PTC} = 20 + 1,389 \times (45 - 20) \cdot (0,9 - 0,1683) = 45,41 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_{PTC} = 275 \cdot (1 - 0,0041 \cdot (45,41 - 25)) = 252 \text{ Вт}$$

Це складає $P_{PTC} / P_{STC} = 91,63\%$ від номіналу.

Середньорічне потрапляння сонячної енергії за добу:

$$W_{\text{ср.доб}} = 3,36 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2.$$

Сумарне потрапляння сонячної енергії (інсоляція) за рік на 1 м^2 площі:

$$W_{\text{річ}} = W_{\text{ср.доб}} \cdot 365 = 3,36 \cdot 365 = 1226,4 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2.$$

$$W_{\text{ср.доб.фем}} = W_{\text{ср.доб}} \cdot \eta_{\text{фем}} \cdot S_{\text{фем}} = 3,36 \cdot 0,1683 \cdot 1,635 = 0,92 \text{ кВт} \cdot \text{год за добу}$$

(в середньому протягом року)

де $S_{\text{фем}} = 1,635$ площа фотоелектричного модуля (панелі), м^2

$$W_{\text{річ.фем}} = W_{\text{доб.фем}} \cdot 365 = 0,92 \cdot 365 = 335,8 \text{ кВт} \cdot \text{год за рік}$$

(виробництво електричної енергії 1 ФЕМ типу JAP60S01-275 за рік)

Для взятих до уваги панелей потужністю 275 Вт (за паспортом), які в реальних умовах даватимуть 252 Вт (попередні розрахунки $P_{\text{РТС}}$) для спорудження станції потужністю 10 кВт необхідно задіяти певну кількість ФЕМ, яка розраховується за спрощеною формулою

$$N_{\text{фем}} = P_{\text{ФЕС}} / (P_{\text{РТС.фем}} \cdot \eta_{\text{інв}} \cdot K_w) = 10000 / (252 \cdot 0,97 \cdot 1) = 41 \text{ шт}$$

Тоді річне виробництво електричної енергії станцією потужністю 10 кВт, яка складається з 41 ФЕМ типу JAP60S01-275 та інвертора (Fronius, SMA, Huawei, АВВ) потужністю 10 кВт) складе:

$$W_{\text{річ.ФЕС}} = W_{\text{річ.фем}} \cdot N_{\text{фем}} = 335,8 \cdot 41 = 13767,8 \text{ кВт} \cdot \text{год за рік}$$

Розраховуємо електричну енергію, яку виробить станція протягом січня (01-місяць) та червня (06 – місяць): попередньо визначимо площу станції, тобто площу поверхні, яка перетворюватиме енергію сонця в електричну:

$$S_{\text{ФЕС}} = S_{\text{фем}} \cdot N_{\text{фем}} = 1,635 \cdot 41 = 66,9 \text{ м}^2$$

$$W_{\text{ср.доб.01}} = 1,21 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2/\text{день}$$

$$W_{01} = W_{\text{ср.доб.01}} \cdot N_{\text{дiб.01}} \cdot (S_{\text{ФЕС}} \cdot \eta_{\text{ФЕМ}} \cdot \eta_{\text{iнв}} \cdot K_w) = 1,21 \cdot 31 \cdot 66,9 \cdot 0,1683 \cdot 0,97 \cdot 1 = 409,4$$

кВт·год

$$W_{\text{ср.доб.06}} = 5,57 \text{ кВт·год/м}^2/\text{день}$$

$$W_{06} = W_{\text{ср.доб.06}} \cdot N_{\text{дiб.06}} \cdot (S_{\text{ФЕС}} \cdot \eta_{\text{ФЕМ}} \cdot \eta_{\text{iнв}} \cdot K_w) = 5,57 \cdot 30 \cdot 66,9 \cdot 0,1683 \cdot 0,97 \cdot 1 = 1823,8$$

кВт/год

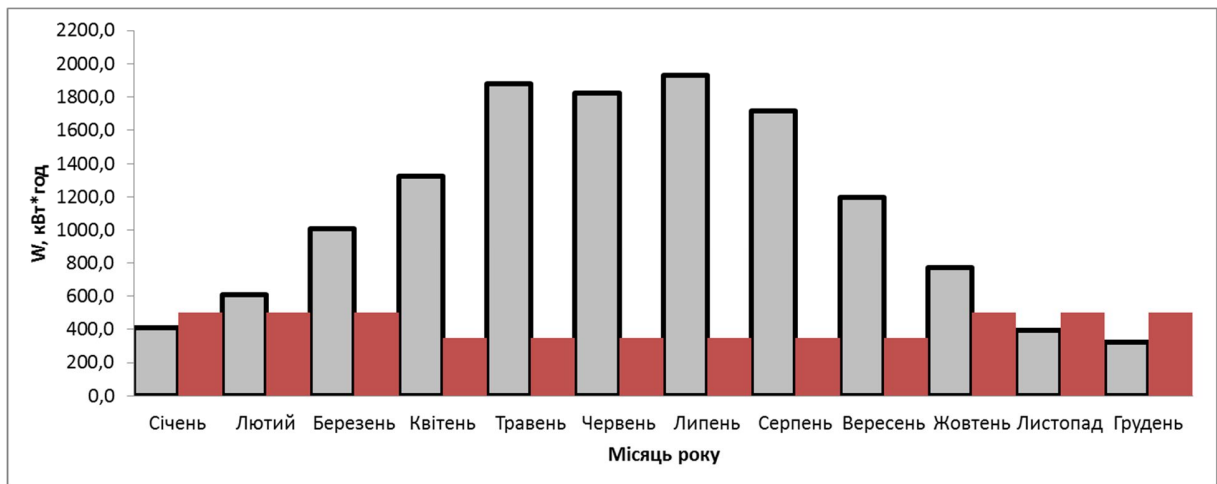


Рис. 2.2 Діаграма річного виробництва/споживання електричної енергії домогосподарством

2.3 Вибір інвертора

Інвертор служить для перетворення постійного струму (DC), який виробляють сонячні елементи, в змінний (AC). Ця конвертація необхідна для передачі згенерованої сонячної енергії в розподільну мережу і використання цієї енергії споживачами змінного струму.

При проектуванні фотовольтаїчних систем і виборі інвертора, враховують яка частина виробленої енергії зможе бути ефективно перетворена інвертором, тому в своїх проектах в міру можливості необхідно підібрати оптимальний коефіцієнт навантаження інвертора.

Коефіцієнт навантаження інвертора або DC/AC ratio визначається відношенням потужності масиву сонячних панелей до номінальної потужності інвертора. У багатьох випадках для підвищення економічної вигоди та ефективності роботи фотовольтаїчної системи необхідно збільшувати потужність сонячних панелей, так щоб коефіцієнт навантаження інвертора був більше 1. Таке рішення дозволяє збільшити кількість переданої енергії в мережу в той час, коли потужність сонячних панелей нижче номінальної потужності інвертора.

Вибір інвертора повинен починатися з визначення типу сонячної фотоелектричної установки: мережева, автономна, гібридна. Кожна з перерахованих систем має свої особливості, під які підходить тільки спеціальний інвертор.

Наступний етап – це визначення потужності сонячних батарей, місце та спосіб їх установки.

Всі ці фактори впливають на вибір конкретної моделі інвертора та кількості контролерів MPPT у ньому.

Потужність ФЕС визначається потужністю інверторного обладнання, встановленого на ній. Тому кількість інверторів може бути розрахована наступним чином:

$$N_{\text{інв}} = P_{\text{ФЕС}} / P_{\text{ном.інв}}, \text{ де}$$

$P_{\text{ФЕС}}$ – потужність фотоелектричної станції, відповідно до технічних умов, кВт;

$P_{\text{ном.інв}}$ – номінальна одинична потужність інвертора, прийнятого до встановлення, кВт.

Номінальна потужність мережевого інвертора на стороні змінного струму АС визначає максимальну потужність, яка може бути видана в мережу, до якої підключен інвертор. Цей параметр завжди вказується в технічному паспорті. Інвертор для оптимальної ефективності повинен працювати як можливо ближче до номінальної потужності. Ефективність перетворення (ККД) може складати до 98% в залежності від моделі. Якщо потужність генеруючого струму від сонячних батарей падає, наприклад, в похмурий день, коли сонячна інтенсивність не перевищує 200 Вт/м², ефективність інвертора різко падає.

Потужність по постійному струму DC, як правило не фіксована і визначається на основі вихідної потужності. Оптимальний діапазон потужності сонячних батарей складає від 80 до 120% від номінальної вихідної потужності інвертора.

Енергія порядку 1000 Вт/м² протягом всього року становить всього від декількох днів до декількох годин, що становить лише 1-2% від загального часу сонячного випромінювання. В час, що залишився потужність сонячного випромінювання не перевищує 800-900 Вт/м². Це означає, що 98% часу сонячні батареї працюють максимум на 80-90% від їх потужності.

Потужність сонячних батарей падає з часом експлуатації, це пов'язано з ефектом деградації кремнієвих фотоелементів. Цей процес проходить доволі повільно, но вже в перший рік роботи продуктивність падає в середньому на 1-2%. З цього слідує, що сонячні батареї ніколи не досягнуть номінальної потужності для умов STC, заданої заводом-виробником.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)

ОБЩИЕ ДАННЫЕ	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Габариты (высота x ширина x глубина)	725 x 510 x 225 мм				
Масса	34,8 кг		43,4 кг		
Степень защиты	IP 66				
Класс защиты	1				
Категория перенапряжения (пост. ток/перем. ток)*	2 / 3				
Потребление в ночное время	< 1 Вт				
Конструкция инвертора	Бестрансформаторная				
Охлаждение	Регулируемое воздушное охлаждение				
Установка	Установка внутри и вне помещений				
Диапазон температур окружающей среды	-40 - +60 °C				
Допустимая влажность	0 - 100 %				
Макс. высота	2 000 м / 3 400 м (неограниченный диапазон с напряжений)				
Технология подключения цепей постоянного тока	6 x постоянный ток прямой полярности и 6 x постоянный ток обратной полярности, зажимные контакты 2,5 - 16 мм ²				
Сетевое подключение	5- полюсов переменного тока, зажимные контакты 2,5 - 16 мм ²				
Сертификаты и соответствие стандартам	ÖVE / ÖNORM E 8001-4-712, DIN V VDE 0126-1-1/A1, VDE AR N 4105, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 3100, AS 4777-2, AS 4777-3, CER 06-190, G83/2, UNE 206007-1, SI 4777, CEI 0-16, CEI 0-21, NRS 097				

* Согласно стандартам IEC 62109-1. DIN рейка для дополнительной защиты от перенапряжения (тип 2) входит в стоимость.

Рис 2.3 Технічні характеристики інвертора — загальні дані

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)

ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Номинальная мощность (AC) (P _{ac,r})	10 000 Вт	12 500 Вт	15 000 Вт	17 500 Вт	20 000 Вт
Макс. выходная мощность	10 000 В·А	12 500 В·А	15 000 В·А	17 500 В·А	20 000 В·А
Макс. выходной ток (I _{ac,max})	14,4 А	18,0 А	21,7 А	25,3 А	28,9 А
Подключение к сети (диапазон напряжений)	3-NPE 400 В / 230 В или 3-NPE 380 В / 220 В (+20 % / -30 %)				
Частота (диапазон частот)	50 Гц / 60 Гц (45 - 65 Гц)				
Фактор нелинейности	1,8 %	2,0 %	1,5 %	1,5 %	1,3 %
Коэффициент мощности (cos φ _{ac,r})	0 - 1 инд./емк.				

Рис 2.4 Технічні характеристики інвертора — вихідні дані

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ FRONIUS SYMO (10.0-3-M, 12.5-3-M, 15.0-3-M, 17.5-3-M, 20.0-3-M)

ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ	SYMO 10.0-3-M	SYMO 12.5-3-M	SYMO 15.0-3-M	SYMO 17.5-3-M	SYMO 20.0-3-M
Количество трекеров MPP	2				
Макс. входной ток (I _{dc,max})	27,0 А / 16,5 А ¹⁾		33,0 А / 27,0 А		
Макс. суммарная величина эффективного входного тока (I _{dc,max 1} + I _{dc,max 2})	43,5 А		51,0 А		
Макс. ток короткого замыкания (MPP ₁ /MPP ₂)	40,5 А / 24,8 А		49,5 А / 40,5 А		
Мин. входное напряжение (U _{dc,min})	200 В				
Подаваемое начальное напряжение (U _{dc,start})	200 В				
Макс. входное напряжение (U _{dc,max})	1 000 В				
Диапазон полезных напряжений MPP	200 - 800 В				
Количество разъемов постоянного тока	3+3				
Максимальная выходная мощность ФВ-генератора (P _{dc,max})	15,0 kW _{peak}	18,8 kW _{peak}	22,5 kW _{peak}	26,3 kW _{peak}	30,0 kW _{peak}

¹⁾ 14,0 А для напряжений < 420 В

Рис 2.5 Технічні характеристики інвертора — вхідні дані

Для розрахунку приймаємо інвертор Fronius SYMO 10.0-3-M

Технічні характеристики інвертора. Робочий діапазон інвертора знаходиться між значеннями напруги старту $U_{dc\ start}$ і максимальною напругою $U_{dc\ max}$. Як тільки напруга постійного струму зі сторони сонячних батарей досягає значення $U_{dc\ start}$, перетворювач активується і починає пошук точки максимальної потужності МРР. Якщо ця точка знаходиться між $U_{dc\ min}$ і $U_{dc\ start}$, інвертор запусниться і почне працювати. Поки напруга не перевищує мінімальне значення діапазону МРРТ $U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$, інвертор працює з неповною потужністю. Найвища ефективність перетворювача досягається з напругою U_{nom} , так що конфігурація ланцюгів сонячних батарей повинна видавати напругу, близьку до U_{nom} інвертора.

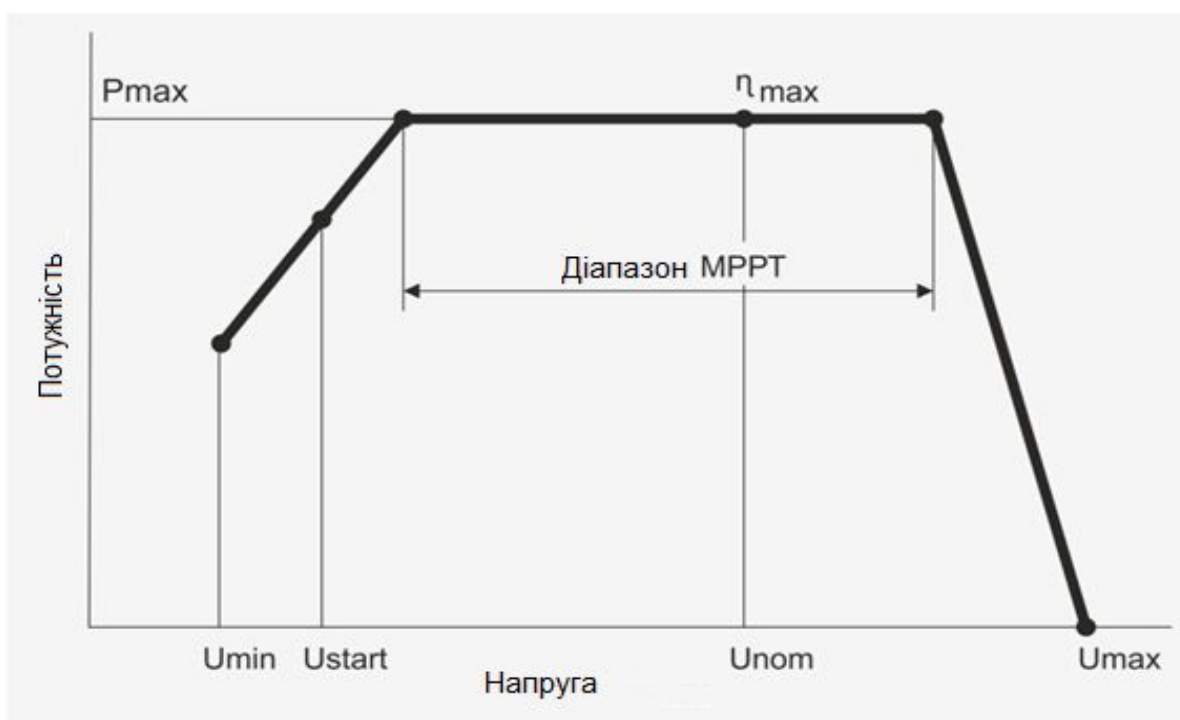


Рис. 2.6 Графік роботи інвертора сонячної електростанції

2.4 Відповідність потужності сонячних батарей

Кожен інвертор має діапазон напруги МРРТ, вказаний в технічному паспорті. Цей параметр визначає, при якій напрузі на вході постійного струму інвертора буде виявлена максимальна точка потужності алгоритмом МРР. Іншим важливим параметром, є мінімальна напруга перемикачів інвертора. Це значення напруги PV-модулей, при яких інвертор запускається і починає генерувати енергію. У нашому випадку (таблиця нижче) діапазон МРРТ становить 200-800 В, а мінімальна напруга — 200 В.

Обидва вказані значення визначають структуру підключення сонячних батарей в стрінг (ланцюг), їх кількість і спосіб з'єднання (послідовний, паралельний, паралельно-послідовний). Кожна панель в стрінгі генерує певну напругу та струм в залежності від миттєвого освітлення і відповідає вольт-амперній характеристиці. Сонячні батареї, підключені одна к одній, в залежності від схеми (послідово, паралельно), додають напругу чи струм. В будь-якому випадку ця сума не може перевищувати допустимих значень для обраної моделі інвертора на стороні постійного струму

2.5 Розрахунок параметрів та схеми з'єднань стрінгів ФЕМ для підключення до інверторів.

Максимальний струм в колі

Струм, що генерується сонячними батареями, залежить від типу з'єднання. В послідовному з'єднанні сила струму дорівнює значенню найбільш слабкого звена в стрінзі, наприклад, частково затемненій панелі. При паралельному з'єднанні струм дорівнює сумі струмів від окремих панелей. Значення струму також залежить від температури, чим вона вище, тим вище струм, що

генерується. Зміна інтенсивності струму в залежності від температури визначається коефіцієнтом I_{sc} панелі (в нашому випадку 0,04 %/К).

Максимальний струм, який може генерувати одна панель, можна розрахувати за формулою:

$$I_{sc(Tr)} = I_{sc} \cdot (1 + (Tr - 25) \cdot \alpha_T / 100) , \text{ де}$$

- $I_{sc(Tr)}$ — значення струму сонячної батареї при 70° С;
- I_{sc} — значення струму короткого замикання в умовах STC, вказане в характеристиці модуля (9,17 А);
- Tr — максимальна температура (70 °С);
- α_T — температурний коефіцієнт I_{sc} (0,04 %/К).

$$I_{sc(Tr)} = 9,17 \cdot (1 + (70-25) \cdot 0,04/100) = 9,33 \text{ [A]}$$

З розрахунків видно, що для інвертора SYMO 10.0-3-M потужністю 10 кВт на перший вхід трекеру MPP не рекомендується встановлювати більше 2-х паралельно з'єднаних сонячних батарей, а на другий можливе лише послідовне з'єднання. Оскільки при паралельній обв'язці струми сумуються. Сума струмів від трьох панелей ($3 \cdot 9,33 = 27,99$ А) буде перевищувати максимальне значення в 27А ($I_{dc \max_1}$) для першого входу, а сума струмів від двох панелей в паралель ($2 \cdot 9,33 = 18,66$) вище 16,5 А ($I_{dc \max_2}$) для другого входу МРРТ.

Максимальна напруга в колі: на відміну від струму напруга, що видається сонячною батареєю, збільшиться при падінні температури панелі. Розрахунки проводять для граничної температури батареї рівної -25 ° С. Теоретично більш висока напруга буде мати місце при подальшому падінні температури, однак на

практиці зимою практично неможливо отримати температуру на сонячному модулі менш ніж $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ в умовах необхідної освітленості для початку генерації енергії. При розрахунку максимальної напруги враховуються: напруга холостого ходу, температурний коефіцієнт β_T .

Значення максимальної напруги розраховується за формулою:

$$U_{oc(T_r)} = U_{oc} \cdot (1 + (T_r - 25) \cdot (\beta_T / 100)) , \text{ де}$$

- $U_{oc(T_r)}$ — значення напруги при температурі — $25\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- U_{oc} — напруга холостого ходу ($38,5\text{ V}$);
- T_r — мінімальна робоча температура ($-25\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- β_T — температурний коефіцієнт модуля ($-0,31\%/K$).

Отже

$$U_{oc(T_r)} = 38,5 \cdot (1 + (-25 - 25) \cdot (-0,31 / 100)) = 44,46\text{ [V]}$$

Грунтуючись на цьому значенні, ми можемо підрахувати кількість модулів в стрінгу, з'єднаних послідовно.

$$N_{\max} \leq U_{DC} / U_{oc(T_r)} , \text{ де}$$

$U_{DC \max}$ — максимально допустиме значення напруги на вході перетворювача.

$$N_{\max} \leq 1000 / 44,46 = 22,49$$

Округляючи до цілого числа в менший бік, отримаємо, що в один стрінг можна установити до 22 сонячних батарей.

Розрахунок мінімальної кількості модулів в колі з урахуванням допустимої пускової напруги інвертора. Кожний інвертор має мінімальну напругу на вході, в нашому випадку це 200 В.

В свою чергу, модулі досягають мінімальної робочої напруги при граничній температурі 70° С. Тому мінімальна кількість панелей в стрінгу розраховується для цієї ж температури, округляючи значення вгору. В цьому випадку використовуються формули:

$$U_{oc(T_{max})} = U_{oc} \cdot (1 + (T_{max} - 25) \cdot (\beta_T / 100)) , \text{ де}$$

- $U_{oc(T_{max})}$ — напруга при максимальній температурі 70 ° С;
- U_{oc} — напруга холостого ходу (38,5 В);
- T_{max} — максимальна робоча температура (70 ° С);
- β_T — температурний коефіцієнт модуля (-0,31 %/К);

$$N_{min} \geq U_{DC\ start} / U_{oc(T_{max})} , \text{ де}$$

- N_{min} — мінімальна кількість сонячних батарей;
- $U_{dcstart}$ — подається початкова напруга (200 В).

$$N_{min} \geq 200 / 33,13 = 6,04$$

Приймаємо найближче ціле значення в більший бік, таким чином рекомендується встановлювати послідовно не менше 7 модулів в один стрінг.

2.6 Визначення допустимої кількості модулів в колі з урахуванням МРР трекера інвертора.

Інвертор має оптимальний діапазон напруги для роботи МРР трекера. В нашому випадку цей діапазон в межах: 200-800 В.

При визначенні кількості модулів, що підключені до одного входу МРР, необхідно визначити кількість панелей, при чкому все коло буде генерувати напругу в робочому діапазоні МРРТ при певних умовах. В цьому випадку підраховується максимальна і мінімальна напруга сонячної батареї для умов МРРТ, при цьому максимальне значення напруги підраховується при -25°C та мінімальне значення при $+70^{\circ}\text{C}$. На основі цих значень розраховується оптимальна кількість панелей за формулою:

$$U_{\text{MPP}(T_{\text{max}})} = U_{\text{MPP}(stc)} \cdot (1 + (T_{\text{max}} - 25) \cdot (\beta_T / 100)), \text{ де}$$

- $U_{\text{MPP}(T_{\text{max}})}$ — напруга сонячної батареї при 70°C ;
- $U_{\text{MPP}(stc)}$ — оптимальна напруга МРРТ (31,5 В);
- T_{max} — максимальна робоча температура (70°C);
- β_T — індекс температури модуля ($-0,31\%/K$);

$$U_{\text{MPP}(T_{\text{max}})} = 31,5 \cdot (1 + (70 - 25) \cdot (-0,31 / 100)) = 27,1 \text{ [В]}$$

$$N_{\text{min}} \cdot U_{\text{MPP}(T_{\text{max}})} \geq U_{dc \text{ min}}, \text{ де}$$

- N_{min} — мінімальна кількість модулів в стрінгу;

- $U_{dc\ min}$ — мінімальне значення MPPT інвертора (200 В);

$$N_{min} \cdot U_{MPP(T_{max})} \geq 200$$

Таким чином:

$$N_{min} \geq 200 / 27,1 = 7,38$$

Отриманий результат округляємо до найближчого більшого значення. Таким чином, рекомендується встановити не менше 8 модулів у стрінг для оптимальної роботи MPPT інвертора.

Перевірка сумарної кількості сонячних модулів з урахуванням номінальної потужності інвертора.

Зазвичай виробники рекомендують приєднувати до інвертора сонячні батареї сумарної потужності в співвідношенні 0,8-1,2 до номінальної вихідної потужності інвертора для оптимальної роботи перетворювача. В нашому випадку інвертор має номінальну вихідну потужність $P_{ac,r} = 10000$ Вт. Таким чином, оптимальне значення сумарної потужності сонячних батарей знаходиться в діапазоні 8 000 – 12 000 Вт.

Іноді виробники допускають і більшу кількість сонячних панелей з співвідношенням до 1,6. Таке підключення може бути виправдано у випадку підключення кіль панелей з різним орієнтуванням відносно півдня, наявністю ділянок з затіненням та/або в регіонах з низькою сонячною інтенсивністю. Проектуючи систему з таким перевантаженням, слід переконаватися, що виробник допускає такий варіант і що інвертор не втратить гарантію при такому виді монтажу.

Таким чином, оптимальна кількість сонячних батарей повинна бути в діапазоні від 30 до 44 шт.

Згідно з розрахунками, до інвертора 10 кВт SYMO 10.0-3-M рекомендується приєднувати від 30 до 44 сонячних батарей LG 270S1C-B3. При цьому в одному стрінгу повинно бути від 8 до 22 панелей приєднаних послідовно. На один із входів MPP можливе паралельне підключення панелей не більш ніж в 2 ряди.

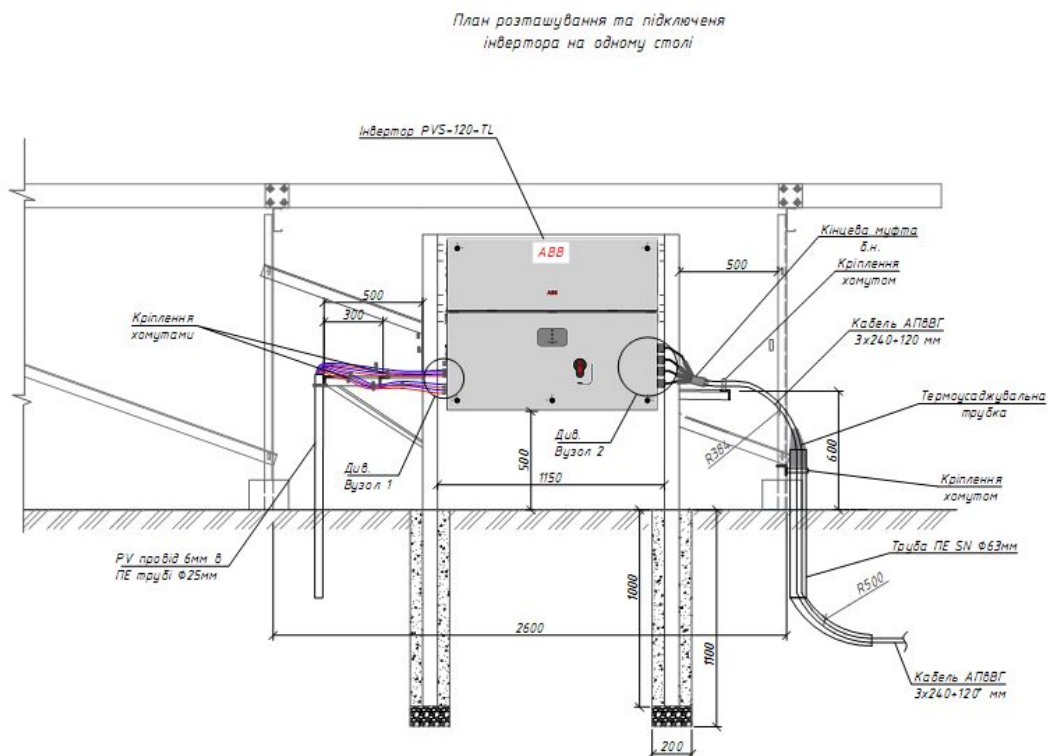


Рис.2.7 Підключення кабелів постійного та змінного струму до інвертора

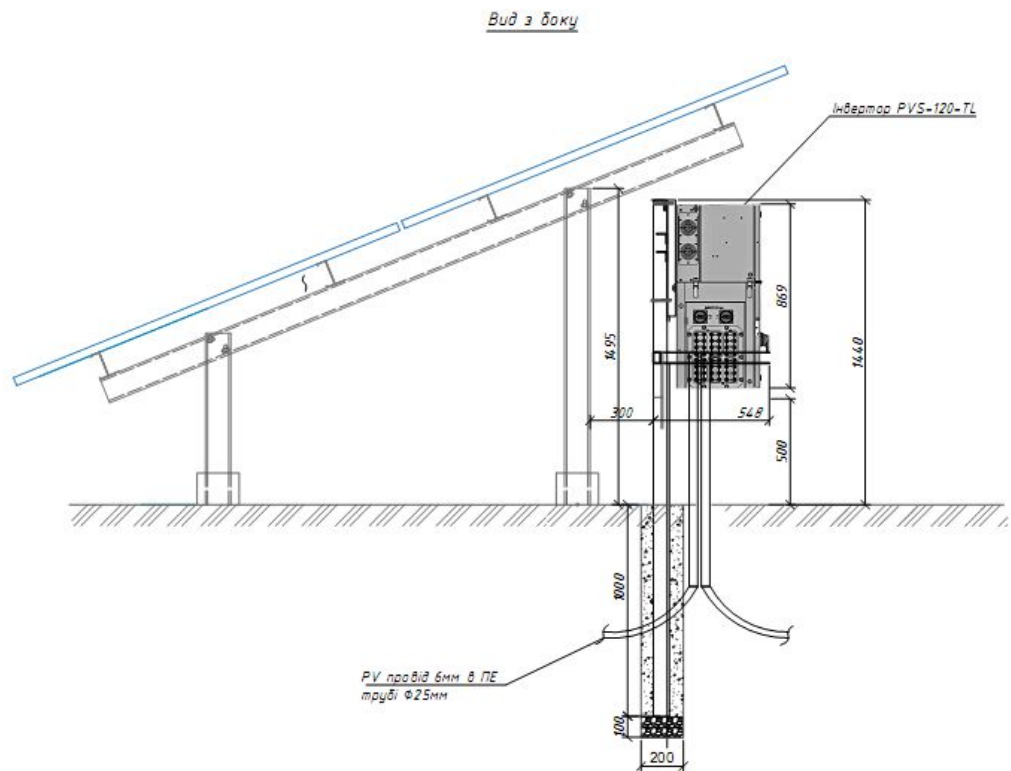


Рис.2.8 Підключення кабелів DC до інвертора при їх прокладанні в траншеї

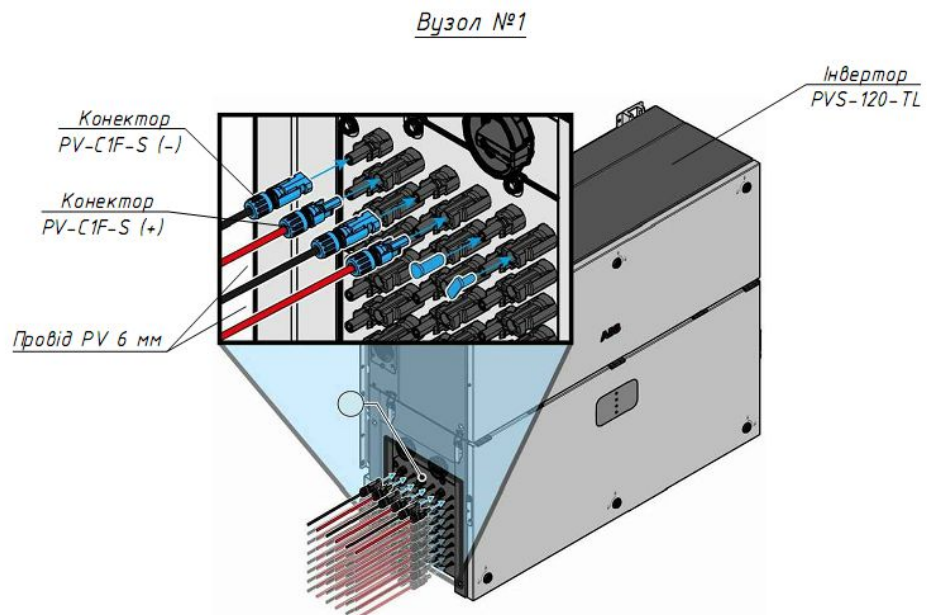


Рис.2.9 Підключення виводів столів до MPPT-входів інвертора

РОЗДІЛ 3
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Введення в економічну частину

Обґрунтування економічної доцільності використання сонячних панелей для приватного домогосподарства

На даний час в Україні виникли дуже хороші умови для установки сонячних електростанцій власниками приватних будинків: зелений тариф до 2030 року, падіння цін на обладнання та закон «Про електроенергетику», який зобов'язує Обленерго купувати у приватних домогосподарств електроенергію, вироблену сонячними електростанціями, встановленими на дахах або фасадах будинків.

Зелений тариф в Україні можуть оформити як юридичні особи, які встановили промислові сонячні електростанції так і фізичні особи, які побудували сонячну електростанцію (СЕС) на території свого приватного домоволодіння.

Максимальна встановлена потужність домашньої сонячної станції не повинна перевищувати 30 кВт.

Власникам домогосподарств не потрібні ліцензії або дозволу на установку сонячної електростанції та продажу електроенергії в мережу. Необхідно після монтажу написати заяву, надати схему підключення, паспорт на обладнання та сертифікат відповідності в РЕМ а також надати документи, що підтверджують власність будинку.

Після підключення до мережі сонячної електростанції її власник стає просьюмером. Просьюмер - це фізична особа, яка є одночасно і споживачем, і виробником електроенергії. Це важлива умова, оскільки в мережу можна віддавати тільки надлишки електроенергії, тобто, якщо, наприклад СЕС згенерувала 500 кВт/год електроенергії на місяць, а власні потреби будинку склали 200 кВт/год, то в цьому місяці в мережу продається за зеленим тарифом $500 - 200 = 300$ кВт/год

3.2 Розрахунок капітальних витрат

Найперші витрати пов'язані зі збільшенням потужності, виділеної на будинок. Як показує досвід, виділена потужність зазвичай становить 2-3 кВт однофазного струму. Потрібно отримати технічні умови на 10 кВт трифазного струму, а значить, що платити ми будемо за все 10 кВт - це варто 1240 грн за один кіловат = 12 400 за умови отримання стандартних технічних умов. Для отримання технічних умов потрібно ще отримати в міськвиконкомі викопіювання з генплану міста 1: 2000, коштує вона всього 65 грн.

Стандартна сонячна електростанція для підключення до мережі по «зеленому» тарифу складається з наступних основних елементів:

- Сонячних батарей. Візьмемо як приклад китайські сонячні батареї Amerisolar потужністю 270 Вт за ціною 3712,5 гривень за панель (тобто по 13,5 гривні за 1 Вт / пік). Для станції на 10 кВт потрібно приблизно 38 сонячних батарей зі стандартною потужністю 270 Вт, якщо на даху нашого будинку досить вільної площі (для установки 38 сонячних батарей нам знадобиться площа в 63 квадратних метрів). В іншому випадку, нам доведеться купувати значно дорожчі сонячні батареї з більш високою потужністю або шукати додаткове місце на своїй земельній ділянці. Отже, комплект стандартних сонячних батарей китайського виробництва обійдеться нам у 141 075 грн.
- Інвертора. Ціна інвертора на 10 кВт знову ж китайського виробництва компанії Samil Power буде 39875 грн (можна і більше дорогий німецький КАСО за 60 500 грн).
- Двохтарифний електролічильника разом з модемом, призначення якого враховувати як електроенергію, спожиту з мережі, так і передану в мережу. Коштує такий лічильник, а саме Гама 300, зараз 9000 грн.

- Опорною конструкції з оцинкованої сталі для встановлення сонячних батарей на даху, а також витратних матеріалів, включаючи кабель, затискачі, болти, гвинти та інше, також монтаж. Це ще 82 000 гривень.

Зведення капітальних витрат

Таблиця 4.1

№	Найменування технічних засобів	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1	Фотоелектричний модуль JA Solar (TIER-1)	41	3 230	132 430
2	Інвертор SolarLake 10000TL-PM	1	58 000	58 000
3	Провод Solar Olfex	100(м)	44 (за 1 м)	4 400
4	Конектор MC-4	8	82,5	660
5	Кабель ВВГнг 4х6	30(м)	88 (за 1 м)	2 640
6	Провод ПВЗ 1х6	100(м)	16,5 (за 1 м)	1 650
7	Щит розподільчий (змінний струм)	1	7 500	7 500
8	Щит розподільчий (постійний струм)	1	4 100	4 100
9	Двохтарифний лічильник Gama 300+модем для зеленого тарифа	1	9 000	9 000
10	Металоконструкції, кріплення	1(комплект)	22 000	22 000
11	Монтажні роботи	1(комплект)	27 500	27 500
	ВСЬОГО			269 880

Орієнтовна вартість сонячної електростанції потужністю 10 кВт «під ключ» з монтажем та підключенням до мережі по «зеленому» тарифу становить сьогодні **260 400** гривень. Ще буде платіж на рівні **600** грн за виїзд на об'єкт фахівців місцевої РЕМ для огляду станції та установки двохтарифного лічильника. Додамо ще приблизно **14 000** гривень за виділену потужність, отримання викопіювання з генплану та виїзд фахівців РЕМ.

Разом всі капітальні витрати у нас складуть:

$$269\ 880+600+14\ 000=285\ 000\ \text{грн.}$$

3.3 Розрахунок прибутку

Сьогодні в Україні встановлено відносно високий «зелений» тариф на електроенергію, що виробляється приватними домогосподарствами. У 2021 році ціна однієї кіловат-години сонячної електроенергії, проданої державі, становить 5,33 грн. В цілому ж «зелений» тариф прив'язаний до євро, і в цьому році 1 кВт/г коштує **0,164** євроцентів.

Продавати по «зеленому» тарифу можна лише ту частину виробленої електроенергії, яка перевищує власне споживання домогосподарства в тому ж місяці. Наприклад, дахова сонячна електростанція потужністю 10 кВт виробляє в рік 11,628 тис. кВт/г електроенергії. Середнє власне споживання для будинку становить на рік близько 4,5 тис. кВт/г. Таким чином, за «зеленим» тарифом можна буде продати 7,128 тис. кВт/г сонячної електроенергії в рік на суму **41 844,92** грн.

Оподаткування доходів такого роду складається з 18% прибуткового податку плюс військовий збір 1,5% = 19,5%. Тобто ми повинні відняти від нашого доходу 7 950,53 грн. Таким чином, чистий прибуток після сплати податків складе **33 894** грн.

Але це не весь дохід, який ми повинні врахувати в наших розрахунках.

Оскільки за «зеленим» тарифом оплачується тільки та електроенергія, яка залишилася після споживання домогосподарством, то енергія, яку безпосередньо споживає домогосподарство, стає економією витрат.

Ми візьмемо для розрахунку тариф за споживання електроенергії - 1,68 грн. З огляду на, що ми використовували для себе за рік 3,7 тис. кВт/г, то економія складе:

$$3\,700 \text{ кВт/г} - 1\,200 \text{ кВт/г} = 2\,500 \text{ кВт/г} \times 1,68 \text{ грн} = 4\,121 \text{ грн}$$

$$\text{Загальний прибуток} = 33\,894 + 4\,121 = \mathbf{38\,015} \text{ грн}$$

Якщо встановити сонячну електростанцію в цьому році і тим самим зафіксувати вартість електроенергії за «зеленим» тарифом до 2030 року, то у середньому щорічно наша електростанція на 10 кВт буде приносити прибуток в сумі **38 015** грн. з урахуванням економії витрат на електроенергію, використану для власного споживання.

Курс долара сьогодні складає 27,5 грн., Тобто річний прибуток в доларах США складає $1\,783,7 = 38\,015$ грн

Підрахуємо окупність: $275\,000 / 39\,095 =$ приблизно **7 років**.

Висновки:

В економічному розділі було проведено розрахунок:

- капітальних витрат, які становлять 285 000 грн;
- доходів, які складають 38 015 грн за рік;
- термін окупності складає 7 років.

Під час всього строку служби електростанції необхідно сприяти:

- зменшенню вірогідності аварійних ситуацій;
- збільшенню строку служби обладнання;
- зменшенню витрат на технічне обслуговування та планові роботи.

РОЗДІЛ 4
ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Сонячні панелі

Державний нагляд у сфері альтернативних джерел енергії здійснює спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади у відповідній сфері та інші органи у порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України. Щодо сонячних батарей, то для того щоб система з сонячних батарей працювала і подавала енергію у мережу, потрібно встановити ряд додаткових електроприладів, зокрема:

- інвертор, що перетворює постійний струм у змінний;
- акумуляторну батарею, яка повинна накопичувати енергію;
- контролер заряду акумулятора

Оскільки працездатність системи безумовно залежить від ступеня зарядженості свинцевокислотних батарей, необхідно ознайомитись з «Інструкцією з охорони праці при експлуатації стаціонарних свинцево - кислотних акумуляторних батарей». Так як до системи з сонячних батарей входять електроприлади (інвертор, контролер), то слід дотримуватись системи засобів і заходів безпечної експлуатації електроустановок.

Ізоляція струмовідних частин забезпечується шляхом покриття їх шаром діелектрика для захисту людини від випадкового доторкання до частин електроустановок, через які проходить струм.

Електрозахисними засобами називаються вироби, що переносяться та перевозяться і слугують для захисту людей, які працюють з електроустановками, від ураження електричним струмом, від дії електричної дуги та електромагнітного поля.

Розрізняють основні й додаткові ізолювальні електрозахисні засоби. До основних належать такі

- електрозахисні засоби,
- ізоляція яких протягом тривалого часу витримує робочу напругу електроустановки до 1000 В – діелектричні рукавички, ізолювальні штанги, інструменти з ізольованими ручками, електровимірвальні кліщі, ізолювальні кліщі, покажчики напруги;
- а при роботі в електроустановках напругою понад 1000 В – ізолювальні штанги, струмовимірвальні та ізолювальні кліщі, покажчики напруги для фазування.

Додаткові ізолювальні захисні засоби мають недостатні ізолювальні властивості, тому призначені лише для підсилення захисної дії основних засобів, разом з якими вони і застосовуються. До них належать: при роботах в електроустановках з напругою до 1000 В

- діелектричні калоші,
- килимки,
- ізолювальні підставки;

при роботах в електроустановках з напругою понад 1000 В

- діелектричні рукавички,
- боти,
- килимки,
- ізолювальні підставки.

Огороджувальні електрозахисні засоби (щити, ширми, екрани, плакати електробезпеки) призначені для захисту працівників, котрі проводять роботи в

електроустановках, від випадкового доторкання чи наближення на небезпечну відстань до струмовідних частин, що знаходяться під напругою.

Отже, за правила охорони праці при використанні сонячних батарей можемо використати такі нормативно-правові документи:

- Закон України «Про використання альтернативних джерел енергії»,
- «Інструкція з охорони праці при експлуатації стаціонарних свинцево - кислотних акумуляторних батарей»
- основи охорони праці при експлуатації електроустановок.

4.2 Небезпека замикання на землю в електроустановках.

Замиканням на землю називається випадкове електричне з'єднання частин електроустановки, які знаходяться під напругою, із землею. Таке замикання може відбутися при пошкодженні ізоляції та переході фазної напруги мережі на заземлені корпуси електроустановок, при падінні на землю проводу під напругою та в інших випадках. Струм від заземлених корпусів, що опинилися під напругою переходить у землю через електрод, який здійснює контакт з ґрунтом. Спеціальний металевий електрод, який для цього використовують прийнято називати заземлювачем. Струм, розтікаючись у ґрунті створює на його поверхні потенціали. Оскільки заземлювач може мати різні розміри та форму, то закон розподілу потенціалів на поверхні ґрунту визначається складною залежністю. Окрім того, електричні властивості ґрунту неоднорідні, особливо ґрунту з різними прошарками. Для того, щоб спростити картину розтікання електричного поля приймаємо, що струм стікає в землю через одинарний заземлювач напівсферичної форми, який знаходиться в однорідному ізотропному ґрунті з питомим опором ρ , котрий значно перевищує питомий опір матеріалу заземлювача.

Зоною розтікання струму називається зона землі, за межами якої електричні потенціали, обумовлені струмом замикання на землю можна умовно прийняти за нуль. Як правило, така зона обмежується об'ємом півсфери радіусом приблизно 20 м. Людина, що стоїть на землі чи на струмопровідній підлозі в зоні розтікання струму і доторкається при цьому до заземлених струмопровідних частин, опиняється під напругою доторкання. Якщо ж людина стоїть чи проходить через зону розтікання то вона може опинитися під напругою кроку, коли її ноги знаходяться в точках з різними потенціалами.

Типи заземлюючих пристроїв Заземлювальним пристроєм називають сукупність конструктивно об'єднаних заземлювальних провідників та заземлювачів.

Заземлювач – провідник або сукупність електрично з'єднаних провідників, які перебувають у контакті із землею, або її еквівалентом. Заземлювачі бувають природні та штучні. Як природні заземлювачі використовують електропровідні частини будівельних і виробничих конструкцій, а також комунікацій, які мають надійний контакт із землею (водогінні та каналізаційні трубопроводи, фундаменти будівель і т.п.).

4.3 Пожежо- і вибухо- небезпечний пил

Виходячі з властивостей Речовини и матеріалів, умів їх! Застосування і обробка и у відповідності Із ОНТП 24-86 "Визначення категорій приміщень и будівель по вибухопожежній и пожежній небезпеці" приміщення по вибухопожежній и пожежній небезпеці діляться на п'ять категорій - А, Б, В , Г, Д.

До категорії А належати приміщення, де перебувають спалімі та легкозаймісті Рідини з температурою спалахи, что НЕ перевищує 28 ° С, а такоже Речовини і матеріали здатні вібухаті и горіті при роботи з комерційними водою, кисня або

Одне з одним; при утворенні вибухонебезпечних сумішей розвівається розрахунковий надлишково Тиск Вибух 5 кПа.

До категорії Б належати приміщення, в яких є пив та волокна, легкозаймісті Рідини з температурою спалахи понад 28 ° С та спалімі Рідини в такій кількості, что можуть утворюватися вибухонебезпечні пило повітряні та пароповітряні суміші, при займанні яких розвівається розрахунковий надлишково Тиск Вибух 5 кПа.

До категорії В належати приміщення, де перебувають спалімі та Важко спалімі Рідини, тверді спалімі та Важко спалімі Речовини та матеріали (в тому числі пил та волокна), а також Речовини і матеріали Які здатні при роботі з комерційними водою, кисня Повітря та Одне з одним только горіті (за умови, что Ці приміщення НЕ відносяться до категорії А чи Б)

До категорії Г належати приміщення, в яких є неспалімі Речовини та матеріали в Гаряча, розпеченому або розплавленому стані, а також спалімі гази, Рідини та тверді Речовини, Які спалюються або утілізуються як паливо; процес їх ОБРОБКИ супроводжується віділенням променевої теплоти, іскор та полум'я.

До категорії Д належати приміщення, в яких є неспалімі Речовини та матеріали у холодному стані.

Висновок з охорони праці

У даному розділі були передбачені заходи безпеки при проведенні різних робіт з монтажу та правилам користування сонячних панелей, систем пожежної безпеки.

ВИСНОВОК

У процесі виконання дипломного проекту були проаналізовані та виконані розрахунки вибору фотоелектричної станції потужністю 10 кВт для приватного будинку. За обраєю потужністю були обрані панелі типу JAP60S01-275 (виробництво Китай) та інвертор типу Fronius SYMO 10.0-3-M (виробництво Австрія). Розрахована система задовольняє наші вимоги , є вигідною та заслуговує на реалізацію.

У економічному розділі ми визначили капітальні витрати, які дорівнюють 285 000 грн, та період окупності, який складає 7 років.

У розділі охорони праці, який розглядає питання щодо техніки безпеки, були вивчені питання безпечного монтажу сонячних панелей та вивчена небезпека замикання на землю в електроустановках.

Перелік посилань:

1. <https://rentechno.ua/solar/residential.html>
2. https://sunsayenergy.com.ua/new?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=Search_ru_ленд3_Панели_Батареи_Kyiv_desktop&utm_term=солнечная%20батарея&gclid=EAIaIQobChMIiYDj_q6s8QIVTuN3Ch1MYAegEAAAYASAAEgJZPPD_BwE
3. <https://solar-tech.com.ua/solar-electricity/solar-panels/>
4. <https://rentechno.ua/ua/solar/residential/grid-connected.html>
5. <https://rentechno.ua/solar/residential/backup.html>
6. <https://works.doklad.ru/view/sLv3xjH049I/all.html>
7. <https://nenergy.com.ua/statiy/kolichestvo-solnechnyh-batarej/>
8. <https://solarsoul.net/zelenyj-tarif-v-ukraine-v-2021-godu>
9. <https://axiomplus.com.ua/news/solnechnye-paneli-dlya-zarabotka/>
10. <http://energystock.ru/solnechnye-batarei/raschet>
11. АВВ Інвертор [Електронний документ] режим доступу
<https://solnechnaya-energiya-ukrainy.prom.ua/p942445726-inventory-avvpvs.html>
12. Луценко І.М., Кошеленко Є.В., Циган П.С. Методичні вказівки до самостійної роботи «Децентралізовані системи електропостачання»
13. Методичні вказівки до самостійної роботи «Децентралізовані системи електропостачання»
14. <http://uare.com.ua/ru/vetroenergetika.html>