

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С. З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему:

**"СИСТЕМА ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО
ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯМ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ
УСТАНОВКИ"**

Виконав: студент 4-го курсу

групи Ен-41 із спеціальності

141 „Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка”

(шифр і назва спеціальності)

Данко Мартін

Керівник: Сиротюк С. В.

Рецензент: Пташник В. В.

ДУБЛЯНИ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С. З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ (підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.
(вч. звання, прізвище, ініціали)

" ____ " _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Данко Мартіну

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: "Система електрозабезпечення індивідуального житлового будинку із удосконаленням фотоелектричної установки"

керівник роботи: к.т.н., доцент Сиротюк С. В.

(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького 123/к-с від 25.02.2025 року.

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 10.06.2025 р.

3. Вихідні дані технічна документація, науково-технічна і довідкова література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

4.1. Характеристика досліджуваного об'єкту та регіону його розташування.

4.2. Розрахунок параметрів системи електропостачання будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики

4.3 Удосконалення конструкції фотоелектричної установки

4.4. Охорона праці та довкілля

4.5. Техніко-економічне обґрунтування ефективності використання фотоелектричної установки

Висновки і пропозиції

Перелік джерел посилання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Ілюстрації до доповіді виконані у формі презентації

6. Консультанти розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	<i>Городецький І. М. к.т.н., доцент кафедри інженерної механіки</i>			

7. Дата видачі завдання: 25.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Характеристика досліджуваного об'єкту та регіону його розташування</i>	25.02.2025 – 10.03.2025	
2	<i>Розрахунок параметрів системи електропостачання будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики</i>	11.03.2025 – 25.03.2025	
3	<i>Удосконалення конструкції фотоелектричної установки</i>	26.03.2025 – 20.04.2025	
4	<i>Охорона праці та довкілля</i>	21.04.2025 – 30.04.2025	
5	<i>Техніко-економічне обґрунтування ефективності використання фотоелектричної установки</i>	01.05.2025 – 20.05.2025	
6	<i>Завершення оформлення ілюстративної частини роботи</i>	21.05.25 – 31.05.25	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	01.06.25 – 10.06.25	

Студент _____ Данко М.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Сиротюк С. В.
 (підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 631.3

Данко М. "Система електрозабезпечення індивідуального житлового будинку із удосконаленням фотоелектричної установки". Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, 2025 р. 49 с текстової частини, 5 таблиць, 11 рисунків, 18 джерел посилань.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання електропостачання індивідуального житлового будинку з використанням фотоелектричної установки. На основі річного моніторингу визначено витрату електроенергії. Виконано оцінку енергетичного потенціалу сонячного випромінювання регіону на базі відкритих інтернет-ресурсів. На основі цих даних визначено оптимальні параметри сонячної електростанції, яка забезпечить необхідні енергетичні потреби досліджуваного об'єкта. Запропоновано вдосконалення конструкції сонячної електроустановки із застосуванням слідкуючого за сонцем пристрою, який обладнаний поворотним гідроприводом. Приділено увагу питанню охорони праці та охорони довкілля. Виконано розрахунок економічних показників застосування сонячної електростанції.

Ключові слова: система електрозабезпечення, індивідуальний житловий будинок, фотоелектрична установка.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	7
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ОБ'ЄКТУ ТА РЕГІОНУ ЙОГО РОЗТАШУВАННЯ	8
1.1 Загальна характеристика досліджуваного об'єкта	8
1.2 Аналіз регіону розташування досліджуваного об'єкта	9
1.3 Характеристика джерел енергозабезпечення	10
1.4 Дослідження енергетичного потенціалу сонячного випромінювання	10
1.5 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи	12
2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	14
2.1 Розрахунок енергетичних потреб житлового будинку	14
2.2 Розробка структури системи електрозабезпечення житлового будинку	16
2.3 Розрахунок параметрів системи електрозабезпечення житлового будинку	19
2.4 Вибір основних засобів для сонячної електростанції	23
3 УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ	29
3.1 Загальні відомості про сонячні трекери	29
3.2 Обґрунтування розроблюваної конструкції	32
3.3 Розрахунок параметрів удосконаленого засобу	33
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ	37
4.1 Структурно-функціональний аналіз технологічного процесу	37
4.2 Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій стосовно безпечного перебігу технологічного процесу	39
4.3 Охорона довкілля	40

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ	42
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	46
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	48

ВСТУП

Електропостачання приватних об'єктів є важливою задачею електротехнічних компаній. Зважаючи на велику кількість споживачів, їх територіальну розосередженість, зношеність електричних мереж регулярно виникають аварійні ситуації, які призводять до припинення електропостачання помешкань. Для уникнення цього, раціональним є застосування місцевого електрогенерувального обладнання, яке можливо реалізувати з використанням сонячних фотоелектричних установок.

У даній роботі розглянуто можливість електрозабезпечення індивідуального будинку за рахунок використання фотоелектричної установки з одночасним удосконаленням її конструкції.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка технічного рішення з удосконалення конструкції фотоелектричної установки, яка забезпечує електроживлення індивідуального житлового будинку.

Основними **завданнями** кваліфікаційної роботи є:

1. Виконати загальну оцінку житлового будинку.
2. Визначити обсяги споживання електричної енергії, а також дослідити енергетичний потенціал сонячного випромінювання.
3. Розрахувати раціональні параметри фотоелектричної установки.
4. Виконати удосконалення конструкції фотоелектричної установки.
5. Виконати оцінку стану охорони праці при експлуатації фотоелектричної установки та охорони довкілля.
6. розрахувати економічну ефективність удосконаленої конструкції фотоелектричної установки.

Об'єктом кваліфікаційної роботи є система електропостачання індивідуального житлового будинку з використанням удосконаленої фотоелектричної установки.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ОБ'ЄКТУ ТА РЕГІОНУ ЙОГО РОЗТАШУВАННЯ

1.1 Загальна характеристика досліджуваного об'єкта

Досліджуваний об'єкт знаходиться на околиці села Онок Виноградівської громади Берегівського району Закарпатської області. Якщо точніше, то об'єкт дослідження знаходиться на південно-східній частині села Онок (рис. 1.1.).

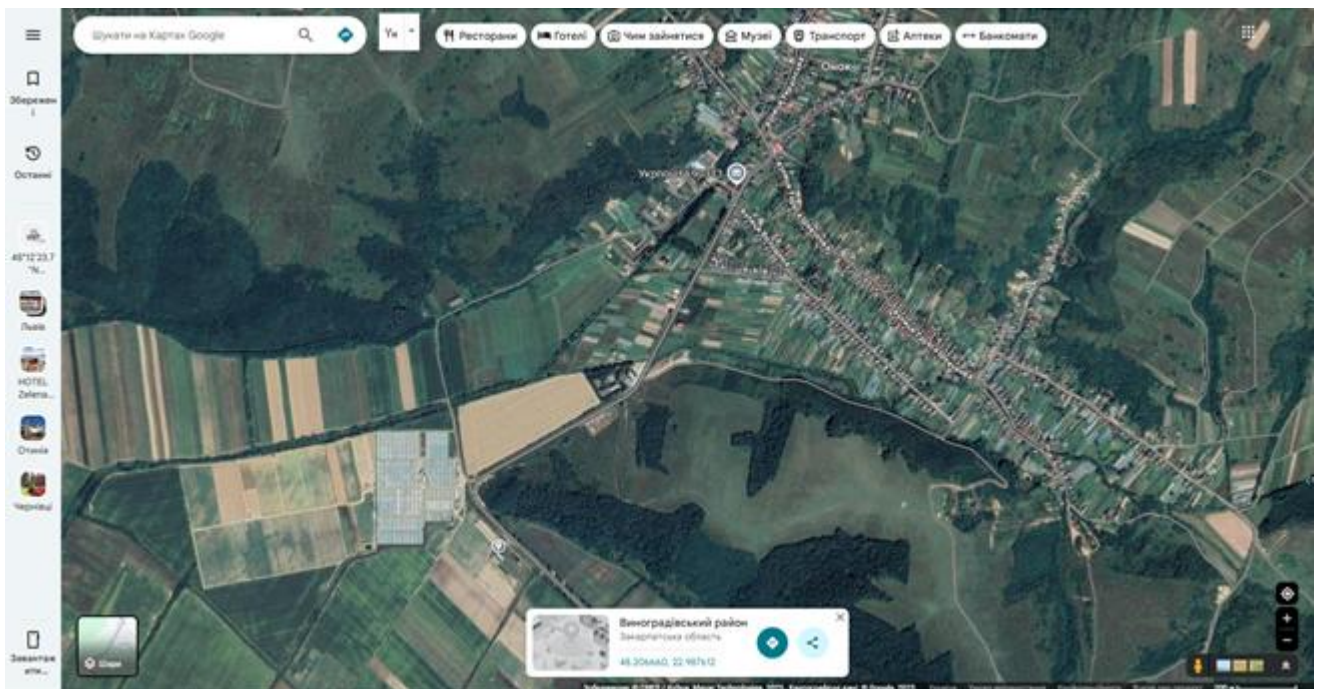


Рисунок 1.1 – Мапа розташування досліджуваного житлового будинку

Фактично об'єктом є не звичайний житловий будинок, а обійстя фермерського господарства. На початках заснування фермерського господарства "Золотий Смарагд" було збудовано лише господарські споруди. Згодом, внаслідок потреби постійного перебування на території господарства, основну будівлю було реконструйовано під житловий будинок.

Господарство засноване 23 лютого 2016 року. Місце реєстрації збігається з фактичним місцем ведення господарської діяльності. Основними видами діяльності згідно статуту підприємства: вирощування інших багаторічних

культур; вирощування зернових культур; вирощування овочів і баштанних культур; вирощування зерняткових і кісточкових фруктів; роздрібна торгівля з лотків і на ринках іншими товарами. Фактично підприємство здійснює вирощування декоративних дерев і чагарників, а також плодових дерев і чагарників, зокрема для кислотних ґрунтів. Загальна площа землекористування господарства становить 12 га.

В господарстві використовують найману працю, однак найбільший рівень зайнятості припадає на весняно-осінній період.

1.2 Аналіз регіону розташування досліджуваного об'єкта

Село Онок лежить у північно-західній частині Виноградівського району, поміж ґрунками Беренець та Шияня, у долині потічка Оночок у формі прямого кута. Загальна довжина села 3,5 км. Сільський земельний масив ділиться на урочища: Шияня, Перегови, Сольний, Березник, Медвежий, Мигальчини, Бродянські. Рельєф гірський, лише в південно-західній частині села рівнинний. Через село протікає гірський потічок Онок, який під час сильних дощів швидко виходить з берегів. Межує з Ужгородським і Мукачівським (на півночі), Хустським (на північному заході й заході) районами Закарпатської області, Румунією (на півдні) та Угорщиною (на південному заході).

Територія господарства розташована у межах Закарпатської низовини, на акумулятивній рівнині з поступовим підвищенням в східному напрямку (рівнинний рельєф на сході переходить в масиви Карпат). Найпоширенішими ґрунтами є дернові опідзолені та дернові глейові.

Клімат – помірно-континентальний, з тривалим та спекотним літом (до 135 днів, травень – вересень) та м'якою зимою. Середня температура в липні – до +21,0 °С, у січні – –3,1 °С. Кількість опадів становить 640 мм/рік, сніговий покрив нестійкий з частими відлигами.

1.3 Характеристика джерел енергозабезпечення

Досліджуване господарство з сировинних та енергетичних ресурсів використовує: електричну енергію, яку отримує від зовнішньої електромережі напругою 0,4 кВ, яка є кабельною лінією протяжністю 1,4 км з дозволеною потужністю споживання 35 кВт; дизельне паливо для транспортних засобів, яке накопичується у цистерні місткістю 3,5 м³, і яка обладнана насосною установкою; воду, яка отримується від власних свердловин – дві з яких мають глибину по 12 м, а дві інших – по 22 м.

Для забезпечення необхідного стабільного рівня напруги у внутрішній електромережі досліджуваного об'єкта встановлено релейний стабілізатор напруги потужністю 40 кВт.

Теплопостачання об'єкта здійснюється за рахунок використання твердопаливного котла потужністю 30 кВт, який працює на традиційну гравітаційну систему опалення. Гаряча вода отримується в зимовий період від бойлера непрямого нагріву ємністю 200 л, який приєднаний до системи опалення в котельній. В літній період приготування гарячої води здійснюється з використанням того ж бойлера, але з використанням вбудованого електричного ТЕНа потужністю 2,5 кВт.

Каналізація в господарстві автономного типу з використанням багатостадійного анаеробного очищення. Отримана вода використовується для поливу насаджень.

1.4 Дослідження енергетичного потенціалу сонячного випромінювання

Дослідження енергетичного потенціалу сонячного випромінювання є важливим етапом розробки системи електропостачання досліджуваного об'єкта. Оскільки, тут заплановано використовувати фотоелектричні панелі, то необхідно мати прогнозний режим їх роботи. Це дозволить оцінити річну продуктивність

системи електропостачання, динамічну зміну продуктивності для кожного із місяців року тощо. Однак, головною метою оцінки енергетичного потенціалу сонячного випромінювання є визначення питомих показників продуктивності фотоелектричної панелі, що дозволить визначити необхідну габаритну потужність фотоелектричної установки.

Для оцінки енергетичного потенціалу сонячного випромінювання можна скористатися даними, які містяться довідкових друкованих виданнях. Через певну застарілість довідникових даних більш доцільно скористатися сучасними базами даних, які містяться у відкритих інтернет-ресурсах. До таких ресурсів можна віднести, наприклад, сайт NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources [2].

Тут можна отримати готові відомості про рівень середньоденного надходження сонячного випромінювання на сприймаючу площину із фіксованими кутами нахилу до горизонту. Цими даними можна безпосередньо скористатися для подальших розрахунків щодо визначення розмірів фотоелектричної установки, її продуктивності тощо. Робоче вікно вибору координати місцевості, типу даних, формату файла з результатами даних подано на рис. 1.2.

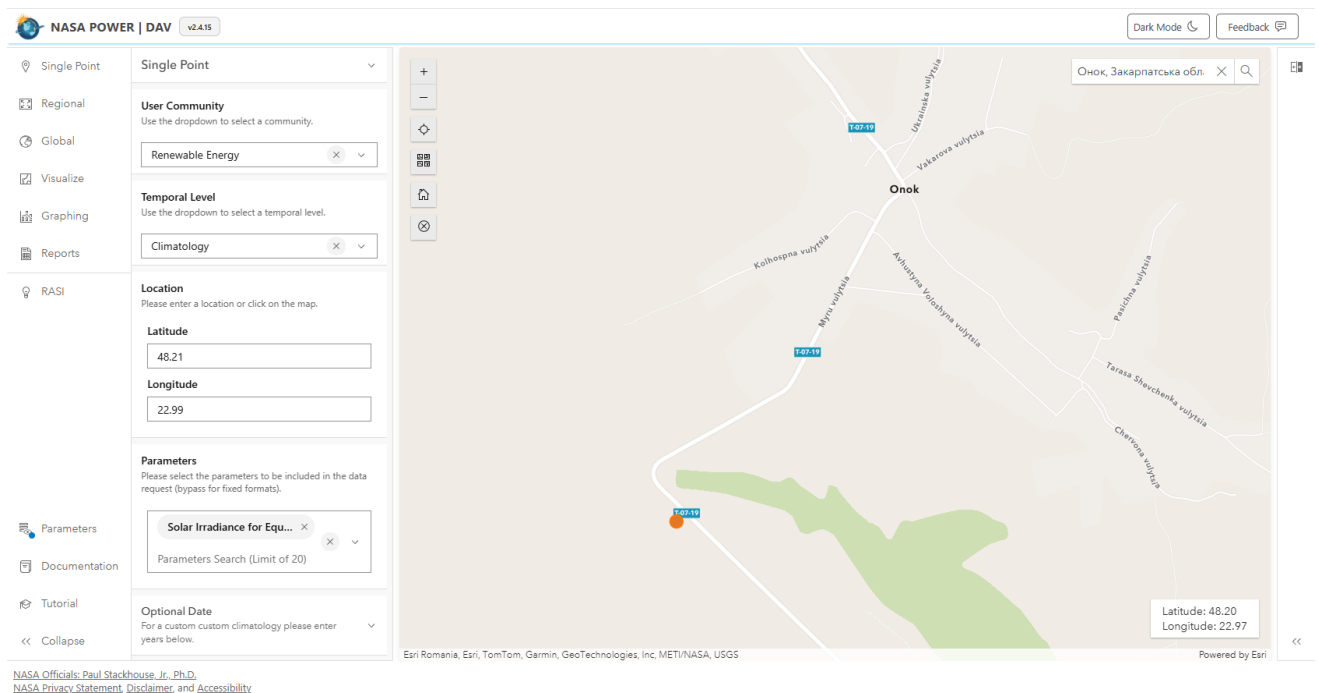


Рисунок 1.2 – Робоче вікно сайту NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources

Результати сформованого файлу для випадків різного кута розміщення сприймаючої поверхні до горизонту подано в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Середньомісячні значення величини добового надходження сонячного випромінювання на сприймаючу поверхню з різними кутами встановлення до горизонту

PARAMETER	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	ANN
SI_TILTED_AVG_HORIZONTAL	0,98	1,73	2,87	4,28	5,13	5,55	5,49	5,1	3,59	2,17	1,17	0,75	3,1
SI_TILTED_AVG_LAT_MINUS15	1,55	2,41	3,5	4,64	5,12	5,37	5,41	5,42	4,28	3,01	1,83	1,25	3,65
SI_TILTED_AVG_LATITUDE	1,68	2,53	3,52	4,44	4,74	4,9	4,97	5,13	4,25	3,14	1,98	1,37	3,61
SI_TILTED_AVG_LAT_PLUS15	1,74	2,54	3,37	4,04	4,17	4,25	4,34	4,61	3,99	3,1	2,02	1,43	3,41
SI_TILTED_AVG_VERTICAL	1,61	2,24	2,72	2,9	2,82	2,78	2,85	3,19	3,08	2,63	1,82	1,33	2,68
SI_TILTED_AVG_OPTIMAL	1,74	2,55	3,53	4,66	5,27	5,6	5,6	5,47	4,3	3,15	2,02	1,43	3,66
SI_TILTED_AVG_OPTIMAL_ANG	64,5	55,5	42,5	27,5	18,5	18,5	18,5	25	38	52,5	61	66	38

Як видно з табл. 1.1, найбільшої продуктивності в річному циклі можна досягнути за умови розташування сприймаючої поверхні під кутом на 15° меншим від кута географічної широти, тобто під кутом 33° . Тому, очевидно слід саме цей кут вибирати для влаштування фотоелектричних панелей на даху житлового будинку. Однак, слід також враховувати дійсний кут даху. Він може мати більший кут, і тоді всі розрахунки слід буде виконувати з тим кутом, який може бути фізично встановлений.

1.5 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи

Питання надійності електропостачання житлових об'єктів за рахунок фотоелектричних установок є доволі проблематичним. В першу чергу, це пов'язано з тим, що електрогенерувальна система є повністю залежна від рівня сонячного випромінювання, який є змінним не лише впродовж одного дня.

Змінний рівень сонячного випромінювання впродовж року відіграє основну роль у створенні перешкод надійному електропостачанню. В зимовий період відбувається зниження рівня сонячного випромінювання. Для уникнення повної залежності від випадкових кліматичних чинників, які знижують надійність роботи фотоелектричної установки необхідно встановлювати системи акумулювання. Вони дозволяють згладжувати випадкову кліматичну неоднорідність сонячного випромінювання.

З іншого боку, напевно найбільш суттєвим чинником, який впливає на добову продуктивність фотоелектричних установок є добовий хід сонця, що зумовлює певне зниження обсягів виробництва електроенергії зранку та ввечері. Це відбувається через те, що в ці періоди кут падіння сонячних променів має значне відхилення від перпендикуляру, що має місце в сонячний полудень. За даними дослідників, за рахунок стаціонарного розташування фотопанелей, відбувається на 30-45% менше виробництво електроенергії, ніж би фотопанелі переміщалися разом із сонцем. Щоправда для цього їх необхідно було б обладнати сонячним трекером.

В даній роботі, власне й пропонується для підвищення рівня продуктивності фотоелектричної установки, яка забезпечуватиме приватний будинок електроенергією, дообладнати її сонячним трекером. За рахунок цього можна досягнути двох технологічних ефектів: зменшення кількості фотопанелей за незмінної продуктивності варіантів, або збільшення продуктивності фотоелектричної установки, що дозволить забезпечити більший період надійності електропостачання об'єкта.

2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

2.1 Розрахунок енергетичних потреб житлового будинку

Спорудження будь-якого енергетичного об'єкта вимагає оцінки рівня його потужності, або обсягу енергії відповідного типу, яку необхідно забезпечити. Тобто, на початковому етапі розробки проєкту необхідно дослідити рівень споживання енергії. В нашому випадку, йдеться про обсяг помісячного споживання електроенергії для потреб життєдіяльності індивідуального житлового будинку. Така оцінка є важливим етапом, оскільки від цього буде залежати характеристика планованої фотоелектричної установки, яка повинна забезпечити принаймні такий же обсяг електроенергії. Свій вплив на загальний результат також буде накладати кліматична ситуація в регіоні дослідження.

Для оцінки рівня споживання електроенергії житловим будинком можна застосувати спеціалізовані вимірювальні засоби, які можуть бути інтегровані у будинкову систему розподілу електроенергії, або ж скористатися місячними рахунками на електроенергію. В нашому випадку не стоїть завдання дослідити добову динаміку споживання, яку також можна оцінити за показами лічильника. Отже, дослідження енергетичних потреб житлового будинку буде здійснено за даними місячних рахунків, які точно відображають сезонні коливання споживання електроенергії, а також формують відомості про річний обсяг споживання (табл. 2.1). Крім того, для подальшої оцінки рівня споживання визначимо добовий рівень витрати електроенергії за формулою

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{n_m}, \quad (2.1)$$

де E_{cm} —місячний обсяг споживання електричної енергії, кВт·год.; n_m — кількість днів у місяці, днів.

Таблиця 2.1 – Результати дослідження рівня споживання електричної енергії індивідуальним житловим будинком

Параметр	Місяць												Середнє
	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	
Місячний обсяг використання електроенергії, кВт·год.	340	370	520	590	650	705	745	820	530	420	390	350	536
Добовий обсяг використання електроенергії, кВт·год.	11	12,8	16,8	19,7	21	23,5	24	26,5	17,7	13,5	13	11,7	17,6
Кількість днів у місяці	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	30	

Таким чином, отримаємо для січня

$$E_{co} = \frac{340}{31} = 10,97 \text{ кВт·год.}$$

Дане значення можемо заокруглити, і тоді отримаємо обсяг добового споживання електроенергії у січні на рівні 13 кВт·год. За цією ж методикою розраховуємо обсяги споживання електроенергії для всіх інших місяців.

Щодо пікових значень споживання, то найбільше середньоденне споживання спостерігається у серпні – (26,5 кВт·год.), а найменше у січні (11 кВт·год.). Загальна динаміка споживання електроенергії є такою, що більші обсяги споживання припадають на літні місяці, що позитивно вплине на спорудження сонячної електростанції, оскільки саме в ці місяці спостерігається максимум генерації електроенергії. За таких умов, можна зробити перший висновок, що сонячна електростанція буде добре забезпечувати сезонну динаміку споживання електроенергії. Тобто, у роботі електрогенерувальної системи не буде великих відхилень у обсягах перевиробництва і недовиробництва електроенергії.

2.2 Розробка структури системи електрозабезпечення житлового будинку

Зважаючи на важливість надійного електропостачання індивідуального житлового будинку ФГ "Золотий Смарагд", пропонується розробити систему гарантованого електроживлення, яка б дозволила безперебійно постачати електричну енергію до даного об'єкта. З огляду на значну витрату електроенергії, з метою зниження рівня залежності від централізованої електромережі, необхідно встановити сонячну фотоелектричну установку певної потужності.

Алгоритм роботи такої електрогенерувальної установки повинен бути наступним. Об'єкт живиться від фотоелектричної установки відповідної потужності, яка визначається сумарною потужністю споживачів, які можуть бути ввімкнені одночасно. Це живлення буде відбуватися у денний період доби, коли є сонячна активність. В цей же час відбувається зарядка акумуляторних батарей, які будуть забезпечувати продовження живлення у вечірній, нічний та ранковий періоди доби. Оскільки в цей період спостерігається суттєве зниження рівня споживання, то акумуляторні батареї не повинні бути великої ємності. У випадку нестачі електроенергії від фотоелектричної установки через погодні умови, а також через пікове споживання електроенергії відбувається добирання електроенергії із зовнішньої електромережі. Це називається процесом підмішування електроенергії від двох джерел. У випадку повної відсутності сонячної активності (дощ, сніжна погода, ніч тощо), а також розрядженості акумуляторних батарей, інвертор вимкне споживача від свого живлення, і відбудеться перемикання лише на живлення від зовнішньої електромережі.

Для реалізації такого алгоритму принципова схема фотоелектричної установки повинна бути наступною із застосування таких структурних елементів, які реалізують наступний режим використання обладнання.

Живлення тільки від зовнішньої електромережі: зовнішня електромережа – ввідний автомат та електричний лічильник у зовнішньому ввідному щиті –

внутрішній розподільчий щит з відповідною комутаційною апаратурою (ПЗВ, автоматичні вимикачі, внутрішній облік електроенергії тощо) – внутрішня електромережа житлового будинку.

Живлення тільки від сонячної фотоелектричної установки: сонячні фотоелектричні панелі – щит захисту постійного струму (вимикач навантаження, запобіжники, пристрій захисту від імпульсних перенапруг DC) – інвертор – щит захисту змінного струму (ПЗВ, автоматичні вимикачі, пристрій захисту від імпульсних перенапруг AC) – внутрішній пристрій обліку виробленої електроенергії сонячною фотоелектричною установкою – внутрішній розподільчий щит з відповідною комутаційною апаратурою (ПЗВ, автоматичні вимикачі, внутрішній облік електроенергії тощо) – внутрішня електромережа будинку.

Живлення від сонячної фотоелектричної установки з використанням акумуляторної батареї: сонячні фотоелектричні панелі – щит захисту постійного струму (вимикач навантаження, запобіжники, пристрій захисту від імпульсних перенапруг DC) – щит захисту акумуляторів (вимикач навантаження, запобіжники) – акумуляторна батарея – інвертор – щит захисту змінного струму (ПЗВ, автоматичні вимикачі, пристрій захисту від імпульсних перенапруг AC) – лічильник обліку виробленої електроенергії фотоелектричною установкою – пристрій обмеження витоку електроенергії у зовнішню електромережу – внутрішній розподільчий щит (ПЗВ, автоматичні вимикачі, внутрішній облік електроенергії тощо) – внутрішня електромережа будинку.

Питання усунення можливості генерування більшого обсягу електроенергії, ніж може спожити житловий будинок вирішується архітектурою гібридного інвертора, який повинен мати вбудовану програмну функцію обмеження, або недопущення перетоків до зовнішньої електромережі. Зазвичай сучасні гібридні інвертори обладнані даною функцією, тому встановлювати додаткові засоби не потрібно. Щоправда для цього необхідно встановити зовнішній двонаправлений давач струму, який і відслідковує рівень перетоків.

Відповідно до алгоритму роботи сонячної фотоелектричної установки можна сформулювати принципову схему системи з відповідними функціональними зв'язками між структурними елементами. На рис. 2.1, подано схему системи електропостачання житлового будинку з використанням гідридної фотоелектричної установки.

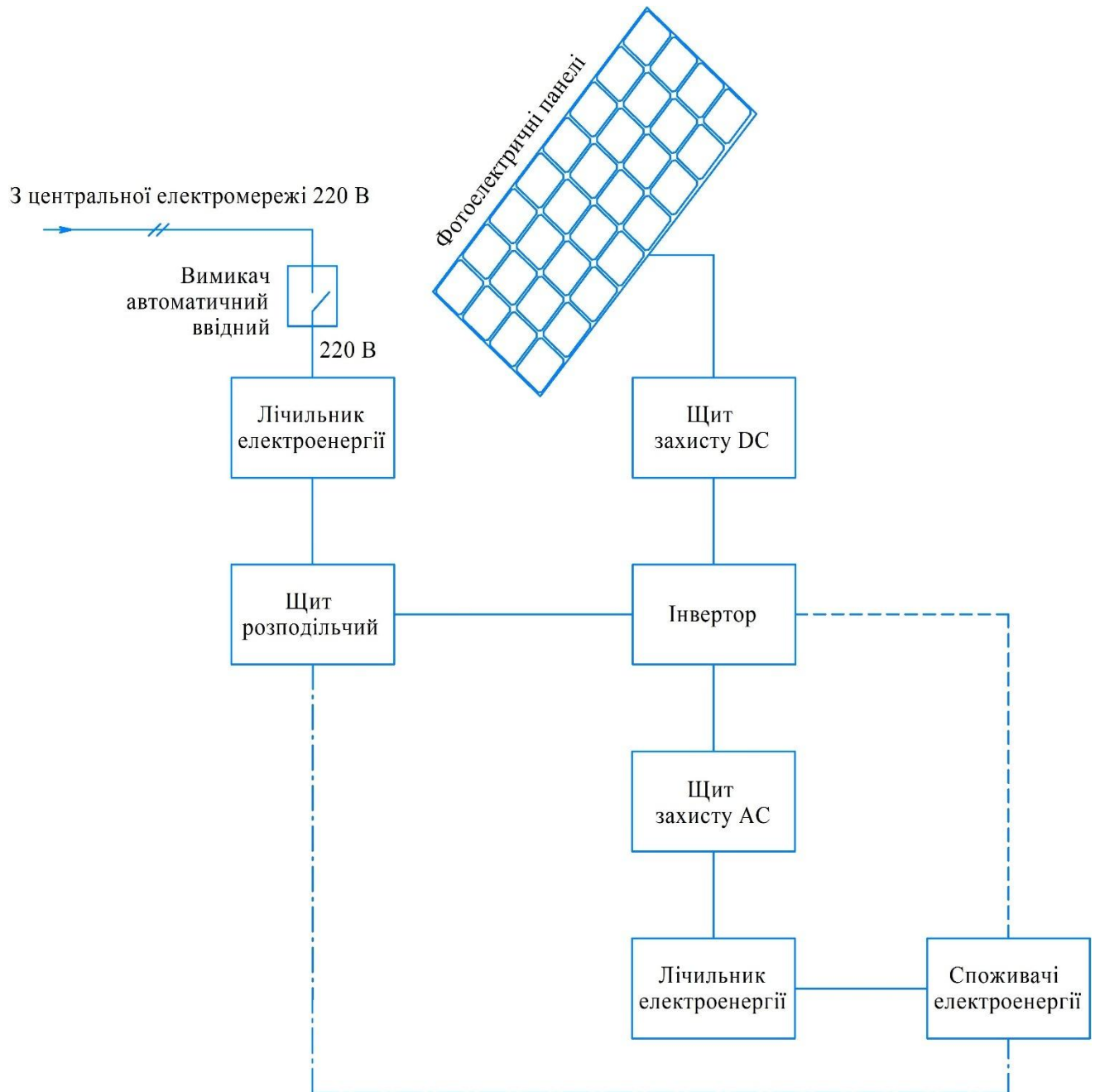


Рисунок 2.1 – Схема принципова системи електропостачання індивідуального житлового будинку, реалізованої на базі фотоелектричної установки

Такого типу система орієнтована на те, що програмне забезпечення гібридного інвертора дозволяє реалізувати весь комплекс заходів керування енергетичними потоками: пряме живлення від електромережі (байпасне живлення); живлення тільки від фотоелектричних панелей з/без зарядкою акумуляторів; сумісне живлення від фотоелектричних панелей, зовнішньої електричної мережі з/без акумуляторної батареї; живлення тільки від акумуляторних батарей. Тобто, необхідно лише виконати комплекс заходів із програмного налаштування інвертора, яке також передбачає приєднання до нього всіх сигнальних кабелів від датчиків струму та акумуляторних батарей.

2.3 Розрахунок параметрів системи електрозабезпечення житлового будинку

Відповідно до головної ідеї використання відновлюваних джерел енергії для електропостачання об'єктів є їх пріоритетне використання, а у випадку браку обсягів виробництва електроенергії, її нестачу повинна забезпечити зовнішня електромережа.

Таким чином, розрахунок параметрів сонячної електрогенерувальної установки повинен вестися на умовах повного забезпечення електроенергією тільки від неї. Тобто, в річному циклі експлуатації сонячна установка повинна виробити весь обсяг споживання електроенергії досліджуваним об'єктом.

На даний час, найбільш популярними моделями фотоелектричних панелей, які є основним електрогенерувальним засобом є панелі китайського виробництва фірми Trina Solar, а саме панелі типу TSM-435 NEG9RC.27. Це сучасні панелі, які виготовлені з монокристалічного кремнію і-ТОРСоп технології N-типу. Номінальна потужність такої фотоелектричної панелі становить 435 Вт.

Як було зазначено раніше, оптимальним кутом встановлення фотопанелей є кут на 15° менший від кута географічної широти, тобто кут 33° . Таким чином для

виконання розрахунків буде взято значення середньоденного надходження сонячного випромінювання саме цього кута розташування сприймаючої поверхні.

Розрахунки провидо відповідно до методики, яка подана у методичних рекомендаціях [16].

Отже, середньоденна продуктивність фотоелектричної панелі визначатиметься за формулою

$$W_{cd} = \eta \cdot H_{\beta} \cdot S \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{каб}, \quad (2.2)$$

де η - коефіцієнт корисної дії фотоелектричної панелі, %; H_{β} - середньодобове надходження сонячного випромінювання на фотопанель, кВт·год./м²/день; S – площа фотоелектричної панелі, м²; η_{inv} - коефіцієнт корисної дії інвертора, %; $\eta_{каб}$ - коефіцієнт втрат енергії в солярних кабелях, %.

Підставивши у формулу 2.2 числові значення отримаємо

$$W_{cd} = 0,218 \cdot 1,55 \cdot 1,856 \cdot 0,95 \cdot 0,99 = 0,59 \text{ кВт·год.}$$

Слід зауважити, що даний розрахунок стосується лише січня місяця. Аналогічні розрахунки слід провести для всіх місяців. Результати розрахунків заносимо в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунок параметрів продуктивності сонячної фотоелектричної панелі TSM-435 NEG9RC.27

Параметр	Місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
H_{β} , кВт·год	1,55	2,41	3,5	4,64	5,12	5,37	5,41	5,42	4,28	3,01	1,83	1,25
W_{cd} , кВт·год	0,59	0,917	1,332	1,766	1,948	2,043	2,059	2,062	1,629	1,145	0,696	0,476
$W_{міс}$, кВт·год	18,29	26,59	41,29	52,98	60,39	61,29	63,83	63,92	48,87	35,5	20,88	14,28

Помісячна продуктивність фотоелектричної панелі може бути визначена множенням добової продуктивності на кількість днів у місяці

$$W_{міс} = W_{cd} \cdot n_{мд}, \quad (2.3)$$

де $n_{\text{мд}}$ – кількість днів у розрахунковому місяці, днів.

Підставивши числові значення у формулу 2.2, отримаємо

$$W_{\text{міс}} = 0,59 \cdot 31 = 18,29 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Тобто, у січні місяці вибраний тип фотоелектричної панелі виробить 18,29 кВт·год. електричної енергії. Результати розрахунків для всіх інших місяців заносимо в табл. 2.2.

Стосовно річного обсягу виробництва електроенергії, то він визначиться сумуванням всіх помісячних обсягів продуктивності, тобто

$$W_{\text{річ}} = \sum_{i=0}^n W_{\text{місі}} . \quad (2.4)$$

Після виконання всіх попередніх розрахунків річна сума буде наступною

$$W_{\text{річ}} = 18,29 + 26,59 + 41,29 + 52,98 + 60,39 + 61,29 + 63,83 + \\ + 63,92 + 48,87 + 35,5 + 20,88 + 14,28 = 508,11 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Отже, одна фотоелектрична панель типу TSM-435 NEG9RC.27 в умовах досліджуваного регіону зможе виробити 508,11 кВт·год. електроенергії.

Тепер можна здійснити розрахунок необхідної кількості фотоелектричних панелей, які забезпечать виробництво необхідної кількості електроенергії. Для цього скористаємося формулою

$$N_{\text{сфп}} = \frac{E_{\text{оп}}}{W_{\text{річ}}} . \quad (2.5)$$

Отже, отримаємо наступний результат

$$N_{\text{сфп}} = \frac{6430}{508,11} = 12,65 \text{ шт.}$$

Зазвичай отриманий результат заокруглюється до більшого, тоді отримаємо 13 панелей. Тобто, для живлення електроенергією житловий будинок необхідно встановити 13 фотоелектричних панелей потужністю 435 Вт.

Для розуміння, на скільки визначені параметри відповідають умовам житлового будинку виконаємо розрахунок загальної продуктивності фотоелектричної установки та здійснимо графічне відображення енергетичних

потреб та виробництва електроенергії генеруючою установкою. Результати розрахунків подаємо в табл. 2.2 та на рис. 2.2.

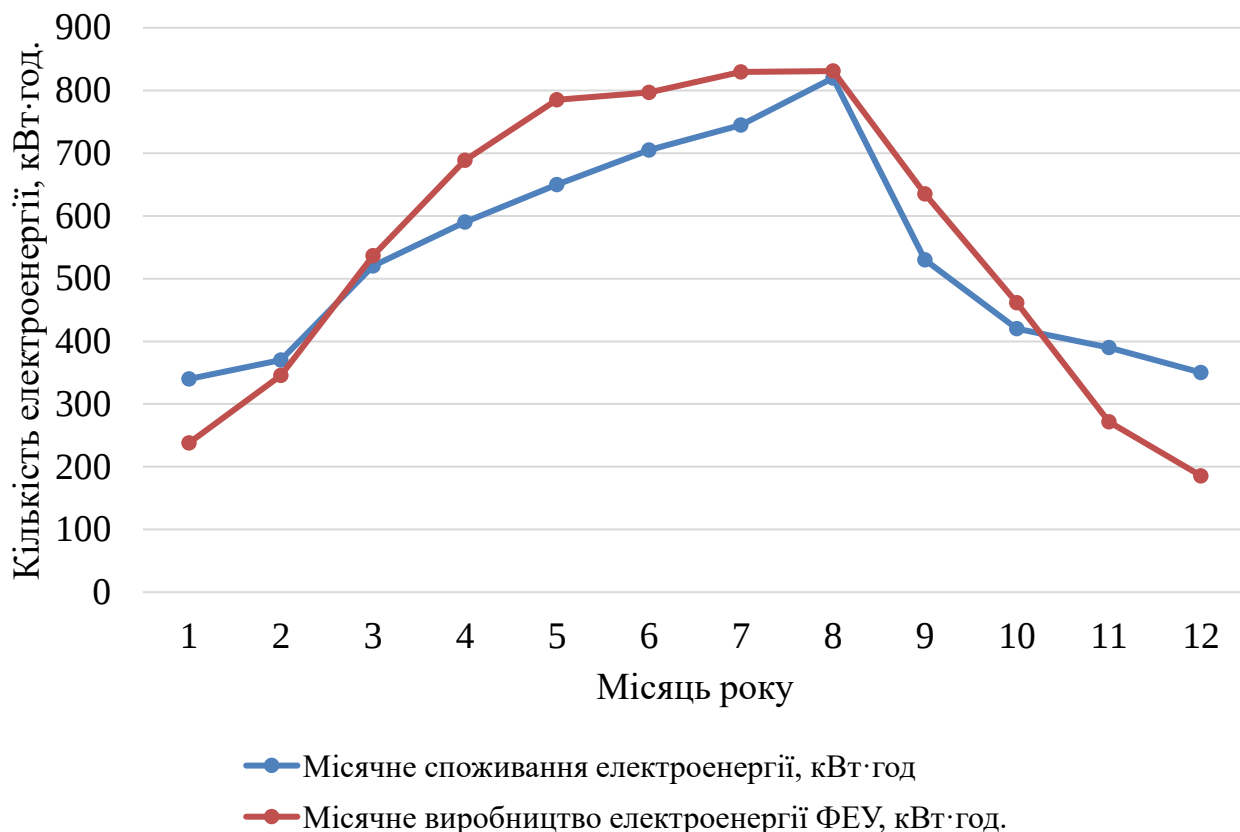


Рисунок 2.2 – Баланс споживання та генерування електроенергії житлового будинку з використанням фотоелектричної установки

Як видно з розрахунків та графічного відображення енергетичного балансу електроенергії, фотоелектрична установка практично повністю забезпечуватиме живлення житлового будинку. Причому, близькість сезонної динаміки забезпечує мінімальні відхилення у надлишково виробленій та недостатньо виробленій електроенергії. Зокрема, згідно розрахунків, нестача обсягів виробництва електроенергії спостерігатиметься лише у зимові місяці, що цілком зрозуміло через низьку сонячну активність. Максимальний рівень нестачі виробництва електроенергії спостерігається у грудні на рівні 164,4 кВт·год. Щодо надлишково виробленої електроенергії, то це відбувається у весняно-осінній період з формуванням максимуму у травні на рівні 135,1 кВт·год. Ці обсяги є цілком прийнятні для нормальної роботи енергообладнання.

2.4 Вибір основних засобів для сонячної електростанції

Для обґрунтування основних параметрів сонячної фотоелектричної установки необхідно здійснити вибір її основних структурних компонентів.

Перш за все слід вибрати тип і потужність фотоелектричної панелі. Нами було вибрано фотоелектричну панель типу TSM-435-NEG9RC.27 фірми Trina Solar (Китай) (рис. 2.3). Це панель з номінальною потужністю 435 Вт, яка вміщена у стандартний розмір 1,7х1,1 м.



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд фотоелектричних панелей типу TSM-435-NEG9RC.27 фірми Trina Solar (Китай) [17]

Згідно з технологічним розрахунком для повного електрозабезпечення житлового будинку необхідно застосувати 13 фотоелектричних панелей. Тоді сумарна потужність по сонячному полю становитиме 5655 Вт.

На наступному етапі слід підібрати гібридний інвертор, який забезпечить виробництво необхідного обсягу електроенергії з використанням вибраного типу фотоелектричних панелей.

З метою зниження первинних капітальних витрат можемо використати інвертор бюджетного типу, який містить всі необхідні апаратні та програмні функції. До такого типу інверторів можна віднести інвертор Must PV19-6048 EXP (рис. 2.4). Це однофазний гібридний інвертор з вихідною потужністю 6 кВт, і який може працювати з акумуляторними батареями з напругою живлення 48 В.



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд гібридного інвертора Must PV19-6048 EXP [9]

Необхідно здійснити перевірку, чи можливо приєднати до цього інвертора необхідну кількість фотоелектричних панелей вибраного типу.

З урахуванням того, що всі параметри залежать від фактичної температури фотопанелі як при додатних, так і при від’ємних температурах навколишнього середовища, визначимо її як

$$T_{\phi n} = T_{нс} + \frac{(T_{НОСТ} - 20) \cdot E}{800}, \quad (2.6)$$

де $T_{нс}$ – температура повітря/фотоелектричної панелі, °C; $НОСТ$ – нормативна температура роботи фотоелектричної панелі, °C; E – рівень сонячної радіації, Вт/м².

Всі розрахунки виконаємо для найгарячішого (+30 °C) та для найхолоднішого (-20 °C) періодів.

При температурі повітря 30 °C температура фотопанелі, відповідно, буде

$$T_{\phi n+30} = 30 + \frac{(43 - 20) \cdot 1000}{800} = 58,75^{\circ}\text{C},$$

а при температурі повітря -19°C температура фотопанелі становитиме

$$T_{\phi n-19} = -19 + \frac{(43 - 20) \cdot 1000}{800} = 9,75^{\circ}\text{C},$$

Вплив температурних змін на напругу фотопанелі описується виразом

$$U_t = U + (T_{\phi n} - T_{stc}) \cdot \Delta U_t, \quad (2.7)$$

де U – напруга фотоелектричної панелі, В; ΔU_t – коефіцієнт зміни напруги за відхилення температури, В/ $^{\circ}\text{C}$.

Зміна струму фотопанелі внаслідок зміни температури визначається як

$$I_t = I + (T_{\phi n} - T_{stc}) \cdot \Delta I_t, \quad (2.8)$$

де I – струм фотоелектричної панелі, А; ΔI_t – коефіцієнт зміни струму за відхилення температури, А/ $^{\circ}\text{C}$.

Отже, отримаємо

- напруга розімкненого кола за температури $+30^{\circ}\text{C}$

$$U_{oc+30} = 51,8 - 0,24 \cdot (58,75 - 25) = 43,7 \text{ В};$$

- напруга в точці МРРТ за температури $+30^{\circ}\text{C}$

$$U_{mpp+30} = 43,6 - 0,24 \cdot (58,75 - 25) = 35,5 \text{ В};$$

- напруга розімкненого кола за температури -19°C

$$U_{oc-19} = 51,8 - 0,24 \cdot (9,75 - 25) = 55,46 \text{ В};$$

- напруга в точці МРРТ за температури -19°C

$$U_{mpp-19} = 43,6 - 0,24 \cdot (9,75 - 25) = 47,26 \text{ В};$$

- струм короткого замикання за температури $+30^{\circ}\text{C}$

$$I_{sc+30} = 11,49 + (58,75 - 25) \cdot 0,04 = 12,84 \text{ А}.$$

Щодо струму, то тут допустимий рівень суттєво перевищує отримані значення, тому слід контролювати лише вхідну напругу.

Так, згідно паспортних даних на інвертор, максимальна вхідна напруга не повинна перевищувати 500 В постійного струму. За умови застосування 13

фотоелектричних панелей, які мають бути приєднані в один стрінг, то максимальна напруга за температури $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ становитиме $720,98\text{ В}$, що є неприйнятне. Тоді необхідно буде всі панелі розділити на два стрінги. В цьому випадку необхідно додати одну панель, оскільки число 13 не можна розділити на два. Отже, при застосуванні двох стрінгів, в яких буде по 7 фотоелектричних панелей максимальна напруга становитиме $388,22\text{ В}$. Мінімальна напруга становитиме за температури $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $305,9\text{ В}$. Даний діапазон напруг нас задовольняє. Однак потрібно ще перевірити, чи ми вписуємося у діапазон роботи МРРТ трекера інвертора. В цьому випадку також слід визначити максимальну та мінімальну напруги здвоєного стрінга в МРРТ режимі. Отже, максимальна напруга становитиме $330,82\text{ В}$, а мінімальна – $234,5\text{ В}$. За умови нормальної роботи МРРТ трекера в діапазоні напруг від 150 до 450 В , можемо вважати, що вибрана кількість фотоелектричних панелей буде цілком нормально працювати з цим інвертором.

Щодо системи акумулювання, то вона може бути реалізована на базі акумуляторів типу Must LP16-48100 (рис. 2.5) того ж бренда, що дозволяє добре їх поєднувати із інвертором. Напруга в такої батареї $51,2\text{ В}$, а ємність $100\text{ А}\cdot\text{год}$. таким чином, один блок акумулятора має ємність $5,12\text{ кВт}\cdot\text{год}$.



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд акумулятора Must LP16-48100 [7]

Для визначення обґрунтованої кількості слід переглянути результати розрахунку добового споживання електроенергії. Так, добове споживання становить від 11 до 26,5 кВт·год. за середньорічного споживання на рівні 17,6 кВт·год. Тобто, ємність акумуляторної батареї мала б бути не менше середньорічного рівня добової витрати електроенергії. За такого рівня споживання доцільно було б застосувати чотири блоки, що забезпечило б накопичення 20,48 кВт·год. електроенергії. З врахуванням того, що максимум споживання припадає на літні місяці, коли є достатня сонячна активність, раціонально було б застосувати трохи меншу кількість батарей. Тобто, слід було б використати три блоки, що забезпечило б накопичення електроенергії в обсязі 15,36 кВт·год. Такий варіант виглядає більш оптимальним з точки зору мінімізації капіталовкладень.

Щодо захисту кабелів, то по стороні постійного струму доцільно застосувати запобіжник типу CH10×38 gPV UL2579 з параметрами $U_n = 1000$ В, $I_n = 32$ А. Даний запобіжник вмонтовується у роз'єднувач запобіжників типу EFH 10 DC 2p фірми ETI (Словенія) [1]. Для роз'єднання силового кола постійного струму можна застосувати вимикач навантаження типу LS16 SMA A2 1000V тієї ж фірми [1]. Для захисту від імпульсних перенапруг слід застосувати обмежувач напруги типу ETITEC S B-PV 1000/20 кА типу II з напругою до 1000 В та номінальним струмом до 20 кА [1].

По лінії змінного струму слід застосувати вимикач типу CLBS 40 з струмом до 40 А, обмежувач напруги типу ETITEC V T-2 690/20 4+1 RC типу II з напругою до 760 В та струмом до 20 кА [1].

Відповідно до прийнятої архітектури сонячної фотоелектричної установки можна викреслити її електричну схему, яка подана на рис. 2.6.

Як видно з рис. 2.6, гібридний інвертор містить декілька незалежних входів, серед яких є вхід від фотоелектричних панелей, вхід від зовнішньої електромережі; вихід на акумулятори; вихід на внутрішню електромережу споживача. Оскільки даний тип інвертора містить тільки один MPPT вхід, то два

стрінги по 7 фотоелектричних панелей приєднуються ззовні паралельно та заводяться до інвертора одним кабелем.

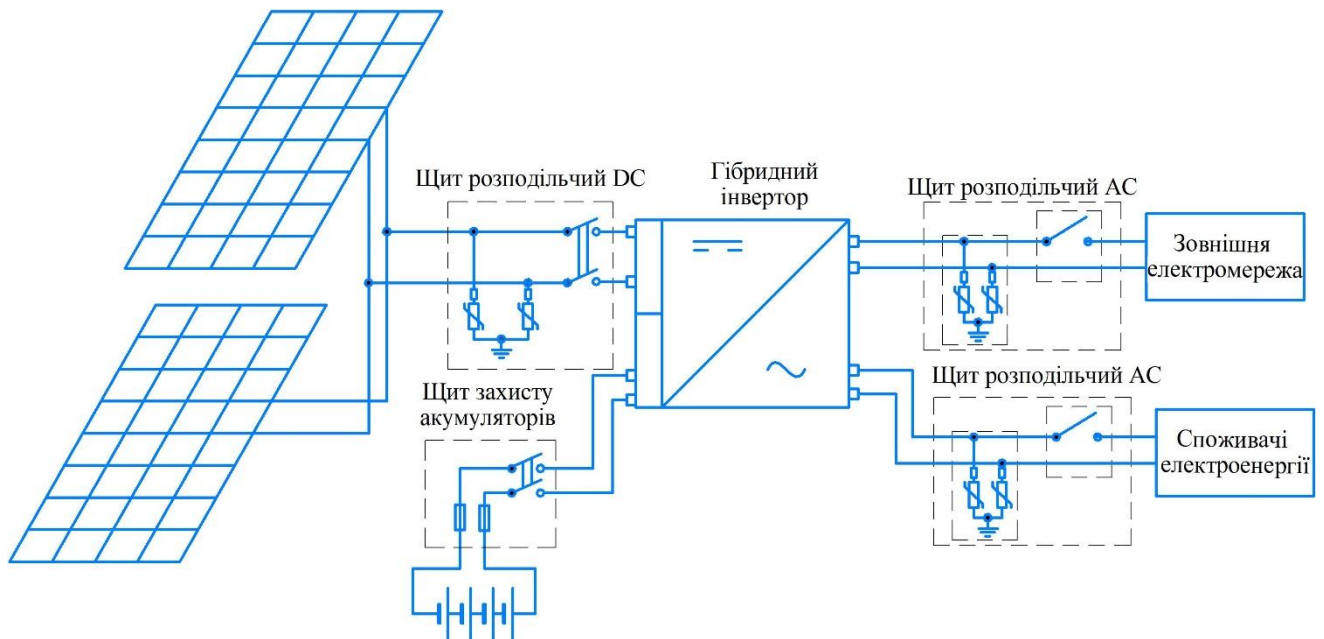


Рисунок 2.6 – Електрична схема фотоелектричної установки

На електричній схемі не позначено систему інформаційних кабелів, серед яких: подвійний кабель давача струму СТ; інформаційні кабелі зв'язку між інвертором та батареями по CAN-шині, які з'єднані паралельно. Причому перша батарея приєднується як Master (ведуча), а дві наступні як Slave (ведені).

3 УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ

3.1 Загальні відомості про сонячні трекери

У системах живлення, що базуються на використанні сонячних панелей, одним із ключових аспектів є забезпечення найвищого рівня перетворення сонячної енергії в електричну. Це пояснюється тим, що і самі фотоелектричні модулі, і додаткове обладнання мають значну вартість, що зумовлює необхідність максимально ефективного їх використання. З метою підвищення продуктивності таких систем доцільно впроваджувати технічні рішення, зокрема механізми, які дозволяють орієнтувати панелі відповідно до положення Сонця. Такий підхід сприяє суттєвому зростанню обсягу генерованої електроенергії. Згідно з даними наукових джерел, застосування систем відстеження сонця дозволяє підвищити вироблення енергії на 25–40 %.

З огляду на високу вартість сонячної фотоелектричної установки, особливу увагу слід приділити максимізації її ефективності. Як показує рівняння (3.1), кількість сонячного випромінювання, що надходить на поверхню сприймаючої поверхні, істотно визначається просторовим кутом J . Цей параметр залежить від різниці між азимутальними положеннями Сонця та фотопанелі, а також від кута між напрямком на Сонце (з урахуванням його схилення δ) і перпендикуляром до площини фотопанелі. Останній, своєю чергою, визначається кутом нахилу панелі відносно горизонту β .

$$E_{\text{ек}} = E \cdot \left[(1 - \psi_{\text{диф}}) \cdot \cos j + \psi_{\text{диф}} \frac{1 + \cos \beta_{\text{ек}}}{2} + r_a \frac{1 - \cos \beta_{\text{ек}}}{2} \right], \quad (3.1)$$

де $\psi_{\text{диф}}$ – коефіцієнт, що визначає частку дифузного компонента в загальному потоці сонячної радіації, встановлюється з урахуванням сезонних умов $\psi_{\text{диф}} = 0,3$, для літніх - $\psi_{\text{диф}} = 0,21$; j – кут між перпендикуляром до площини фотопанелі та

вектором сонячного випромінювання; r_a – альbedo землі; $\beta_{зк}$ – кут нахилу поверхні фотопанелі до горизонту.

Відомо, що за інших рівних умов щільність потужності сонячного випромінювання, яке надходить на площину, визначається кутом падіння променів і описується відповідною залежністю

$$N_{ef} = N_{max} \cdot \sin J, \quad (3.2)$$

де N_{ef} , N_{max} – ефективна та максимальна потужності енергії сонячного випромінювання, відповідно, Вт; J – кут відхилення сонячного променя від нормалі до площини фотопанелі, град.

Тому для підвищення ефективності доцільно використовувати автоматичну систему стеження, яка орієнтує фотопанель відповідно до руху Сонця.

Для того, щоб фотоелектрична панель завжди була зорієнтована на Сонце, вона повинна повторити добовий цикл переміщення (рис. 3.1).

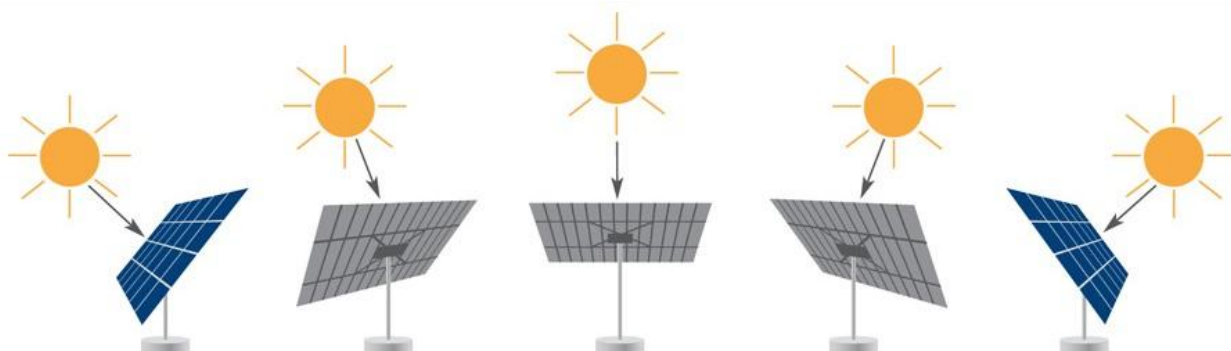


Рисунок 3.1 – Добова зміна положення Сонця на небосхилі відносно поверхні фотоелектричних панелей, обладнаних слідкуючим пристроєм

Існує декілька способів забезпечити таке переміщення фотоелектричної панелі, які однак завжди передбачають наявність сонячного трекера. Слідкуючі сонячні трекери за загальним алгоритмом роботи поділяються на два класи, які керуються за часовим принципом, а також за допомогою світлочутливих датчиків.

Переміщення панелей може бути забезпечене приводами обертового, або лінійного руху, які зазвичай обладнані кроковими двигунами, або двигунами

постійного струму. Потужні фотоелектричні системи з трекерами можуть використовувати двигуни змінного струму.

Сонячні трекери за способом руху поділяються на одноосьові з обертанням навколо полярної осі (рис. 3.2, а), одноосьові з обертанням навколо горизонтальної осі (рис. 3.2, б), одноосьові з обертанням навколо вертикальної осі (рис. 3.2, в), двоосьові з обертанням навколо полярної осі та зміни зенітного кута (рис. 3.2, г), двоосьові з обертанням навколо вертикальної осі та зміною зенітного кута (рис. 3.2, д).

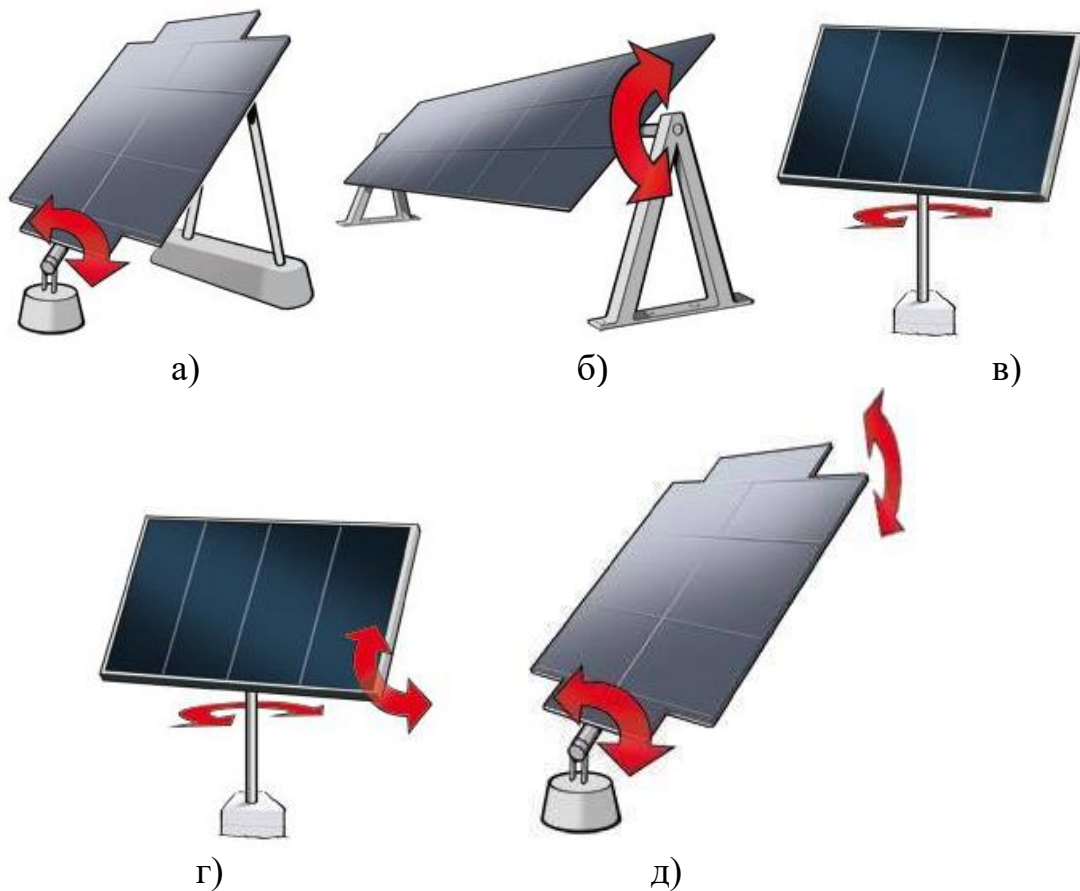


Рисунок 3.2 – Схеми орієнтації фотоелектричних панелей

З точки зору ефективності, то практично всі варіанти орієнтації фотоелектричної панелі на Сонце дозволяють значно збільшити їх продуктивність. Відхилення в прирості продуктивності фотоелектричної панелі у варіантах з одноосьовим переміщенням є майже однаковою. Стосовно двоосьового переміщення, то тут спостерігається незначна (до 10%) надбавка.

3.2 Обґрунтування розроблюваної конструкції

Відповідно до проведеного огляду типів приводів, найбільш раціональним як з точки зору конструктивного виконання, так і з точки зору приросту продуктивності та вартості установки, є варіант з вертикально-осьовим переміщенням фотоелектричної панелі. Тому за основу конструкції візьмемо саме цей варіант. Щодо типу приводу, який забезпечить вертикально-осьове переміщення фотоелектричної панелі, то тут є наступні варіанти: на базі лінеатора; з використанням моторизованого електропривода, оснащеного редуктором з великим передавальним числом; з використанням гідро- або пневмоприводу тощо.

В нашому випадку, для забезпечення руху фотоелектричних панелей за Сонцем буде застосовано гідропривод, який реалізований на базі двопоршневого поворотного гідроциліндра.

У складі запропонованої слідкуючої системи можна виокремити такі основні компоненти: гідропомпа, трубопроводи, двопоршневий поворотний гідродвигун, спеціальна опорна конструкція.

Принцип дії системи генерації електроенергії з використанням слідкуючого механізму полягає в наступному. Коли на затискачах фотоелектричних панелей виникає достатній електричний потенціал, система автоматизованого керування формує сигнали для орієнтації панельного майданчика відповідно до положення Сонця. У цей момент активується гідронасос, який подає робочу рідину до трубопровідної мережі гідроприводу.

Залежно від поточного положення панелей відносно сонячного випромінювання визначається напрям обертання, після чого електропривод здійснює керування гідророзподільником. Останній спрямовує потік робочої рідини в одну з порожнин гідродвигуна.

Рух поршнів гідродвигуна у відповідному напрямку обумовлює обертання поворотного вала, який за допомогою зубчастої передачі з'єднаний із штоками гідроциліндрів. Коли майданчик досягає оптимального кута орієнтації, золотники

гідророзподільника переводяться у нейтральне положення, припиняючи подачу робочої рідини.

Після цього система переходить у режим очікування до наступного циклу коригування положення, який виконується дискретно.

3.3 Розрахунок параметрів удосконаленого засобу

Оскільки при незначних кутах схилення Сонця над горизонтом велика частина сонячної енергії втрачається через поглинання атмосферою, вважається недоцільним орієнтувати фотоелектричну панель на Сонце при кутах схилення δ_{min} , менших за 30° . Відтак, максимальний кут повороту α панелі навколо її довгої осі в горизонтальній площині становитиме

$$\alpha_{max} = 180 - 2\delta_{min}. \quad (3.3)$$

Тобто

$$\alpha_{max} = 180 - 2 \cdot 30 = 120 \text{ град.}$$

Для оцінки міцності опорного вала поворотного механізму у вертикальній площині необхідно визначити силу, що впливає на панельний блок під дією ураганного вітру, використовуючи таку формулу:

$$F_{yp} = \frac{v^2 \cdot \rho_n \cdot S_k \cdot n_n \cdot K_{обт} \cdot \sin \beta_{max}}{2}, \quad (3.4)$$

де v - швидкість вітрового потоку, м/с; ρ_n - густина повітря, кг/м³; S_k - площа сприймаючої поверхні, м²; n_n - кількість фотоелектричних панелей, які закріплено на конструкції, шт.; $K_{обт}$ - коефіцієнт обтікання площини; β_{max} - максимальне значення кута встановлення фотоелектричних панелей до горизонту, град.

Підставивши значення у зазначену формулу отримаємо

$$F_{yp} = \frac{40^2 \cdot 1,27 \cdot 1,856 \cdot 7 \cdot 1,05 \cdot 0,87}{2} = 12058 \text{ Н.}$$

Відповідно, на привід діятиме сила, що визначається за формулою:

$$F_{np} = \frac{F_{yp}}{\sin \beta}, \quad (3.5)$$

або

$$F_{np} = \frac{12058}{0,87} = 13859,8 \text{ Н.}$$

При умові, що довжина приводу обрана рівною 1 м з конструктивних міркувань, діаметр стержня розраховується згідно з формулою Ейлера [11]

$$D_{cm} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot F_{np} \cdot l}{\pi^3 \cdot E}}, \quad (3.6)$$

де E – модуль пружності для сталі, Па; l – довжина металевого циліндра, м.

Підставляємо значення у формулу і отримуємо

$$D_{cm} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 13859,8 \cdot 1}{3,14^3 \cdot 2,11 \cdot 10^{11}}} = 0,026 \text{ м.}$$

Отриманий результат з врахуванням запасу міцності заокруглюємо до більшого, тобто мінімальний діаметр стержня повинен бути рівним 30 мм.

Привід повороту панельного блоку в горизонтальній площині повинен долати лише сили тертя в шарнірах, оскільки панелі розташовані симетрично відносно осі обертання, і вітрове навантаження не створює крутного моменту. Відтак, вибір параметрів приводу здійснено з урахуванням конструктивних особливостей та доступного стандартного обладнання.

З огляду на те, що основним приводним елементом у системі є гідравлічний поворотний гідроциліндр, виконаємо розрахунок його конструктивних параметрів. Основою такого розрахунку є визначення ходу поршня за заданим діаметром, обчислення сили, що діятиме на шток, а також розрахунок об'єму робочої рідини, необхідної для забезпечення передавання крутного моменту.

Розрахуємо хід поршня, необхідний для повороту опорного вала поворотного механізму на кут 120° . З урахуванням конструктивних особливостей, дільний діаметр приймаємо рівним 50 мм. Відповідно, довжина ходу штока визначається за формулою:

$$l_{\text{ц}} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot k_{\kappa}, \quad (3.7)$$

де r – дільний діаметр зубчастого колеса, м; k_{κ} – відносний кут переміщення опорної конструкції (приймається кут переміщення рівний 120° , тоді відносний кут буде рівний 0,33).

$$l_{\text{ц}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,025 \cdot 0,33 = 0,052 \text{ м.}$$

Розрахуємо зусилля, яке має створювати шток гідроциліндра під час повороту сонячного модуля. Згідно з даними літературних джерел, крутильне навантаження, спричинене вітровим тиском, становить не більше 15 % від загального навантаження. Відтак, необхідний для повороту крутий момент визначається за формулою:

$$M_{\text{кр}} = F_{\text{np}} \cdot k_1 \cdot r, \quad (3.8)$$

де k_1 – коефіцієнт переносу лобового навантаження на крутильне.

Отже,

$$M_{\text{кр}} = 13859,8 \cdot 0,15 \cdot 0,025 = 50,96 \text{ Нм.}$$

Тоді, зусилля, що має розвинути поворотний шток гідроциліндра буде рівне

$$F_{\text{ц}} = \frac{M_{\text{кр}}}{r \cdot n_{\text{ц}}}, \quad (3.9)$$

де $n_{\text{ц}}$ – кількість гідроциліндрів, шт.

$$F_{\text{ц}} = \frac{50,96}{0,025 \cdot 2} = 1019,2 \text{ Н.}$$

Тепер необхідно визначити робочий об'єм поворотного гідроциліндра

$$V_{\text{ц}} = n_{\text{ц}} \cdot l_{\text{ц}} \cdot S_{\text{ц}}, \quad (3.10)$$

де $S_{\text{ц}}$ – площа перерізу поворотного гідроциліндра, м^2 , яка може бути визначена як

$$S_{\text{ц}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ц}}^2}{4}, \quad (3.11)$$

де $d_{\text{ц}}$ – діаметр поворотного гідроциліндра, м.

Підставивши відповідні числові значення у формули (3.11) і (3.10) маємо

$$S_u = \frac{3,14 \cdot 0,05}{4} = 0,039 \text{ м}^2;$$

$$V_u = 2 \cdot 0,052 \cdot 0,0039 = 0,004 \text{ м}^3.$$

Враховуючи періодичний режим роботи гідроциліндрів та тривалість їх простою близько 1 години, доцільно використовувати поршневий гідронасос з електромагнітним приводом. Для стабілізації тиску і запобігання раптовим рухам поворотного механізму рекомендується встановити гідроаккумулятор, об'єм якого повинен бути не меншим за

$$V_a = V_u \cdot k_z, \quad (3.12)$$

де k_z – коефіцієнт запасу об'єму порожнини гідравлічного акумулятора.

$$V_a = 0,004 \cdot 5 = 0,02 \text{ м}^3.$$

Таким чином було визначено основні конструктивні параметри складових об'ємного гідроприводу, що дозволяє здійснити вибір структурних компонентів для виготовлення, налаштування та запуску в експлуатацію слідкуючого трекера.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

4.1 Структурно-функціональний аналіз технологічного процесу

Для створення оптимальних умов праці персоналу необхідно приділяти увагу не лише забезпеченості приміщень певними видами енергії, а й відповідності їх тому чи іншому робочому місцю. Серед одних із основних чинників якісного забезпечення умов праці є забезпечення необхідного рівня освітленості на робочому місці. Енергозабезпечення житлового будинку передбачає генерування енергії різного виду і автономних генерувальних пристроях та засобах з подальшим транспортування виробленої енергії до споживача. В даному випадку передбачається робота в напівавтономному режимі робота сонячної фотоелектричної установки, яка здійснюватиме виробництво електроенергії. Процеси виробництва електроенергії із застосуванням сонячної фотоелектричної установки містить свої небезпечні чинники, які можуть негативно вплинути на життя та здоров'я працівників при недотриманні правил техніки безпеки.

Під час експлуатації електрогенерувального обладнання можуть виникнути такі небезпечні чинники як механічний, враження електричним струмом.

До механічних чинників виникнення небезпечних ситуацій належать машини та механізми, що передають крутний момент. Ці небезпечні зони повинні бути огорожені спеціальними пристроями.

Враження електричним струмом виникає в результаті неполадок в електричній системі або при неправильній експлуатації електричних пристроїв. Для запобігання цьому необхідно вчасно проводити перевірки стану електрообладнання та заземлення.

В процесі експлуатації електрогенерувального обладнання можуть виникнути травмонезбезпечні та аварійні ситуації.

Опишемо найбільш ймовірні ситуації, які можуть призвести до тяжких наслідків, пов'язаних зі завданням шкоди здоров'ю працюючих.

Операція 1: проведення сервісних та ремонтних робіт на фотоелектричній установці (рис. 4.1).

Небезпечна умова:

- Виконання робіт виконується в жарку погоду, сприймаюча поверхня фото панелі не затінена (НУ₁);
- до фотопанелі є доступ працівників (НУ₂).

Небезпечна дія:

- оператор виконує сервісні та ремонтні роботи не закривши поверхню фотопанелі (НД₁);
- поверхня фотопанелі нагрівається на сонця (НД₂).

Небезпечна ситуація:

- оператор торкається руками поверхні фотопанелі (НС).

Можливі наслідки:

- термічний опік (Т_{1,2}).

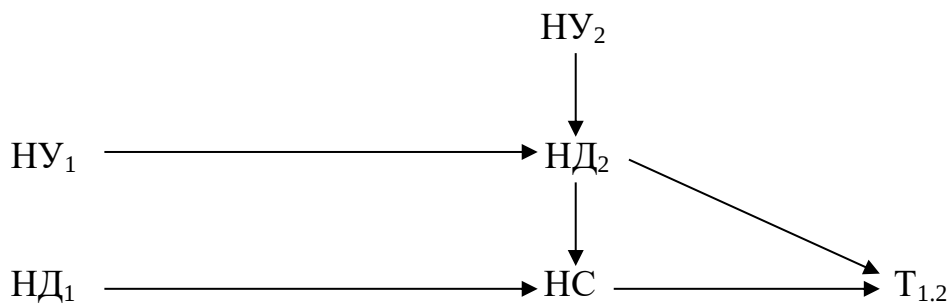


Рисунок 4.1 – Модель виникнення травми при сервісі фотоелектричної установки

Заходи запобігання:

- перед виконанням сервісних та ремонтних робіт обов'язковим є накриття фотопанелі для запобігання її нагрівання в період виконання робіт, сторонні особи, що не пройшли інструктаж з експлуатації даного обладнання не повинні виконувати сервісні роботи;

- роботи з технічного сервісу, обслуговування та монтажу сонячної фотоелектричної установки слід проводити під час низького рівня сонячного випромінювання.

4.2 Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій стосовно безпечного перебігу технологічного процесу

4.2.1 Правила безпеки праці при експлуатації енергогенерувального обладнання

Для запобігання нещасних випадків при роботі фотоелектричної установки необхідно знати і виконувати вимоги техніки безпеки, а також протипожежні заходи.

Для обслуговування фотоелектричних установок допускаються особи не молодші 18 років не залежно від статті, що мають середню освіту або середньотехнічну, пройшли ввідний інструктаж, первинний на робочому місці, а також склали іспит на перевірку знань з охорони праці.

Перед запуском системи повороту фотоелектричної установки необхідно впевнитись в тому, що це не призведе до небезпечної ситуації. Про всі несправності обладнання повідомити безпосередньо керівника робіт. До усунення неполадок не можна приступати до роботи. Перевірити наявність та справність: огороження приводів, а також струмоведучих частин електрообладнання, заземлюючих пристроїв, кнопок аварійної зупинки, попереджувального звукового сигналу. При проведенні технічного обслуговування і ремонтів перевірити справність та якість ручного слюсарного інструменту.

На робочому місці повинна бути аптечка та засоби захисту пожежогасіння.

4.4.2 Розрахунок захисного заземлення електрообладнання

Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалент металевих струмонепровідних частин, на яких може з'явитися напруга. Заземляють усі металеві струмонепровідні частини обладнання, на яких внаслідок

несправності ізоляції може з'явитися напруга і до яких може відбутися дотикання моделі. Основним параметром, що характеризує заземлюючий пристрій, є його опір розтіканню струму, який залежить від опору землі. Наявність в ґрунті солей та кислот знижує опір розтіканню.

Опір проходження струму одинарного стержневого заземлювача визначається за формулою:

$$R_c = 0,366 \frac{\rho}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + 0,5 \cdot \lg \frac{4h+l}{4h-l} \right), \quad (4.5)$$

де ρ – питомий опір ґрунту, $\rho = 500 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;

l, d – довжина і діаметр заземлювача, м; $l = 2,5\text{-}3 \text{ м}$; $d = 10\text{-}50 \text{ мм}$;

h – глибина закладання заземлювача, $h = 1,2\text{-}1,5 \text{ м}$.

Отже,

$$R_c = 0,366 \frac{500}{3} \left(\lg \frac{2 \cdot 3}{0,05} + 0,5 \cdot \lg \frac{4 \cdot 1,5 + 3}{4 \cdot 1,5 - 3} \right) = 141,4 \text{ Ом}.$$

Необхідна кількість заземлювачів визначається за формулою:

$$n = \frac{R_c \cdot K_c}{R_n \cdot \eta_e}, \quad (4.6)$$

де K_c – коефіцієнт сезонності, $K_c = 2$;

R_n – нормативний опір заземлення, $R_n = 10 \text{ Ом}$;

η_e – коефіцієнт використання заземлювачів, $\eta_e = 0,8$.

Отже, необхідна кількість заземлювачів буде рівною

$$n = \frac{141,4 \cdot 1,5}{10 \cdot 0,8} = 26,5.$$

Приймаємо 27 заземлювачів.

4.3 Охорона довкілля

Реалізація запропонованих екологічних заходів дозволить зберегти природне середовище у стані, сприятливому для життя та діяльності всіх живих

істот, включаючи людину, а також забезпечити раціональне використання природних ресурсів і підтримання належного санітарного рівня умов проживання населення. У випадках, коли промислове підприємство, технічні засоби чи умови праці не відповідають встановленим нормам екологічної безпеки, виникає необхідність у впровадженні комплексу заходів, спрямованих на покращення відповідних показників. Основними напрямками такого вдосконалення є: заміна небезпечних речовин на менш шкідливі або безпечні аналоги; заміна технологічних процесів, що супроводжуються значним шумом, вібраціями або іншими шкідливими факторами, на менш шкідливі аналоги; використання електричного нагріву замість відкритого полум'я, а також перехід від твердого і рідкого палива до газоподібного; герметизація обладнання з встановленням витяжної вентиляції, автоматичне блокування технологічного та санітарного обладнання, а також встановлення сигналізації при збоях у роботі вентиляційних систем; повне уловлювання та очищення технологічних викидів; очищення стічних вод промислового походження; впровадження маловідходних або безвідходних технологічних рішень.

Одним із ефективних шляхів зменшення техногенного навантаження на систему енергозабезпечення є впровадження технологій відновлюваної енергетики. Їх використання дозволяє зменшити навантаження на традиційні енергетичні мережі, знизити негативний екологічний вплив від їхньої роботи, скоротити витрати на сплату податків за шкідливі викиди, а також зменшити фінансові витрати на будівництво та модернізацію централізованих систем енергопостачання. Зокрема, фотоелектричні установки, призначені для забезпечення електроенергією житлових об'єктів, є цілком безпечними для довкілля. Виробництво електроенергії за допомогою сонячних панелей вважається одним із найекологічніших і найнадійніших способів, який варто максимально впроваджувати.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Ключовим етапом оцінки економічної ефективності технологічних або конструктивних рішень є аналітичне обґрунтування структури витрат, необхідних для їх практичної реалізації, а також розрахунок терміну окупності відповідних удосконалень системи.

Запропонований підхід до економічної оцінки, що передбачає порівняння базового та модернізованого варіантів виробничої структури, забезпечує високий рівень інформативності щодо визначення обсягів потенційної економії фінансових ресурсів у результаті впроваджених змін.

На підставі кількісної оцінки зростання доходів або зниження витрат здійснюється визначення терміну повернення додаткових капіталовкладень, спрямованих на реалізацію заходів з удосконалення об'єкта.

Розрахунок економічної ефективності буде виконано для модернізованої системи електрозабезпечення із застосуванням сонячної фотоелектричної установки.

На основі розрахованих обсягів споживання електричної енергії для забезпечення житлового будинку буде здійснено визначення відповідної вартості необхідної електроенергії.

$$B_{елво} = E_{сумво} \cdot C_{ел}, \quad (5.1)$$

де $C_{ел}$ – ціна 1 кВт·год. електроенергії, грн.

З врахуванням того, що ця житлова будівля на даний час інтернована у перелік об'єктів нерухомості фермерського господарства з відповідною реєстрацією юридичної адреси підприємства, вартість електроенергії буде братися згідно вартості як для підприємств, тобто 1 кВт·год. буде коштувати 10,16 грн.

$$B_{ел} = 6430 \cdot 10,16 = 65328,8 \text{ грн.}$$

З урахуванням того, що використання поворотної системи забезпечує додаткове зростання виробництва електроенергії до 35%, стає можливим

зменшення загальної кількості фотоелектричних панелей без зниження загального обсягу виробленої електроенергії.

$$N_{\phi n} = N_n \cdot k_{\phi}, \quad (5.2)$$

де k_{ϕ} – коефіцієнт, що визначає необхідну залишкову кількість фотоелектричних панелей за умови використання поворотного пристрою, з урахуванням енергетичних витрат на його привід, характеризує ефективне зменшення встановленої площі фотоперетворювачів без втрати загального обсягу виробництва електроенергії., $k_{\phi} = 0,65$.

Отже, отримаємо

$$N_{\phi n} = 14 \cdot 0,65 = 9,1 \text{ шт.}$$

Отже, за умови застосування поворотного пристрою загальна кількість фотоелектричних панелей має становити 9 одиниць.

Для проведення порівняльної оцінки визначимо вартість фотоелектричної системи в двох варіантах реалізації. Узагальнені результати розрахунків наведено в табл. 5.1-5.2.

Таблиця 5.1 – Вартість фотоелектричної установки за умови стаціонарного розташування панелей

Назва обладнання	Одиниці виміру	Кількість одиниць	Ціна, грн.	Вартість, грн.
Фотоелектрична панель Trina Solar TSM-435-NEG9RC.27	шт.	14	2890	40460
Гібридний інвертор Must PV19-6048 EXP	шт.	1	16200	16200
Акумуляторна батарея Must LP16-48100	шт.	3	26600	79800
Кабельна продукція	м. п.	20	42	840
Монтажні конструкція	шт.	14	480	6720
Засоби кріплення	компл.	14	120	1680
ВСЬОГО				145700

Таблиця 5.2 – Вартість фотоелектричної установки за умови застосування сонячного трекера

Назва обладнання	Одиниці виміру	Кількість одиниць	Ціна, грн.	Вартість, грн.
Фотоелектрична панель Trina Solar TSM-435-NEG9RC.27	шт.	9	2890	26010
Гібридний інвертор Must PV19-6048 EXP	шт.	1	16200	16200
Акумуляторна батарея Must LP16-48100	шт.	3	26600	79800
Кабельна продукція	м	15	42	630
Опорна конструкція поворотного пристрою	шт.	1	14800	14800
Блок управління поворотним пристроєм	шт.	1	3150	3150
Засоби кріплення	компл.	9	120	1080
ВСЬОГО				141670

На підставі наведених даних можна визначити кількісне зниження вартості фотоелектричної системи, зумовлене впровадженням сонячного трекера.

$$B_{\phi c} = B_{nc} - B_{nc}, \quad (5.3)$$

$$B_{\phi c} = 145700 - 141670 = 4030 \text{ грн.}$$

Термін окупності капіталовкладень, пов'язаних із впровадженням сонячного трекера в систему на основі сонячних фотоелектричних панелей, визначається як відношення додаткових інвестиційних витрат до величини щорічної економії, отриманої внаслідок зменшення вартості всієї фотоелектричної системи.

$$T_{ок} = \frac{B_{nc}}{B_{\phi c}}, \quad (5.4)$$

де B_{nc} – вартість сонячного трекера, грн.

$$T_{ок} = \frac{17950}{4030} = 4,45 \text{ років.}$$

Отже, застосування сонячного трекера дозволяє знизити початкову вартість встановленого обладнання. Це підтверджується терміном окупності капіталовкладень у реконструкцію, що становить трохи більше як шість років.

За наведеною формулою можливо розрахувати термін окупності капіталовкладень у створення фотоелектричної установки, відповідно

$$T_{ок} = \frac{141670 + 26500}{65328,8} = 2,57 \text{ року.}$$

Згідно з проведеними розрахунками, термін окупності сонячної електростанції становить майже два з половиною роки, що, враховуючи очікуваний термін її експлуатації понад 20 років, є дуже хорошим показником.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Об'єктом дослідження в даній кваліфікаційній роботі вибрано житловий будинок, який належить фермерському господарству "Золотий Смарагд", що знаходиться на околиці села Онок Виноградівської громади Берегівського району Закарпатської області. Для даного району розташування об'єкта дослідження проведено аналіз кліматичної ситуації, а також досліджено енергетичний потенціал сонячного випромінювання. Дане дослідження було виконано із використанням сайту NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources. На наш запит було згенеровано відомості про середньоденне сонячне випромінювання, яке потрапляє на сприймаючу поверхню з різними кутами встановлення до горизонту.

Для розробки системи сонячного електропостачання було проаналізовано поточний рівень споживання електроенергії досліджуваним об'єктом. Зокрема, аналіз було проведено за даними помісячних оплат за використану електроенергію.

Відповідно до мети роботи було розроблено структуру системи електрозабезпечення житлового будинку з використанням фотоелектричної установки. Зокрема, запропоновано застосувати гібридну фотоелектричну установку із системою накопичення електроенергії в акумулятора типу LiFePo4.

Для даної структурної схеми електрогенерувальної установки було визначено основні енергетичні параметри. Зокрема, визначено необхідну кількість вибраного типу панелей (TSM-435-NEG9RC.27 фірми Trina Solar), розраховано їх продуктивність, побудовано енергетичний баланс системи, підібрано гібридний інвертор (Must PV19-6048 EXP), обґрунтовано кількість акумуляторних блоків (Must LP16-48100), вибрано допоміжне комутувально-захисне обладнання. А також розроблено електричну схему фотоелектричної установки.

Відповідно до мети роботи було виконано аналіз засобів, які дозволяють збільшити продуктивність фотоелектричних панелей за рахунок стеження за

Сонцем, тобто установки, які називаються сонячними трекерами і обґрунтовано тип трекера, який буде взято за основу при розробці власної конструкції.

Зокрема, рекомендується застосувати вертикально поворотний одноосьовий сонячний трекер з приводом від поворотного гідродвигуна. Для запропонованих технічних засобів було визначено їх конструктивні та енергетичні параметри.

Виконано аналіз стану охорони праці при експлуатації електрогенерувального обладнання відновлюваної енергетики, розроблено заходи із їх безпечної експлуатації, а також розглянути питання охорони довкілля.

На основі порівняльної оцінки вартості фотоелектричних установок із стаціонарно розташованими фотоелектричними панелями та установкою, яка обладнана сонячним трекером розраховано термін окупності у застосування сонячного трекера, а також розраховано термін окупності всієї фотоелектричної установки. Отриманий результат засвідчив високу ефективність застосування фотоелектричної установки для досліджуваного об'єкта, що, в першу чергу, викликане високою вартістю електроенергії, яка надходить від зовнішньої електромережі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. GREEN PROTECT Компоненти для захисту фотоелектричних систем – <https://www.eti.ua/katalogy-ua/zahalnyy-katalog/green-protect-komponenty-dlya-zakhystu-fotoelektrychnykh-system>.
2. NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. (date of application 20.02.2023).
3. Szymanski B. Instalacje fotowoltaiczne. Wydanie III. Krakow : GEOSYSTEM, Redakcja GLOBEnergia, 2014. 249 p.
4. Tytko R. Fotowoltaika. Podręcznik dla studentów, uczniów, instalatorów, inwestorów. VI uzupełnione. Kraków: Wydawnictwo I Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, 2022. 520 s.
5. Tytko R. Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej. Wydanie V. Krakow: Wydawnictwo I Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, 2014. 671 p.
6. Tytko R., Goralczyk I. Urządzenia, instalacje fotowoltaiczne i elektryczne. Krakow: Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, 2013. 347 s.
7. Акумуляторна батарея Must LP16-48100. <https://solar-markets.com.ua/akumuliatorna-batareia-lp16-48100-must-lifepo4-512v-100ah-512kwh/>.
8. Гальчак В. П., Боярчук В. М. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця: Навчальний посібник. Львів, 2008. 135 с.
9. Гібридний інвертор Must PV19-6048 EXP. https://solar-markets.com.ua/avtonomnyi-soniachnyi-invertor-must-6000w-48v-120a-pv19-6048-exp/?gad_source=1&gad_campaignid=20798571340&gbraid=0AAAAAqhHZHI-cY8pl7UxB0yJDBNpwarfV&gclid=Cj0KCQjw097CBhDIARIsAJ3-nxeVZpoSwznhoTAWlX84hVIUWaZ5XUFPCzboHJMpzmmZntDEUcu1mkEaAorjEALw_wcB.
10. Злобін Ю. А. Основи екології. Київ : Лібра, 1998. 248 с.

11. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: підруч. Київ : НТУУ "КПІ", 2012. 492 с.
12. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. Київ : НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
13. Маліновський А. А., Хохулін Б. К. Основи електроенергетики та електропостачання: Підручник. Львів: В-во НУ "Львівська політехніка", 2007. 380 с.
14. Олійник М. Й., Лисяк В. Г. Основи екології виробництва, пересилання та використання електричної енергії. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2018. 192 с.
15. Сегеда М. С., Олійник М. Й., Дудурич О. Б. Нетрадиційні та відновлювані джерела електроенергії. Навч. посіб. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2019. 204 с.
16. Сиротюк С.В. Проектування та обслуговування сонячних систем електропостачання. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти з дисципліни "Проектування та обслуговування систем відновлюваної енергетики". Дубляни, 2021. 31 с.
17. Сонячна панель Trina Solar TSM-435-NEG9RC.27. <https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-panels/tsm-435neg9rc>.
18. Чумакевич В. О., Ципляр Я. С., Кудьменко Р. В. Автономні джерела живлення: Навчальний посібник. Львів: АСВ, 2012. 345 с.