

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИК ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Рівень вищої освіти – перший "бакалаврський" рівень

на тему: **„КОМБІНОВАНЕ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРИВАТНОГО
БУДИНКУ З РОЗРОБКОЮ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПОТОКАМИ”**

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело _____ Д. Р. Очеретнюк

Виконав: студент 4 курсу групи Ен-41
спеціальності 141 „Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка”
(шифр і назва)

Очеретнюк Дмитро Ростиславович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Сиротюк С. В.
(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: к.т.н., доцент Левонюк В.Р.
(Прізвище та ініціали)

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.

“ ____ ” _____ 2022 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту
Очеретнюку Дмитру Ростиславовичу

1. Тема роботи: „КОМБІНОВАНЕ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ З РОЗРОБКОЮ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПОТОКАМИ”

Керівник роботи: Сиротюк Сергій Валерійович, к.т.н., доцент
Затверджена наказом по університету від 30.12.2022 року № 453/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 23.06.2023 року.

3. Вихідні дані: Навчальна, наукова, методична та довідкова література. Матеріали мережі "Internet".

4. Перелік питань, які необхідно розробити

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

4.2. Технологічна частина.

4.3. Спеціальна частина.

4.4. Охорона праці та довкілля.

4.5. Економічна ефективність роботи.

Висновки і пропозиції.

Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Ілюстративний матеріал у формі презентації

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	Городецький І.М. к.т.н., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 30.12.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Характеристика досліджуваного об'єкту та регіону його розташування	10.01.2023 – 31.01.2023	
2	Технологічна частина	1.02.2023 – 20.03.2023	
3	Спеціальна частина	21.03.2023 – 30.04.2023	
4	Охорона праці та довкілля	01.05.2023 – 20.05.2023	
5	Економічна ефективність роботи	21.05.2023 – 31.05.2023	
6	Загальне оформлення роботи	1.06.2023 – 18.06.2023	
7	Підготовка до захисту кваліфікаційної роботи	20.06.2023 – 23.06.2023	

Студент _____ Очеретнюк Д. Р.
(підпис)

Керівник роботи _____ Сиротюк С. В.
(підпис)

УДК 697.2:697.7

Комбіноване електропостачання приватного будинку з розробкою системи керування енергетичними потоками. Очеретнюк Д. Р. Кваліфікаційна робота. Кафедра енергетики. Дубляни, Львівський національний університет природокористування, 2023.

49 сторінок текстової частини, 4 таблиці, 18 рисунків, 23 літературних джерел.

Подано загальну характеристику досліджуваного об'єкта, здійснено оцінку наявного енергетичного потенціалу сонячної радіації та обґрунтовано тему кваліфікаційної роботи.

Досліджено обсяги споживання електроенергії у приватному будинку, розроблено структуру системи комплексного електрозабезпечення з використанням сонячної фотоелектричної установки та визначено її габаритну потужність.

Обґрунтовано потребу у розробці та розроблено систему керування енергетичними потоками системи комплексного електропостачання досліджуваного об'єкта. Для реалізації даного завдання розроблено алгоритм її роботи, електричну схему системи та підібрано відповідне електротехнічне обладнання.

Розглянуто питання охорони праці та екологічної безпеки при експлуатації систем електропостачання, в тому числі й з використанням сонячних електростанцій.

Проведено розрахунок ефективності використання сонячної електростанції для електропостачання приватного об'єкта.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	7
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОГО ОБ'ЄКТУ ТА РЕГІОНУ ЙОГО РОЗТАШУВАННЯ	8
1.1 Загальна характеристика досліджуваного об'єкта	8
1.2 Оцінка енергетичного потенціалу енергії сонячної радіації	10
1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи	13
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	15
2.1 Розрахунок енергетичних потреб досліджуваного об'єкта	15
2.2 Розробка структури системи комплексного електрозабезпечення об'єкта	17
2.3 Розрахунок параметрів системи комплексного електрозабезпечення об'єкта	20
2.4 Вибір основних засобів для сонячної електростанції	24
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	28
3.1 Обґрунтування потреби в керуванні енергетичними потоками	28
3.2 Обґрунтування структури системи керування енергетичними потоками	30
3.3 Розробка алгоритму системи керування енергетичними потоками	35
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ	38
4.1 Структурно-функціональний аналіз технологічного процесу	38
4.2 Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій стосовно безпечного перебігу виробничого процесу	40

4.3 Охорона довкілля	41
5 ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ	43
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	45
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	47

ВСТУП

Забезпечення необхідного рівня комфорту у житлових об'єктах є доволі складною інженерною задачею, оскільки тут йдеться про вирішення низки технологічних задач, які стосуються різних галузей. Серед них є забезпечення теплового комфорту, забезпечення мешканців гарячою водою, забезпечення електроенергію тощо. Все це можливо реалізувати за рахунок застосування систем опалення, систем нагріву води, а також систем електропостачання.

Щодо електропостачання, то зазвичай воно реалізоване за рахунок організації та приєднання внутрішньої електромережі будинку до зовнішньої централізованої системи. Така система є доволі надійною, однак як показала практика не завжди захищеною та стабільною у випадку військового зовнішнього впливу. Для підвищення рівня надійності системи електропостачання, а також більш раціонального використання електроенергії, доцільним є застосування місцевих засобів електрогенерації, які можуть бути реалізовані на базі, наприклад, сонячних фотоелектричних установок. Крім звичайної електрогенерації такі установки, якщо вони обладнані засобами накопичення електроенергії, можуть виконувати функцію регулювання рівня споживання електроенергії із зовнішньої електромережі в піковий та півпіковий періоди, що загалом позитивно відображається на стійкості енергетичної системи.

В даній роботі запропоновано розглянути можливість практичної реалізації комплексної системи електропостачання житлового будинку за рахунок спільного використання зовнішньої електромережі та сонячної фотоелектричної станції з особливою структурою, в якій застосовано апаратно-програмну систему керування енергетичними потоками, яка дозволить підвищити ефективність експлуатації енергетичної установки.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОГО ОБ'ЄКТУ ТА РЕГІОНУ ЙОГО РОЗТАШУВАННЯ

1.1 Загальна характеристика досліджуваного об'єкта

Об'єктом дослідження вибрано приватний будинок, який знаходиться у с.м.т. Вишнівець, Кременецького району Тернопільської області.

Будинок збудований за типовою технологією з рядової випаленої цегли марки 300 з товщиною стін 350 мм. При будівництві стін було використано цементно-вапняний розчин. Для зменшення теплових втрат через стінові конструкції будинок утеплений пінопластом товщиною 100 мм, поверх якого нанесено захисний клейовий шар.

Основна вісь будинку зорієнтована у напрямку північ-південь, тобто, основні скоси даху зорієнтовані на схід та на захід. Кут нахилу даху будинку 40°. На прибудинковій території також розміщено додаткові господарські будівлі та окремо стоячий одноповерховий гараж розміром 6×4 м. Гараж розміщений з південної сторони будинку, і зорієнтований довгою стороною на схід-захід. Дах гаражу односкатний з ухилом у південному напрямку 30°. Щоправда дах гаражу виконаний з хвилястого шиферу. За умови використання гаражу для встановлення сонячної станції необхідно буде виконати заміну даху на сучасний та довговічний матеріал, наприклад профнастил, або металочерепиця, як це є на даху будинку.

До будинку підведено однофазну електромережу з ввідною потужністю 5 кВт, що може бути важливо при обґрунтуванні параметрів сонячної станції.

Електроенергія використовується для електроосвітлення та живлення побутового електрообладнання, а також для електроживлення обладнання в

господарських будівлях та гаражі. Сумарна споживана потужність не перевищує 4 кВт.

Динаміка споживання електроенергії досліджуваного об'єкта за місяцями показана на рис. 1.1.

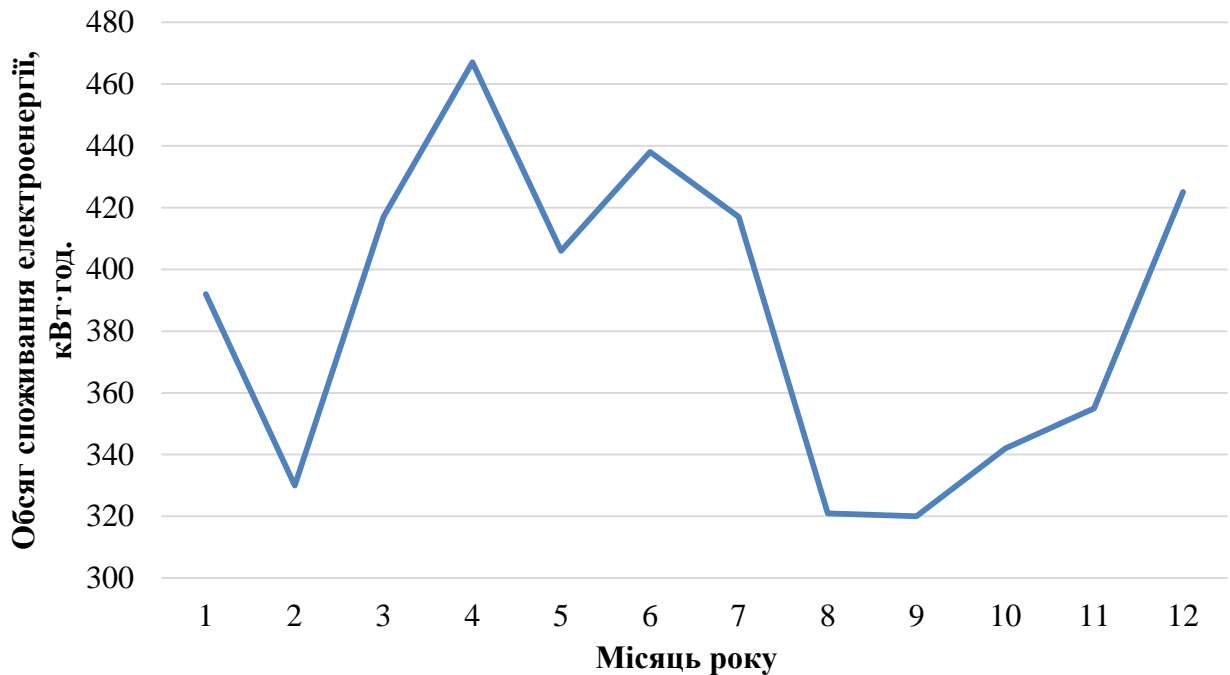


Рисунок 1.1 – Динаміка споживання електроенергії досліджуваного об'єкта за місяцями

Найбільша потужність споживання припадає на вечірній період. Загалом, згідно аналізу добового споживання електроенергії, то на період ранку (від 6.00 до 9.00 год.) припадає 25% всього добового обсягу, на день (від 9.00 до 14.00 год.) – 15%, на день (від 14.00 до 19.00 год.) – 20%, а на вечір (від 19.00 до 24.00 год.) – 40% електроенергії. Ця пропорція відповідає періоду весна-літо.

В зимовий період пропорції споживання електроенергії змінюються таким чином, що на ранок і вечір припадає до 70% всього обсягу електроенергії. Тобто, в денний період використовується лише не повна третя частина всього добового обсягу електроенергії.

Система опалення реалізована на базі традиційного газового котла з розподілом тепла стальними радіаторами.

1.2 Оцінка енергетичного потенціалу сонячної радіації

Відповідно до ідеології побудови системи комбінованого електропостачання приватного будинку, яка базуватиметься на роботі сонячних фотоелектричних панелей, є необхідність оцінити умови їх роботи. Зокрема, необхідно здійснити оцінку рівня сонячної радіації в фізичному населеному пункті розташування досліджуваного об'єкта. Це можна здійснити декількома способами: виконати розрахунки за даними таблиць метеорологічних довідників [15]; отримати дані з безкоштовних інтернет-сервісів, які пропонують модельовані або виміряні параметри метеорологічних показників; виконати річне дослідження реального енергетичного потенціалу з використанням піранометра та узгодити отримані дані з багаторічними експериментальними дослідженнями. Відповідно до задач та термінів виконання кваліфікаційної роботи найкращим методом є другий. Зокрема, доцільно скористатись сервісом NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources [4], згідно з методикою, поданою у [22]. На рис. 1.2, подано фрагмент робочого вікна вибору пункту формування даних про параметри сонячної радіації в регіоні дослідження. Зокрема, в нашому випадку це с.м.т. Вишнівець, Кременецького району Тернопільської області.

Відповідно до поданого запиту, було згенеровано файл у форматі ".csv", який можна відкрити у програмному середовищі Microsoft Excel. Це зручно, оскільки подальші розрахунки можуть також бути виконані в цьому програмному середовищі. Результати згенерованих даних середньомісячного надходження сонячної радіації подано в табл. 1.1.

Як видно з табл. 1.1., найменше енергетичним потенціалом можна скористатись, якщо розмістити сприймаючу поверхню вертикально ($2,49 \text{ кВт}\cdot\text{год./м}^2/\text{день}$). При розташуванні горизонтально та під кутом 65° , отримуються значення сонячного енергетичного потенціалу у розмірі $3,24$ і $3,25 \text{ кВт}\cdot\text{год./м}^2/\text{день}$, відповідно.

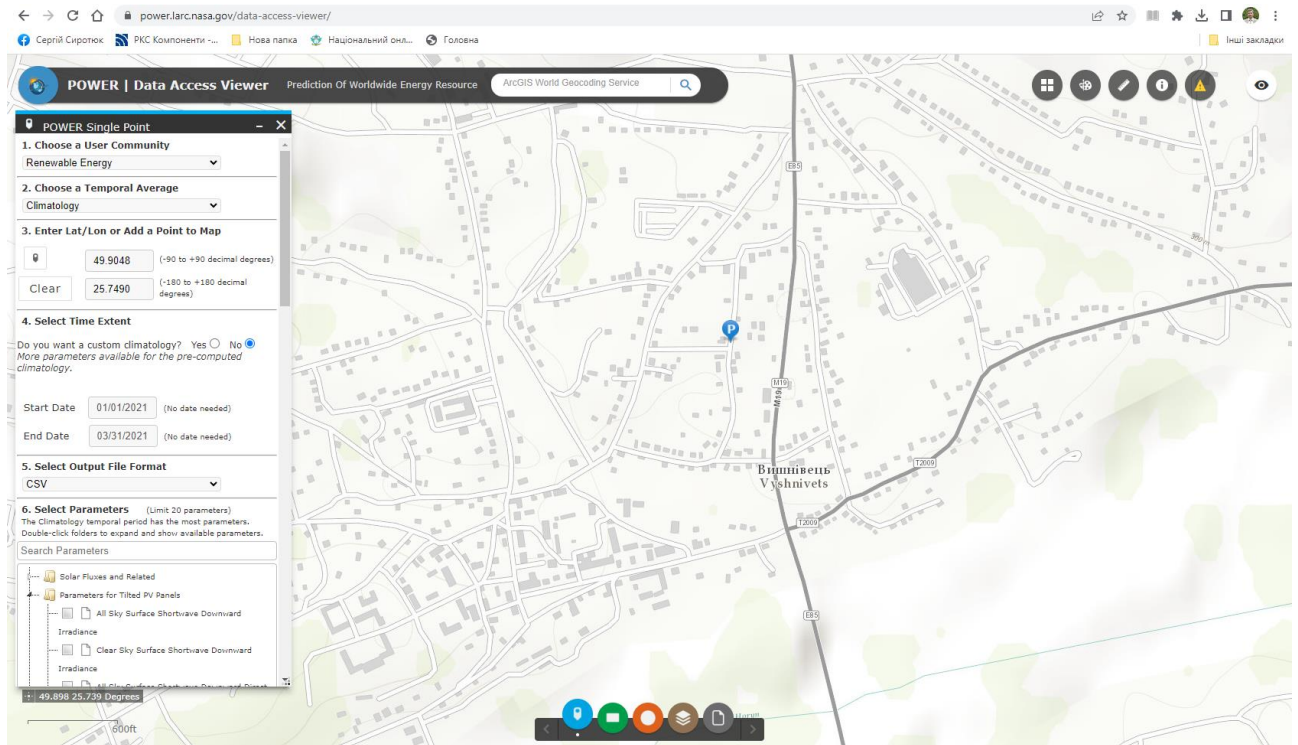


Рисунок 1.2 – Фрагмент робочого вікна вибору пункту формування даних про параметри сонячної радіації в регіоні дослідження

Таблиця 1.1 – Середньомісячне надходження сонячної радіації на поверхню з певним кутом нахилу, і яка зорієнтована на південь, кВт·год./м²/день [1]

	Місяць												Середнє значення
	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	
Кут 0°	0,95	1,76	2,92	4,31	5,3	5,76	5,63	4,98	3,47	2,08	0,97	0,7	3,24
Кут 35°	1,55	2,45	3,65	4,71	5,26	5,5	5,46	5,25	4,13	2,87	1,48	1,2	3,63
Кут 50°	1,69	2,58	3,69	4,5	4,85	4,99	4,98	4,93	4,07	2,97	1,58	1,32	3,51
Кут 65°	1,74	2,59	3,55	4,08	4,26	4,31	4,33	4,41	3,81	2,91	1,6	1,37	3,25
Кут 90°	1,64	2,34	2,96	2,99	2,91	2,88	2,91	3,11	2,97	2,48	1,44	1,29	2,49

Найвищий рівень потенціалу (3,63 кВт·год./м²/день) відповідає куту розташування сприймаючої поверхні на рівні 30°. Дещо нижчий потенціал сонячної радіації (3,51 кВт·год./м²/день) спостерігається при розташуванні

сприймаючої поверхні під кутом 50° , що відповідає географічній широті. З врахуванням того, що між ними є різниця, яка не перевищує 3%, то вибір кута буде в основному залежати від реальних кутових параметрів даху досліджуваного будинку.

З іншого боку, можна вибір робити за аналізом помісячного енергетичного потенціалу, який може бути співставлений із реальним рівнем помісячного споживання. Для цього слід побудувати динамічну характеристику сонячного енергетичного потенціалу для всіх варіантів нахилу сприймаючої поверхні (рис.1.3).

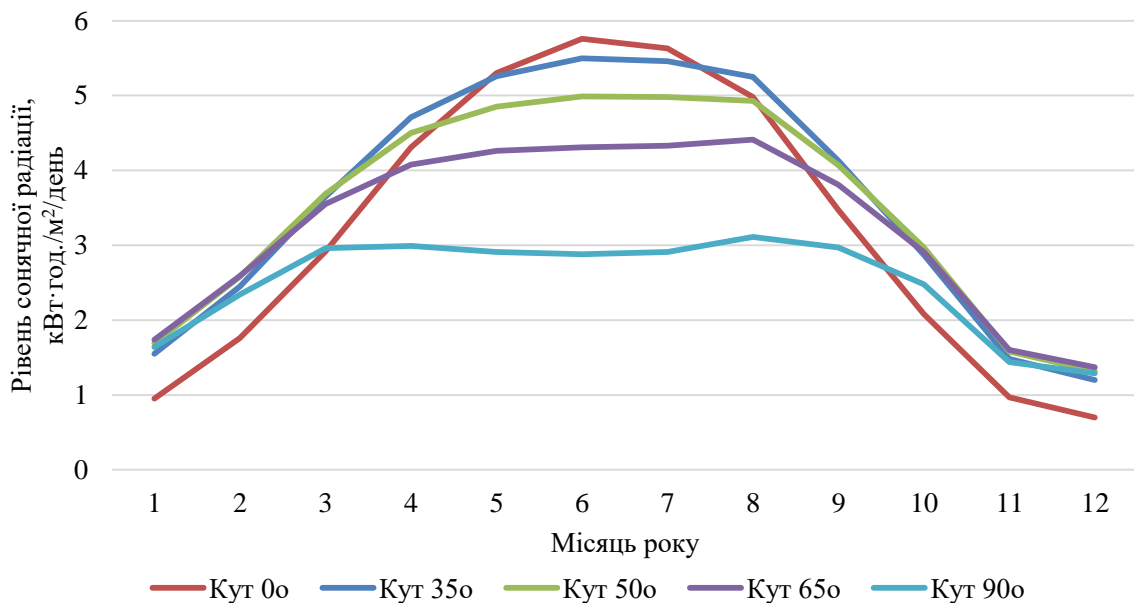


Рисунок 1.3 – Динаміка зміни сонячного енергетичного потенціалу сонячного випромінювання

Отже, є достатньо інформації про величину рівня сонячної радіації, що дозволить на етапі первинних розрахунків вибрати необхідний нахил та здійснити всі подальші розрахунки з врахуванням реального енергетичного потенціалу.

З врахуванням того, що найбільша імовірність встановлення сонячної станції є на даху гаражу, який має ухил даху на рівні 30° , то очевидно, що нам необхідно користуватись даними для кута 35° .

1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи

Руйнування енергетичної інфраструктури, які відбулись внаслідок військової агресії росії спричинили низку негативних явищ, серед яких є нестабільність електропостачання, низька якість електроенергії, перебої з електропостачанням тощо. Оперативне усунення всіх перелічених недоліків є неможливе з огляду на масштаби руйнування та високу вартість як обладнання, так і робіт з реконструкції. За оцінками експертів, на відбудову енергетичної інфраструктури може бути потрібно до 5 років, за умови значної допомоги країн-партнерів.

Вказана ситуація зумовлює пошук альтернативних варіантів електропостачання приватних будинків. Таким варіантом може бути застосування засобів перетворення відновлюваних джерел енергії, серед яких найбільш поширеним є ресурс сонячної радіації. Зокрема, для систем електропостачання найбільшою мірою відповідають сонячні електричні установки різної структури, що базуються на використанні фотоелектричних панелей.

Широке застосування сонячних фотоелектричних установок у приватному секторі дозволить вирішити низку завдань, серед яких є: підвищення рівня надійності електропостачання; забезпечення певного рівня автономності у разі виникнення перебоїв з централізованим електропостачанням; зниження рівня навантаження на традиційні електростанції за рахунок відсутності потреби транспортувати значні обсяги електроенергії на значні відстані; можливість участі у регулюванні потужності споживання у пікові та півпікові періоди, за рахунок застосування систем акумулювання електроенергії; банальна економія коштів за рахунок власного вироблення електроенергії тощо.

Зважаючи на низку переваг у використанні сонячних електростанцій, а також маючи розуміння, що десятки та сотні малих сонячних станцій в

сукупності можуть дати відчутний енергетичний ефект, а також враховуючи те, що об'єктом вибрано власне помешкання, тема кваліфікаційної роботи є актуальною та цікавою.

Однією із особливостей роботи, яка впливає з теми є те, що тут необхідно здійснити розробку простої та доступної системи керування енергетичними потоками, яка дозволить відповідно до поточної необхідності, здійснити таку комутацію силових кіл сонячної електростанції, яка дозволить максимально використати сонячний енергетичний потенціал.

Для даної роботи важливим є вирішення декількох задач, серед яких є: оцінка поточного рівня споживання електроенергії досліджуваним об'єктом; оцінка природного енергетичного потенціалу сонячної радіації; розрахунок раціональних параметрів сонячної електростанції; розробка електричної схеми приєднання складових елементів сонячної електростанції; розробка системи керування енергетичними потоками за рахунок комутації силових кіл; аналіз та розробка заходів щодо безпечної експлуатації сонячної електростанції; економічна оцінка запропонованих технічних рішень; формування висновків про виконану роботу.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок енергетичних потреб досліджуваного об'єкта

Розрахунок параметрів сонячної електростанції для потреб об'єктів будь-якого призначення є неможливим без оцінки власного споживання електроенергії. Це необхідно для вибору раціонального розміру сонячної установки, а точніше для вибору її потужності, яка забезпечить певну продуктивність, відповідно до кліматичних умов в регіоні дослідження.

Зазвичай такі дослідження базуються на принаймні річних вимірюваннях поточної витрати електроенергії, за даними яких формуються середньоденні, середньомісячні та середньорічне значення. Для цього, необхідно встановити вимірювальну систему, яка б дозволила в режимі on-line зчитувати дані про обсяг споживання електроенергії. Такими засобами є розумні лічильники, або є власноруч виготовлена вимірювальна система на базі давачів струму та вимірювачів напруги. Хоча вимірювати напругу не завжди є доцільно. Цей параметр можна прийняти відносно стабільним.

З врахуванням обмеженості часу, оцінку обсягів споживання здійснимо за середньомісячними показами лічильника, яким здійснюється облік електроенергії (табл. 2.1). Таким чином, можна буде отримати середньоденне споживання електроенергії у поточному місяці, а також середньорічне та річне споживання, яке визначиться сумою місячних показів.

Таким чином, можна визначити середньодобовий обсяг споживання за формулою

$$E_{сд} = \frac{E_{см}}{n_m}, \quad (2.1)$$

де $E_{см}$ – середньомісячне споживання електроенергії, кВт·год.;

n_m – кількість днів у поточному місяці, днів.

Таблиця 2.1 – Результати оцінки потреби в електроенергії для досліджуваного об'єкта

	Місяць												Середнє значення
	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	
Місячне споживання електроенергії, кВт·год.	392	330	417	467	406	438	417	321	320	342	355	425	386
Добове споживання електроенергії, кВт·год.	13	11	13	16	13	15	13	10	11	11	12	14	13
Кількість днів у місяці	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	30	

Отже, для січня місяця отримаємо

$$E_{cd} = \frac{392}{31} = 12,64 \text{ кВт·год.}$$

Отримане значення заокруглюємо, і отримуємо середньодобову витрату електроенергії у січні місяці 13 кВт·год. Аналогічно проводиться розрахунок для всіх інших місяців. Насамкінець визначаємо середньодобову річну витрату електроенергії, яка становитиме 13 кВт·год.

Як видно з табл. 2.1, найменше середньодобове споживання електроенергії спостерігається у серпні (10 кВт·год.), а найбільше – у квітні (16 кВт·год.). При цьому очевидно, що найбільший енергетичний ресурс сонячної радіації припадає на липень-серпень. Тобто, в період максимального рівня сонячної радіації спостерігатиметься і максимальне і мінімальне споживання, що може внести свій внесок у точність вибору оптимальної потужності сонячної електростанції.

Цей розрахунок можна було б провести відповідно до стандартної методики визначення потреб в електроенергії для різних технологічних цілей. Однак, в житловому будинку не можна забезпечити чітке ритмічне споживання електроенергії, оскільки воно є випадковим, стохастичним. Це накладає особливі вимоги до системи генерування електроенергії за рахунок сонячних фотоелектричних панелей.

2.2 Розробка структури системи комплексного електрозабезпечення об'єкта

Відповідно до ідеї побудови системи комбінованого електропостачання приватного будинку, заплановано використання двох енергетичних джерел: зовнішньої електромережі, яка виступає як гарантований та надійний постачальник енергії, а також сонячна фотоелектрична установка, яка виконує функцію зниження рівня споживання електроенергії від зовнішньої електромережі. Для такої структурної схеми необхідно до традиційної системи електроживлення додати систему електропостачання від сонячних фотоелектричних панелей, кількість яких визначається добовим обсягом споживання електроенергії.

Також можна ставити за мету змінити часовий розподіл використання електроенергії з електромережі у півпікові та пікові періоди доби. В такому випадку до системи необхідно додати систему акумулювання відповідної ємності, яка повинна бути розрахована таким чином, щоб мати змогу закумуляувати задану кількість електроенергії для проходження пікових та півпікових періодів із живленням від акумуляторів.

Отже, відповідно до запропонованої стратегії побудови системи електропостачання досліджуваного об'єкта можна сформулювати наступну послідовність ланок структурних елементів:

- живлення від зовнішньої електромережі: зовнішня електромережа – ввідний автомат – електричний лічильник – внутрішній розподільчий щит – внутрішня електромережа будинку;
- живлення від мережевої сонячної фотоелектричної установки: фотоелектричні панелі – щит захисту постійного струму – інвертор – щит захисту змінного струму – лічильник обліку виробленої електроенергії фотоелектричною установкою – пристрій обмеження витоку електроенергії у зовнішню електромережу (Watt Router) – внутрішній розподільчий щит – внутрішня електромережа будинку;
- живлення від системи акумуляування електроенергії автономної фотоелектричної установки: фотоелектричні панелі – щит захисту постійного струму – контролер – щит захисту акумуляторів – акумуляторна батарея – інвертор – щит захисту змінного струму – лічильник обліку виробленої електроенергії фотоелектричною установкою – пристрій обмеження витоку електроенергії у зовнішню електромережу – внутрішній розподільчий щит – внутрішня електромережа будинку.

Окремо слід відмітити, що застосування пристрою обмеження витоку електроенергії у зовнішню електромережу потребує наявності у будинку стороннього споживача електроенергії, який зможе прийняти надлишкову потужність. Таким споживачем може бути бак-акумулятор системи гарячого водопостачання. Таким чином, надлишково вироблена електроенергія не просто блокується до передачі в зовнішню електромережу, а залишається в будинку, виконуючи іншу роботу.

Для більшого розуміння алгоритму роботи такої системи електропостачання необхідно побудувати принципову схему, на якій будуть відображені основні структурні елементи з їх функціональними зв'язками. На рис. 2.1, подано принципову схему комплексного електропостачання житлового будинку з використанням фотоелектричних панелей.

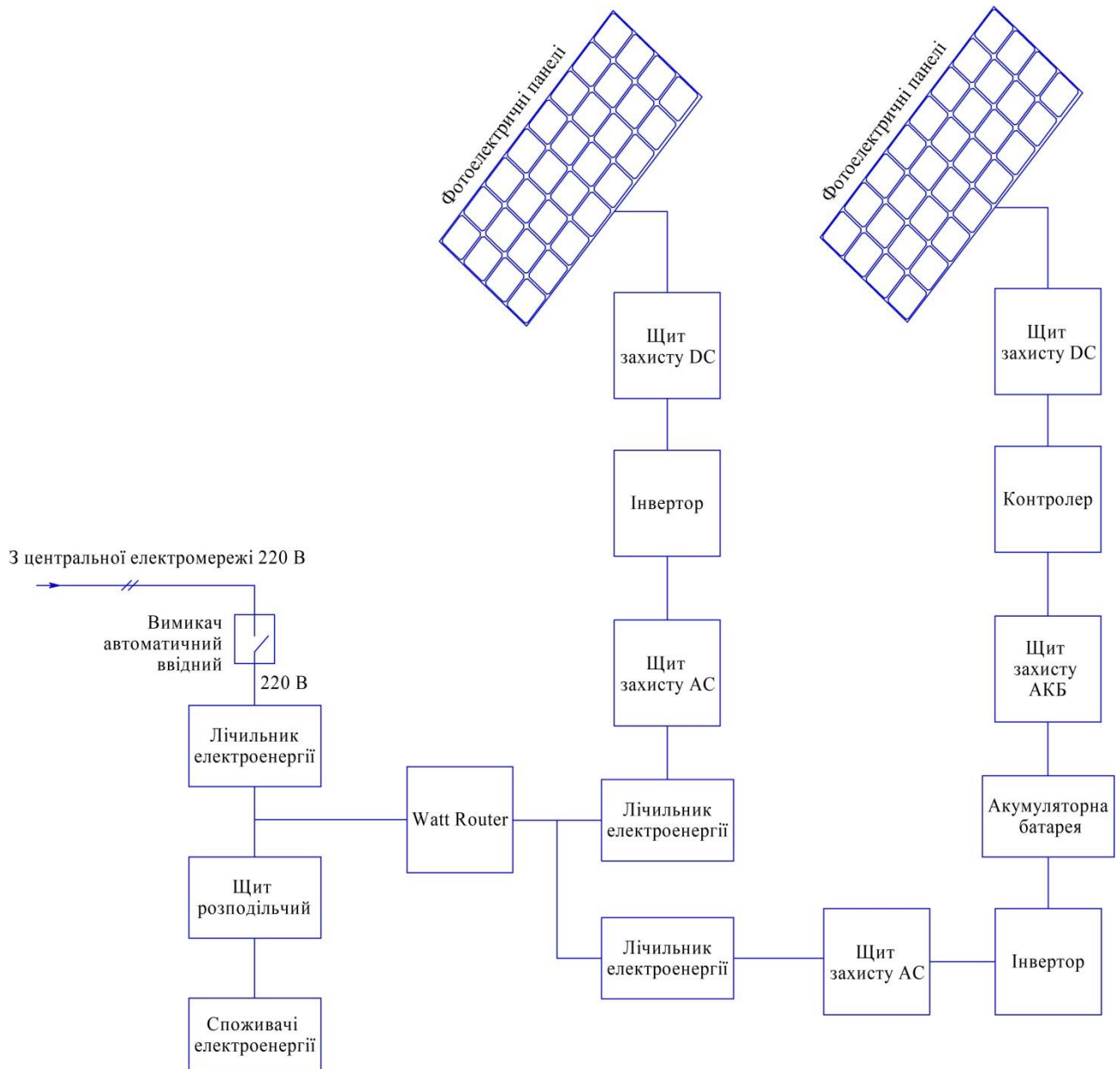


Рисунок 2.1 – Принципова схема комплексного електропостачання житлового будинку з використанням фотоелектричних панелей

Подальше опрацювання розробленої принципової схеми дозволить здійснити її оптимізацію, з точки зору мінімізації структурних компонентів, ступеня складності керування нею тощо. В будь-якому випадку, така розгалужена схема потребуватиме окремого питання розробки системи керування енергетичними потоками, яка забезпечить правильне формування режиму багато потоковості та універсалізації роботи.

2.3 Розрахунок параметрів системи комплексного електрозабезпечення об'єкта

Традиційно при встановленні сонячної електростанції очікується, що основне живлення буде забезпечуватися від зовнішньої електромережі, а певний обсяг електроенергії, який буде вироблено сонячною установкою буде знижувати рівень споживання електроенергії. В такому випадку, потужність фотоелектричної установки може бути певною мірою вибраної таким чином, щоб забезпечувати мінімальні вимоги електропостачання. Тобто, потужність сонячної електростанції буде оптимізованою за розміром. В будь-якому випадку необхідно оцінити як наявний енергетичний потенціал, так і продуктивність вибраного типу фотоелектричної панелі в реальних умовах використання. На основі цього може бути визначений загальний габаритний розмір сонячної електростанції.

Для нашого проекту виберемо сонячні фотоелектричні модулі типу LR5-72PH-550M виробництва фірми "Longi Solar Inc" (Китай) [23]. Номінальна потужність вибраної фотоелектричної панелі становить 550 Вт за нормативного рівня освітленості $E=1000 \text{ Вт/м}^2$.

Розрахунок продуктивності вибраної фотоелектричної панелі, а пізніше і всієї сонячної станції здійснимо для кута розташування панелей на рівні 35° , що відповідає куту нахилу даху гаражу, де вони плануються встановлювати.

Розрахунок середньоденного виробництва електроенергії сонячної фотоелектричної панелі виконується за формулою

$$W_{сд} = \eta \cdot H_{\beta} \cdot S \cdot \eta_{инв} \cdot \eta_{каб}, \quad (2.8)$$

де η - коефіцієнт корисної дії вибраного типу фотоелектричної панелі, % (вибирається з паспорта);

H_{β} - середньодобове надходження сонячної радіації на сприймаючу поверхню, $\text{кВт}\cdot\text{год.}/\text{м}^2/\text{день}$;

S – площа сприймаючої поверхні вибраної фотоелектричної панелі (вибирається з паспорта), м²;

$\eta_{инв}$ - коефіцієнт корисної дії інвертора, %;

$\eta_{каб}$ - коефіцієнт корисної дії передачі електроенергії кабелями постійного струму, %.

Отже, середньоденна продуктивність фотоелектричної панелі за середньорічними даними буде становити

$$W_{cd} = 0,215 \cdot 3,63 \cdot 2,621 \cdot 0,94 \cdot 0,99 = 1,9 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Середньомісячне виробництво електроенергії вибраною фотоелектричною панеллю визначається за формулою

$$W_{mic} = W_{cd} \cdot n_{md}, \quad (2.9)$$

де n_{md} – кількість днів у поточному місяці, днів.

Тобто, середньомісячна продуктивність фотоелектричної панелі буде становити

$$W_{mic} = 1,9 \cdot 30,42 = 57,98 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Річне виробництво електроенергії сонячною фотоелектричною панеллю визначиться як

$$W_{pч} = W_{mic} \cdot n_p. \quad (2.10)$$

де n_p – кількість днів у році, днів.

$$W_{pч} = 57,98 \cdot 365 = 695,8 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Виконаємо ці розрахунки для кожного із місяців року, оскільки це може допомогти у визначенні оптимального розміру сонячної станції на етапі обґрунтування окремих структурних елементів.

Результати розрахунку за поданими формулами (2.8)-(2.10) розміщено в табл. 2.1.

На основі цієї інформації можна приступити до визначення, так званої, габаритної потужності сонячної електростанції, яка повинна забезпечити виробництво необхідного обсягу електроенергії на потреби житлового будинку.

Розрахунок продуктивності сонячної фотоелектричної панелі типу
LR5-72HPH-550M

Параметр	Місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
H_{β} , кВт·год	1,55	2,45	3,65	4,71	5,26	5,5	5,46	5,25	4,13	2,87	1,48	1,2
$W_{сд}$, кВт·год	0,813	1,285	1,914	2,47	2,758	2,884	2,863	2,753	2,166	1,505	0,776	0,629
$W_{міс}$, кВт·год	25,2	37,27	59,33	74,1	85,5	86,52	88,75	85,34	64,98	46,66	23,28	18,87

Для визначення кількості сонячних фотоелектричних панелей, які забезпечать електроенергією систему освітлення досліджуваного об'єкта скористаємось формулою

$$N_{сfn} = \frac{E_{op}}{W_{річ}}. \quad (2.11)$$

Отже,

$$N_{сfn} = \frac{4630}{696} = 6,65 \text{ шт.}$$

Тобто, для задоволення загальних річних потреб в електроенергії для житлового будинку буде достатньо застосувати 7 фотоелектричних панелей. Зважаючи на площу однієї фотопанелі, яка рівня 2,621 м², нам буде необхідно виділити площу даху під їх монтаж у розмірі 18 м². Оскільки, нами заплановано встановлення сонячної електростанції на даху гаражу, який знаходиться за 3 м від будинку, і його площа становить 24 м², то задана кількість фотопанелей цілком добре може бути там розміщена, з врахуванням необхідних монтажних відступів та зазорів. В такому випадку, сумарна потужність сонячної електростанції для системи комплексного електропостачання житлового будинку становитиме 3850 Вт, що насправді є не великою величиною.

Для оцінки загального рівня відповідності розроблюваної сонячної електростанції потребам приватного будинку доцільно графічно відобразити

енергетичний баланс (рис. 2.2), який дозволить виявити слабкі місця у такій системі електропостачання.

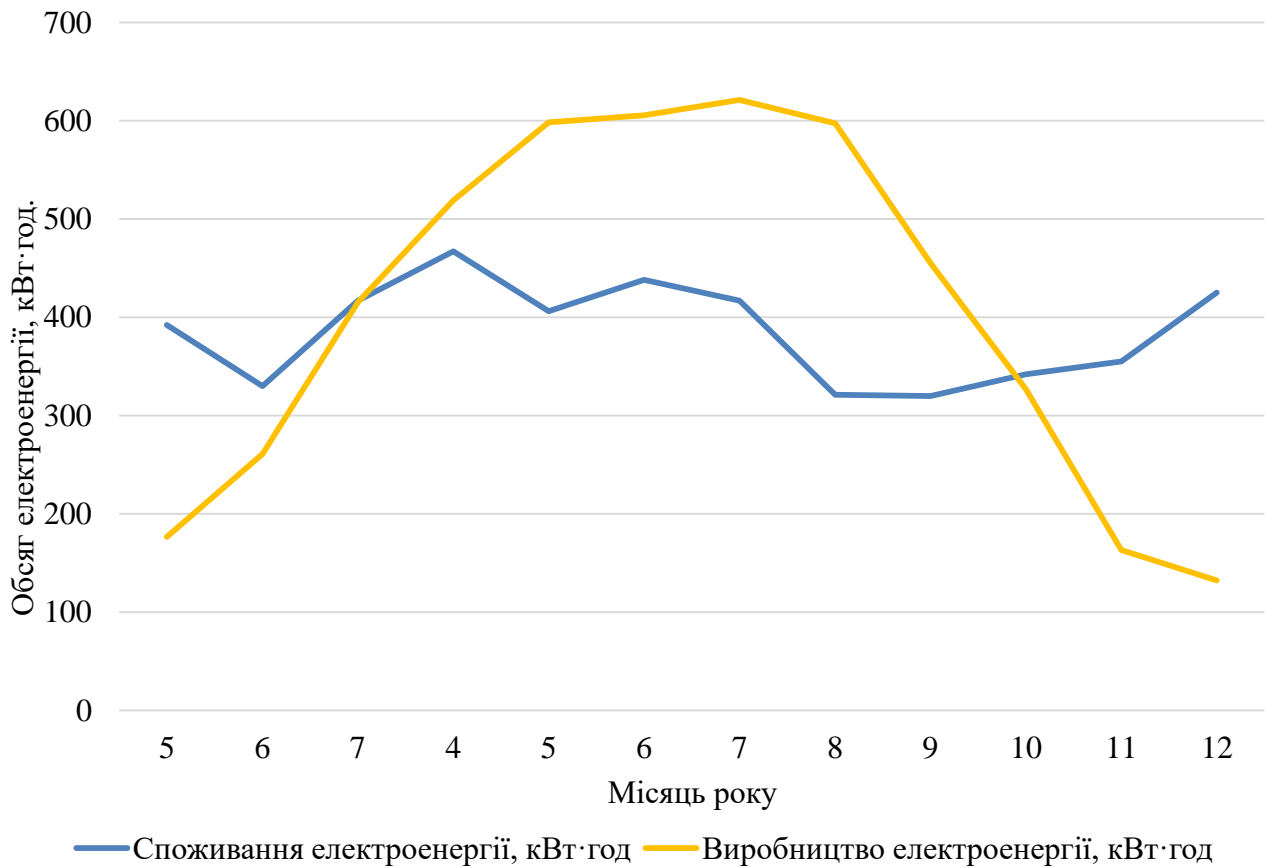


Рисунок 2.2 – Енергетичний баланс системи електропостачання житлового будинку за рахунок сонячної електростанції

Навіть з врахуванням того, що загальна потужність сонячної станції зросла за рахунок заокруглення кількості фотопанелей до більшого, що забезпечило загальний обсяг потенційного генерування електроенергії в обсязі 4871 кВт·год, що на 240 кВт·год. більше від необхідного обсягу, бачимо, що є певні місяці в році, коли відбуватиметься недовиробництво електроенергії в обсязі 787 кВт·год. Тобто, в зимовий період відбуватиметься нестача виробництва електроенергії. В той же час, в літні місяці відбуватиметься перевиробництво електроенергії в обсязі 1027 кВт·год., які загалом можуть бути використані для інших потреб, якщо буде організоване таке скерування

енергетичного потоку. Тобто, тут доцільно було б застосувати систему керування енергетичними потоками, яка б дозволила не обмежити генерацію в літні місяці року. А використати всю вироблену енергії для потреб досліджуваного об'єкта.

2.4 Вибір основних засобів для сонячної електростанції

Як було зазначено у пункті 2.3, для нашого проекту вибрано сонячні фотоелектричні модулі типу LR5-72HPH-550M виробництва фірми "Longi Solar Inc" (Китай), загальний вигляд якої подано на рис. 2.3.

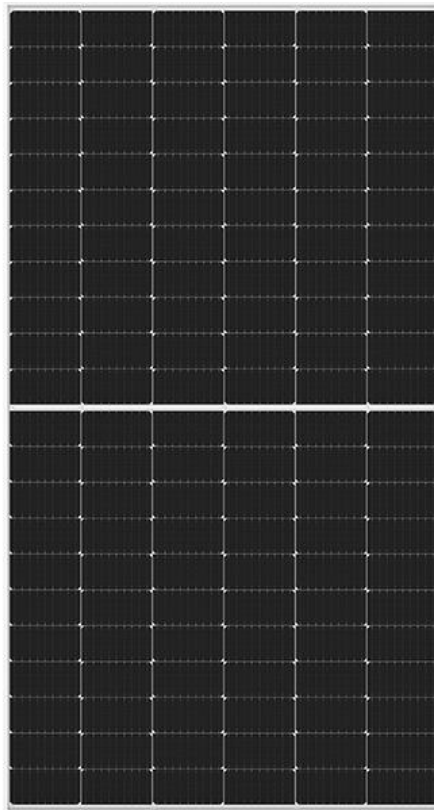


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд фотоелектричної панелі LR5-72HPH-550M

Це сучасний тип фотоелектричної панелі, і який характеризується низкою параметрів ефективності, серед яких найважливіший – коефіцієнт корисної дії, який перевищує відмітку у 21%.

Зважаючи на потребу у розробці мережевої установки вибираємо мережевий інвертор. Для цієї цілі може бути застосовано три типи інверторів: мікроінвертори; стрінгові інвертори та центральні інвертори. Зважаючи на потужність нашої сонячної станції центральний інвертор не підійде в принципі, оскільки його потужність стартує від 100 кВт. Отже, може бути застосований або стрінговий інвертор, або мікроінвертори. З врахуванням того, що ми будемо розробляти систему керування енергетичними потоками, доцільно застосувати мікроінвертори, які крім того, ще й можуть підвищити надійність електропостачання. Загалом також можна було б розглянути варіант застосування гібридного інвертора відповідної потужності. Однак, аналіз таких інверторів показав, що вони або не відповідають параметрам потужності, або є занадто дорогими.

Таким чином, вважаємо за доцільне застосувати мікроінвертори серії GM з потужністю, яка відповідає потужності застосованої фотопанелі. Тобто, вибираємо мікроінвертори типу GM600 (рис. 2.4) [2].



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд мікроінвертора GM серії

Відповідно до наших розрахунків, нам потрібно застосувати сім таких інверторів.

Для системи з накопиченням електроенергії доцільно використати сучасний універсальний контролер заряду, який відповідає як за параметрами вхідної напруги, так і струму. Таким може бути контролер KDY серії (рис. 2.5)

[5]. Він може працювати з усіма типами акумуляторних батарей, що є зручно, з умови можливого перспективного апгрейду сонячної станції та переходу на сучасні типи акумуляторів.



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд контролера заряду акумуляторних батарей KDY серії

З метою зниження рівня стартових капіталовкладень, а також можливої зміни структури системи, яка може бути зумовлена дослідною експлуатацією розробленою сонячною станцією застосуємо селевий тип акумуляторних батарей, наприклад батареї типу LogicPower LPM — GL (рис.2.6) [13].

Зараз потрібно тільки визначити необхідну кількість акумуляторів, що може бути визначено за наступною формулою

$$N_{AK}^{nap} = \frac{T_{\partial} \cdot I_{max} \cdot T_z}{E_{AK} \cdot \eta_{AK} \cdot k_p \cdot k_x \cdot k_c \cdot \eta_{in}}, \quad (2.12)$$

де T_{∂} – необхідний період резервування електроенергії для споживачів, год.;

I_p - допустимий струм розрядки вибраного типу акумулятора, який повинен відповідати значенню I_{max} , А;

T_z – період резервування житлового будинку від системи резервування електроенергії, днів;

E_{AK} – паспортна ємність акумулятора, А·год.;



Рисунок 2.6 – Загальний вигляд акумуляторної батареї LogicPower LPM - GL

η_{AK} – коефіцієнт корисної дії акумулятора;

k_p – коефіцієнт допустимої глибини розряду вибраного типу акумулятора;

k_x – коефіцієнт зниження ефективності акумулятора викликаний зниженням температури в приміщенні, де він встановлений;

k_c – коефіцієнт зниження ємності акумулятора впродовж періоду експлуатації;

η_{in} – коефіцієнт корисної дії інвертора.

Отже, отримаємо

$$N_{AK}^{nap} = \frac{4 \cdot 25 \cdot 1}{250 \cdot 0,85 \cdot 0,6 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,94} = 1,03 \text{ шт.}$$

З врахуванням того, що робочою напругою акумуляторної систем накопичення електроенергії буде 24 В, то в нашому випадку слід застосувати два акумулятори, які будуть приєднані послідовно.

РОЗДІЛ 3

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Обґрунтування потреби в керуванні енергетичними потоками

Побудова системи електропостачання приватного будинку з використанням сонячних фотоелектричних панелей вимагає не тільки вибору раціональних параметрів структурних складових, а й ефективної взаємодії між ними в процесі експлуатації. Це позитивно буде впливати на обсяги генерованої електроенергії, мінімізацію непродуктивних втрат електроенергії за рахунок невідповідності поточного стану генерування та споживання електроенергії тощо. Тому, необхідно передбачити засоби, які б дозволили з найбільшою користю використати енергетичне обладнання.

Особливістю вибраного енергетичного обладнання є те, що воно експлуатується без застосування особливих алгоритмів роботи. Наприклад, мережевий інвертор не потребує системи керування, оскільки він самостійно виходить на певний режим роботи і підтримує його на рівні, який відповідає рівню сонячної радіації. При зниженні рівня сонячної радіації цілком природно, що буде знижено генерування електричної енергії. З настанням сутінків інвертор самостійно вимкнеться, оскільки рівень сонячної радіації буде настільки малим, що генерування електроенергії вже є неможливим.

Аналогічна ситуація з системою накопичення електроенергії в акумуляторі. Сонячний контролер не потребує зовнішнього впливу, оскільки також повністю керується рівнем сонячної радіації. За достатнього рівня сонячної радіації відбувається заряд акумуляторних батарей. У випадку їх повного заряду, незалежно від рівня сонячної радіації, контролер обмежить зарядний струм, аж до повного вимкнення.

Інша ситуація стосується того, яким чином дві системи будуть взаємодіяти між собою, яким чином буде відбуватись обмеження перетоків електроенергії в електромережу, яким чином буде організовано утилізацію надлишкової електроенергії, яка виникає у періоди яскравого сонячного випромінювання та відносно малого рівня споживання електроенергії у будинку.

Одним із питань, яке повинне бути вирішене зовнішніми технічними засобами – це виявлення та перенаправлення надлишку електроенергії на технологічний процес, який потребує електричну енергію незалежно від періоду доби, терміновості використання. Йдеться, наприклад, про бак-акумулятор системи гарячого водопостачання, який зазвичай живиться від зовнішньої електромережі. Якщо виникатиме ситуація із утворенням надлишку, то спеціальні засоби повинні його скерувати до цього бака-акумулятора. Таким чином, нагрів води системи гарячого водопостачання буде здійснюватися тільки цим видом електроенергії. Тобто буде відбуватись процес утилізації надлишково виробленої електроенергії.

Такий алгоритм роботи системи керування потоками є надзвичайно корисним, оскільки уникається пересилання електроенергії до зовнішньої електромережі. Це важливо, тому, що сучасні електронні лічильники здійснюють облік електроенергії, яка пройшла через вимірювальний елемент незалежно від напрямку її протікання. Тобто, коли буде відбуватися перетік електроенергії до зовнішньої електромережі, то лічильник донарахує цю електроенергію до спожитої. Тобто, виробник цієї електроенергії, ще повинен буде заплатити за це.

З іншого боку, наявність системи акумуляування дозволяє реалізувати режим роботи сонячної станції, коли впродовж дня відбуватиметься зарядка акумуляторів, а в періоди півпіку та піку споживання акумуляована електроенергія буде подаватися до внутрішньої електромережі. Тим самим буде

відбуватись зниження рівня споживання електроенергії із зовнішньої електромережі.

Тобто, ми фактично матимемо дві енергетичні системи, кожна з яких має свій автономний режим роботи, який визначається внутрішнім блоком керування, і які повинні працювати спільно в певний визначений споживачем період, а також система нагріву води гарячого водопостачання, як об'єкта, який повинен прийняти надлишок електроенергії.

За таких обставин необхідно щоб існувала система керування енергетичними потоками, яка забезпечить повне використання можливостей кожної із структурних одиниць системи електропостачання з використанням сонячних фотоелектричних панелей.

3.2 Обґрунтування структури системи керування енергетичними потоками

Як було відмічено раніше, система керування енергетичними потоками повинна реалізувати наступні функції: обмеження перетоків надлишково виробленої електроенергії до зовнішньої електромережі; часове або іншого характеру ввімкнення та вимкнення сонячного інвертора системи накопичення електроенергії в акумуляторі; комутацію джерела живлення нагріву води для системи гарячого водопостачання (від електромережі, або від сонячної фотоелектричної установки). Таким чином, в структурі системи керування енергетичними потоками необхідно передбачити відповідні пристрої, які забезпечать реалізацію заданих функцій.

Функцію відслідковування надлишку виробництва електроенергії та скеровування його до вторинного споживача може забезпечити спеціальний пристрій WATTrouter ECO, який має в своєму складі два блоки – блок вимірювачів струму та мікропроцесорний блок з силовими ключами.

Загальний вигляд обмежувача перетоку електроенергії в зовнішню електромережу WATTrouter ECO [12], подано на рис. 3.1.



а)

б)

Рисунок 3.1 – Загальний вигляд обмежувача перетоку електроенергії в зовнішню електромережу WATTrouter ECO: а – мікропроцесорний блок з силовими ключами; б – блок вимірювачів струму

Принципова електрична схема WATTrouter ECO подана на рис. 3.2 [11].

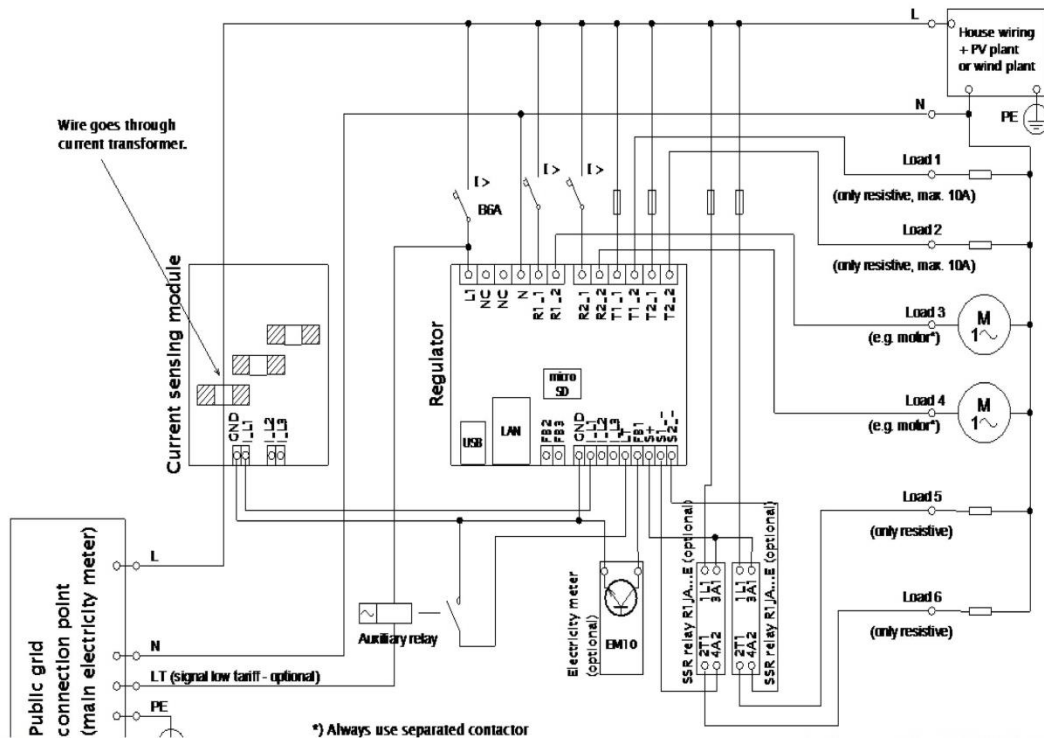


Рисунок 3.2 - Принципова електрична схема WATTrouter ECO

Для ефективної роботи пристрою його необхідно налаштувати відповідно до вимог користувача. Це можна здійснити із застосуванням спеціального програмного забезпечення "WATTconfig ECO control software", обмежена версія якого постачається з приладом (рис. 3.3).

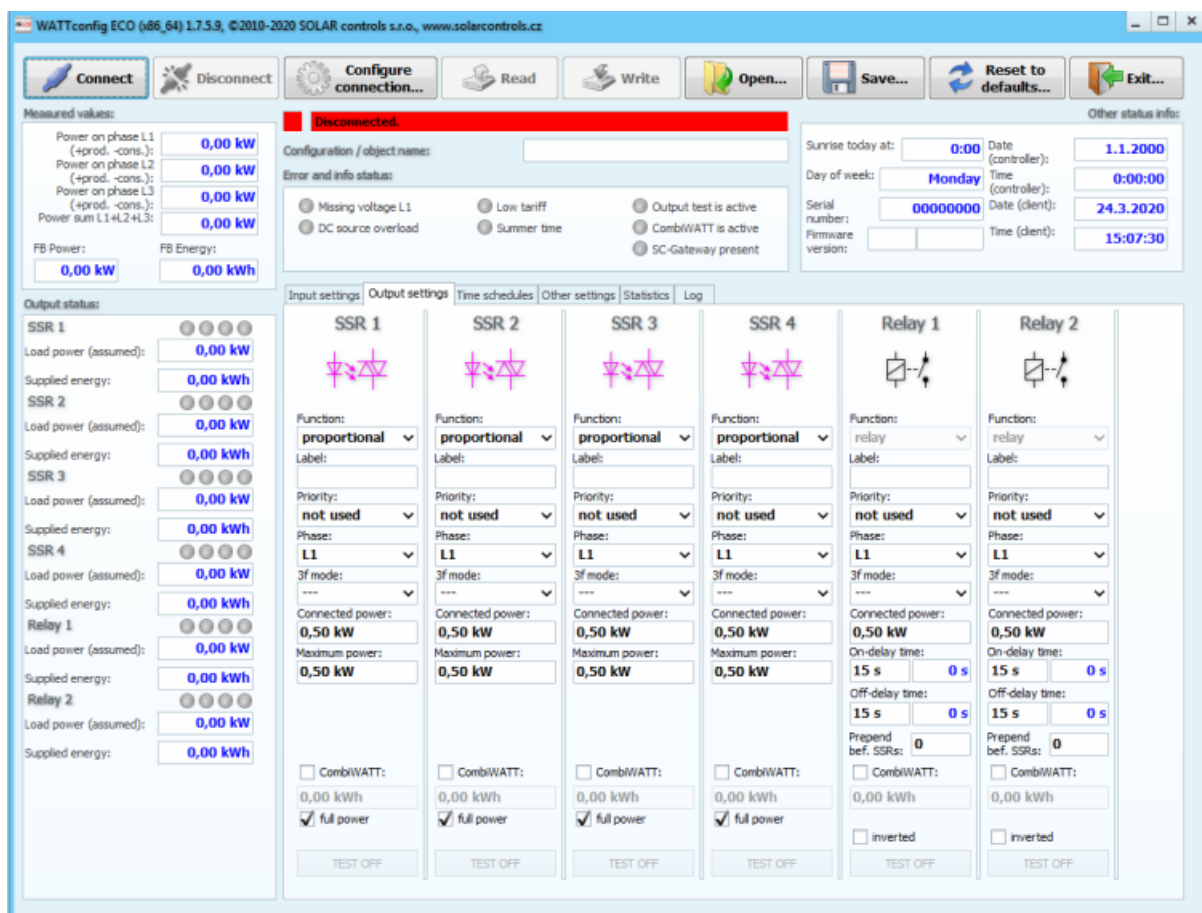


Рисунок 3.3 – Робоче вікно програмного забезпечення WATTconfig ECO control software

Комутація вмикання інвертора системи накопичення електроенергії може бути реалізована на базі засобів інтернету речей, зокрема з використанням wifi-модулів з контакторами типу TO-Q-SY1-WT (без вимірювання потужності та енергії) (рис. 3.4, а) або TO-Q-SY1-JWT (з вимірювачем потужності та енергії) (рис. 4.3, б) [7], які монтуються на DIN-рейку. Для комутації простих каналів достатньо застосувати модуль типу TO-Q-SY1-WT. В нашому випадку для контролю обсягів енергетичних потоків правильніше буде застосовувати

модулі типу TO-Q-SY1-JWT. І хоча ці модулі забезпечують контроль витрати електроенергії в годинному циклі, вони також дають розуміння, чи заживлений канал дійсно працює.



а)

б)

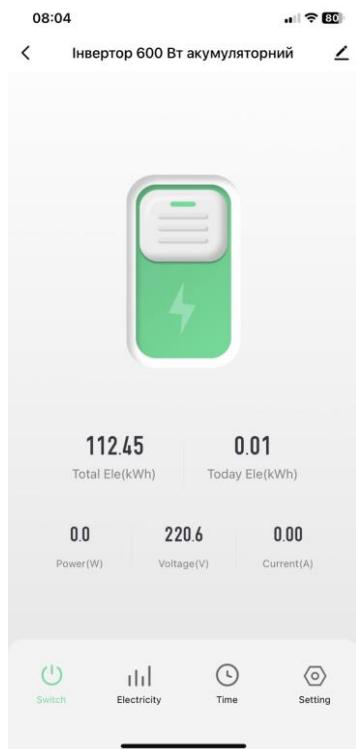
Рисунок 3.4 - Wifi-контактори типу TO-Q-SY1-WT (а) без вимірювального модуля або TO-Q-SY1-JWT (б) з вимірювальним модулем потужності та енергії

Керування силовими колами здійснюється з мобільного телефону за рахунок використання додатку TuYa Smart. Програмне забезпечення має декілька робочих сторінок, перша з яких дає можливість ввімкнення та вимкнення контактора (рис. 3.5, а), а на інших організовано відображення обліку електроенергії (рис. 3.5, б), налаштування таймера тощо.

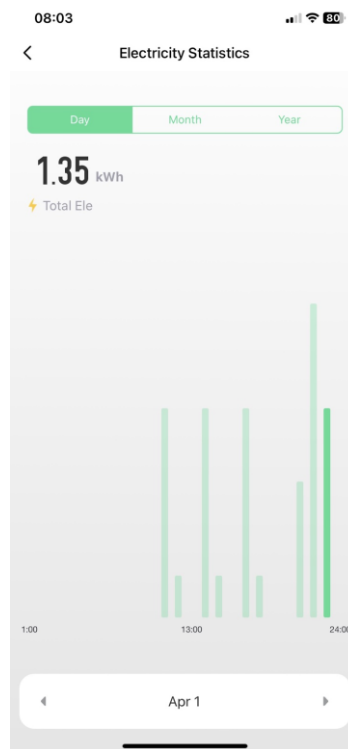
Для організації перекидного вимикача застосуємо модульні контактори типу RA 20-11 фірми ETI (Словенія) з двома контактами один з яких нормально відкритий, а другий нормально закритий (рис. 3.6, а) [18]. Для наших потреб слід застосувати два таких двополюсних контактори, які будуть ввімкнені зустрічно.

Як з'ясувалось в результаті експериментів, заявлений період розмикання контактів 15-45 мс, і період замикання контактів 20-50 мс, є занадто малий для того, щоб було гарантовано розімкнене коло перед його наступним замиканням. Таким чином, внаслідок близькості часового відрізка замикання-розмикання

відбувається коротке замикання в силовому колі, що виводить систему в аварійний режим.



а)



б)

Рисунок 3.5 – Скрін-шоти екрану мобільного додатку TuYa Smart для керування режимами роботи Wifi-контакторами TO-Q-SY1-JWT



а)



б)

Рисунок 3.6 – Модульний контактор типу RA 20-11 (а), реле часу ETR-82TO (б)

Для уникнення цього слід у колі замикання встановити апаратну затримку на вмикання. Таким елементом може бути реле часу ETR-82TO фірми ETI (рис. 3.6, б) [20].

Таким чином, в структурі системи керування повинні бути зазначені засоби, які забезпечать необхідну комутацію силових кіл як в автоматичному, так і в ручному режимі.

Загальна електрична схема системи керування енергетичними потоками зображена на рис. 3.7.

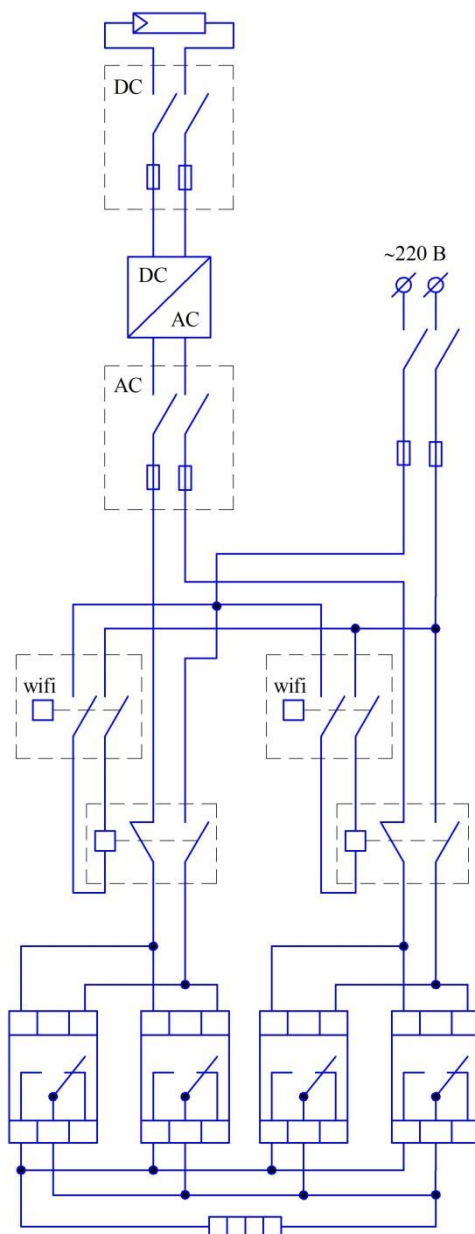


Рисунок 3.7 – Електрична схема системи керування енергетичними потоками

3.3 Розробка алгоритму системи керування енергетичними потоками

Відповідно до розробленої структурної та електричної схеми системи керування енергетичними потоками, необхідно розробити алгоритм її роботи, який буде в основі програмного забезпечення мікроконтролера.

Алгоритм роботи системи керування енергетичними потоками полягає у наступному. За нормальних умов рівня сонячної радіації мережеві інвертори сонячної фотоелектричної установки ввімкнені у внутрішню електромережу. Сонячна фотоелектрична установка з системою накопичення електроенергії працює в режимі роботи зарядки акумуляторів. В цьому випадку контактор TO-Q-SY1-JWT є вимкнений. Причому, він може бути вимкнений як програмно із застосуванням внутрішнього таймера, так і апаратно дистанційно користувачем. У випадку повного заряду акумуляторних батарей в денний період часу за таймером контактор TO-Q-SY1-JWT вмикає мережевий інвертор на роботу у внутрішню електромережу. Період моменту денного вимкнення та вмикання інвертора системи накопичення електроенергії підбирається експериментально і програмується таймер на періодичне ввімкнення-вимкнення. У вечірній період, після заходу, коли сонячні фотопанелі вже не працюють, запрограмований на цей період таймер контактора TO-Q-SY1-JWT вмикає інвертор, і тоді користувач гарантовано використовує електроенергію від акумуляторних батарей. При глибокій розрядці акумуляторів вимикання споживача здійснюється інвертором через власну систему захисту, незважаючи на можливий дозвіл на роботу системи з боку контактора.

В світлий період дня, коли є достатня сонячна радіація, контактор TO-Q-SY1-JWT вимкнений. Тоді обидва двополюсні контактори RA 20-11 будуть проводити електроенергію через нормально замкнуті контакти, що забезпечує живлення споживачів електроенергією, яка вироблена сонячною електростанцією за замовчуванням. Перехід на живлення системи нагріву гарячої води від зовнішньої електромережі здійснюється керування від додатка

з телефону, або за таймером, який запрограмований на певний часовий відрізок. В цьому випадку живлення ТЕНа через два здвоєні контактори RA 20-11 буде забезпечуватись нормально відкритими контактами, які після активування котушки перейдуть у стан замикання.

В умовах яскравого сонячного дня, коли рівень сонячної радіації є достатній для генерування необхідного обсягу електроенергії, і навіть з надлишком, і за умови поточного низького рівня споживання електроенергії виникатиме надлишок електроенергії. За допомогою WATTrouter здійснюється скеровування цього надлишку на живлення ТЕНа бака-акумулятора системи гарячого водопостачання. При цьому, автоматичний двонаправлений перекидний вимикач, який сформований із двох здвоєних контакторів RA 20-11 знаходиться в положенні живлення від фотоелектричної системи. У випадку відсутності достатнього рівня сонячної радіації, коли надлишку немає, а вода в баку-акумуляторі має низьку температуру, автоматичний двонаправлений перекидний вимикач повинен бути перемкнутий на режим живлення ТЕНа бака-акумулятора системи гарячого водопостачання від зовнішньої електромережі.

Як видно з опису алгоритму, незважаючи на значну кількість електронних компонентів система керування енергетичними потоками має насправді просту структуру та схему роботи.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

4.1 Структурно-функціональний аналіз технологічного процесу

4.1.1 Аналіз технологічного процесу енергопостачання приватного будинку

Побутовий комфорт у приватному будинку забезпечується за рахунок систем тепло- та електропостачання. Зазвичай електропостачання забезпечується за рахунок зовнішньої електромережу. Для підвищення рівня надійності електропостачання доцільно застосовувати альтернативні засоби, до яких можуть бути віднесені установки використання відновлюваних джерел енергії, зокрема, сонячної фотоелектричної установки, яка може працювати як автономно, так і у комбінації з зовнішньою електромережею.

Однак, застосуванню відновлюваних джерел енергії повинні передувати заходи зі зниження рівня споживання електроенергії у приватному будинку. Це досягається за рахунок переходу на використання енергоощадного електрообладнання.

Процеси експлуатації сонячної фотоелектричної установки можуть містити свої небезпечні чинники, які можуть негативно вплинути на життя та здоров'я мешканців будинку при недотриманні правил техніки безпеки.

Зокрема, можуть виникнути такі небезпечні чинники як механічний, тепловий, враження електричним струмом. До перших належать технічні засоби, які закріплені на даху (фотоелектричні панелі) тощо. Небезпечні зони повинні бути огорожені спеціальними пристроями. До других належать теплові опіки, наприклад, при обслуговуванні фотоелектричної установки в сонячний день. Це викликано тим, що під впливом сонячної радіації відбувається нагрівання рамної конструкції фотопанелі. Третій небезпечний

чинник виникає в результаті неполадок в електричній системі або при неправильній експлуатації електричних пристроїв (інвертора) фотоелектричної установки. Для запобігання цьому необхідно вчасно проводити перевірки стану електрообладнання, якості систем захисту та заземлення.

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

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

Операція: виконання монтажу сонячної фотоелектричної установки.

Небезпечна умова:

- виконання робіт виконується у вітряну погоду, опорна конструкція сонячного трекера недостатньо надійно закріплена на даху (НУ₁);
- в робочій зоні опорної конструкції працює працівник (НУ₂).

Небезпечна дія:

- працівник виконує монтажні роботи не перевіривши надійності кріплення опорної конструкції до даху (НД₁);
- опорна конструкція перекидається під дією пориву вітру (НД₂).

Небезпечна ситуація:

- оператор знаходиться в зоні руху опорної конструкції (НС).

Можливі наслідки:

- травма (Т_{1,2}).

Заходи запобігання:

- перед виконанням монтажних робіт обов'язковим є надійне закріплення елементів конструкції;
- роботи з монтажу сонячної фотоелектричної установки слід проводити у безвітряну погоду.

На рис. 4.1, подано модель виникнення травми при виконанні монтажу сонячної фотоелектричної установки.

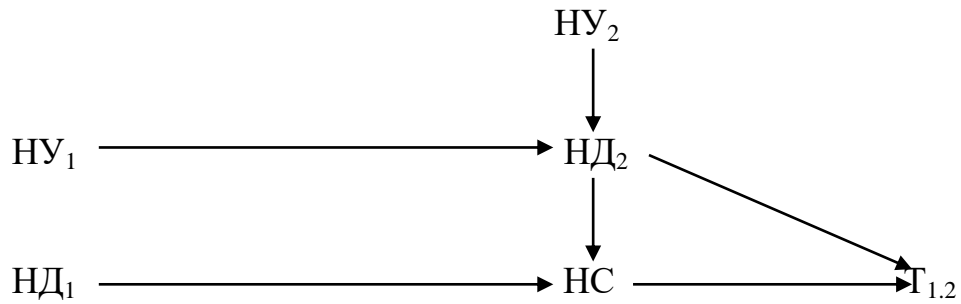


Рисунок 4.1 – Модель виникнення травми при виконанні монтажу сонячної фотоелектричної установки

4.2 Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій стосовно безпечного перебігу виробничого процесу

Для запобігання нещасних випадків при експлуатації електрообладнання кожен мешканець будинку повинен знати і виконувати вимоги техніки безпеки, а також протипожежні заходи.

Для обслуговування фотоелектричних станцій допускаються особи не молодші 18 років не залежно від статі, що мають середню освіту або середньотехнічну, пройшли ввідний інструктаж, первинний на робочому місці, а також склали іспит на перевірку знань з охорони праці. Перед монтажем та пуском в експлуатацію сонячної фотоелектричної станції необхідно впевнитись в тому, що це не призведе до небезпечної ситуації. До усунення неполадок не можна приступати до ввімкнення в роботу установку. Необхідно перевірити наявність та справність: струмоведучих частин електрообладнання, заземлюючих пристроїв, кнопок аварійної зупинки, попереджувального звукового сигналу.

Роботи, пов'язані з оглядом, чисткою і ремонтом елементів сонячної фотоелектричної станції виконуються зі зняттям напруги з групової мережі. При виконанні робіт зі зняттям напруги з групової мережі необхідно: здійснити

відключення і вжити заходи, що запобігають подачі напруги до місця роботи внаслідок помилкового або мимовільного включення комутаційної апаратури; перевірити відсутність напруги на струмоведучих частинах, на які має бути накладене заземлення для захисту тих, що працюють від ураження електричним струмом; здійснити заземлення.

Обслуговування сонячної фотоелектричної станції повинно здійснюватися не менше ніж двома працівниками, причому один з них повинен мати групу з електробезпеки не нижче III. Один робітник повинен обслуговувати світильник, а інший - стежити за дотриманням першим правил безпеки. На виконання цих робіт ремонтним персоналом йому видається наряд-допуск.

4.3 Охорона довкілля

В умовах науково-технічного прогресу значно ускладнилися взаємовідносини суспільства з природою. Людина отримала можливість впливати на хід природних процесів, підкорила сили природи, почала опановувати майже всі доступні відповідні і невідповідні природні ресурси, але разом з тим забруднювати і руйнувати довкілля. Значна частина невідновних ресурсів уже використана.

Втручання людини у природні процеси різко зростає і може спричинити зміну режиму ґрунтових і підземних вод у цілих регіонах, поверхневого стану, структури ґрунтів, інтенсифікацію ерозійних процесів, активізацію гідрохімічних та хімічних процесів у атмосфері, зміни мікроклімату тощо.

Недосконалість сучасної технології не дозволяє повністю переробляти мінеральну сировину. Більша частину її повертається у довкілля у вигляді відходів. За деякими даними сучасна продукція становить 1–2 % від використаної сировини, а решта потрапляє у відходи, що свідчить про

нерациональні підходи до природних ресурсів. Тому щорічно у біосферу надходить більше 30 млрд. т. побутових та промислових газоподібних рідких та твердих відходів, які забруднюють атмосферу.

Для екологічного стимулювання раціонального використання природних ресурсів, охорони навколишнього середовища використовуються такі методи: отримання на пільгових умовах короткострокових позик для реалізації заходів щодо забезпечення раціонального використання природних ресурсів та охорону навколишнього середовища; встановлення основних підвищених норм амортизації виробничих природоохоронних фондів тощо.

За даними проведених досліджень можна робити висновки, що екологічна ситуація в регіоні дослідження перебуває не в найкращому стані і для її покращення необхідно вжити низку заходів, крім основних природоохоронних ще й заходи зі зниження викидів вуглекислого газу в атмосферу встановленням сонячної станції.

Виконання вищенаведених екологічних заходів дасть можливість зберегти природу в стані природному для життя та діяльності всіх живих організмів в тому числі і людини, зберегти природні ресурси та забезпечити нормальні санітарно-побутові умови життя населення.

РОЗДІЛ 5

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

Тут ми зробимо спробу оцінити економічну складову застосування системи керування енергетичними потоками. Економічним ефектом можемо прийняти співставлення вартості системи керування енергетичними потоками до вартості електроенергії, яку було скеровано на вторинне коло використання (без врахування вартості нагріву води за рахунок сонячних панелей) уникаючи перетоків у зовнішню електромережу, а також вартість електроенергії, яка була утилізована впродовж дня поза основним режимом роботи – зарядкою акумуляторних батарей.

В табл. 3.1, подано загальний перелік електронних компонентів системи керування енергетичними потоками сонячної фотоелектричної установки та їх вартість, на основі чого можна розрахувати затрати на їх придбання.

Таблиця 3.1 – Перелік електронних компонентів для реалізації системи керування енергетичними потоками сонячної фотоелектричної установки

Назва та марка виробу	Кількість	Ціна, грн.	Вартість, грн.
Фотоелектрична панель LR5-72HPH-550M	7	8200	57400
Мікроінвертор GM600	5	2460	12300
Контролер заряду акумуляторних батарей KDY30	1	1890	1890
Акумуляторна батарея LPM - GL250	2	12600	25200
WATTrouter ECO	1	12300	12300
Wifi-контактор TO-Q-SY1-JWT	2	830	1660
Модульний контактор RA 20-11	2	550	1100
Реле часу ETR-82TO	2	830	1660
Засоби кріплення фотопанелей (комплект)	7	340	2380
Кабелі, м.п.	60	24,5	1470
Щит захисту DC	2	3600	7200
Щит захисту AC	2	2840	5680
ВСЬОГО			130240

Як видно з табл. 3.1, загальна вартість системи сонячного електропостачання житлового будинку становить 130240 грн. З них, 16720 грн. припадає на систему керування енергетичними потоками, що становить майже 13%. Зважаючи на таку пропорцію можна вважати, що дана система є окупною. Спробуємо оцінити це також економічним розрахунком.

За рахунок додаткової утилізації електроенергії вмиканням інвертора системи зарядки акумуляторних батарей можна на 15% збільшити продуктивність системи. Тобто, при використанні в цій системі 2-х фотопанелей, і при річному рівні їх продуктивності у 1392 кВт·год., отримуємо обсяг електричної енергії 209 кВт·год., які за ціни 1,68 грн/кВт·год. будуть вартувати 351 грн.

За рахунок уникнення перетоків електроенергії при роботі сонячної електростанції забезпечується корисне використання електроенергії у обсязі не менше як 40%. Тобто, при річній продуктивності п'яти фотопанелей на рівні 3480 кВт·год., отримуємо раціональне використання електроенергії у обсязі 1392 кВт·год., які будуть вартувати 2339 грн.

Загальна вартість ефективно використаної електроенергії становитиме 2548 кВт·год, що може бути оцінене у 2690 грн.

Якщо визначити термін окупності такої системи керування, то він буде становити 6,2 роки, що є цілком задовільно для таких вартісних систем, які працюватимуть понад 20 років. Тобто, можна зробити висновок про доцільність вкладення додаткових коштів у розробку системи керування енергетичними потоками сонячної фотоелектричної станції.

Щодо доцільності застосування самої сонячної електростанції, то її річний ефект становить 8183 грн., що при вартості системи 130240 грн. дасть термін окупності капіталовкладень на рівні 16 років, що для систем з використанням накопичувачів електроенергії вважається цілком прийнятним.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Якісне електропостачання житлових об'єктів можливе не лише за рахунок традиційної електромережі, а й за рахунок комплексного використання різних видів енергетичних ресурсів, серед яких є й відновлювані джерела енергії. В роботі розглянуто питання можливості реалізації комплексного електропостачання житлового об'єкта за рахунок використання сонячних фотоелектричних панелей та зовнішньої електромережі. Для реалізації цього завдання було виконано обстеження рівня споживання електроенергії в будинку, оцінено наявний енергетичний потенціал сонячного випромінювання, а також обґрунтовано тему кваліфікаційної роботи.

За даними середньомісячного споживання електроенергії, згідно платіжних відомостей, оцінено середньоденне та загальне споживання. Це дозволило здійснити раціональну побудову структури системи комплексного електрозабезпечення об'єкта за рахунок об'єднання традиційної системи електропостачання та альтернативної, за рахунок сонячної фотоелектричної станції. На основі розробленої структурної схеми системи електропостачання визначено параметри та підібрано структурні елементи сонячної фотоелектричної установки.

Відповідно до розробленої структури системи комплексного енергозабезпечення житлового об'єкта виконано аналіз та обґрунтовано потребу у розробці системи керування енергетичними потоками, які зводяться до того, щоб у відповідний період роботи системи здійснювати комутацію силових кіл інверторів, які здійснюють перетворення електроенергії постійного струму у змінний промислової напруги і частоти, а також забезпечувати необхідну комутацію приєднання бака-акумулятора системи гарячого водопостачання для живлення його ТЕНа від електромережі, або від сонячної фотоелектричної установки. Для цього розроблено структуру системи

керування, вибрано відповідну електротехнічну апаратуру та розроблено алгоритм її роботи.

Проаналізовано умови та розроблено заходи щодо забезпечення безпеки праці при експлуатації та монтажу систем електропостачання об'єктів.

Здійснено економічну оцінку доцільності запровадження апаратно-програмних засобів системи керування енергетичними потоками фотоелектричної установки, яка виявила добрі показники, зокрема низьку частку вартості системи керування відносно вартості основного обладнання, що не перевищує 13%, а також відносно короткий термін окупності додаткових затрат у систему керування на рівні шести років. При терміні експлуатації сонячної електростанції від 20 до 25 років, цей термін окупності є більш як задовільний. Також виконана оцінка загальної ефективності застосування сонячної електростанції для живлення приватного будинку, яка засвідчила відносно довгий, але цілком прийнятний термін окупності, який складе майже 16 років.

Отже можна зробити висновок, що застосування комплексної системи енергозабезпечення житлового будинку з використанням сонячної фотоелектричної станції з системою керування енергетичними потоками є доцільним та економічно виправданим.

PERELIK DJEREL POSILANЬ

1. Gronowicz J. Niekonwencjonalne źródła energii. Radom-Poznań: Wydawnictwo ITE-PIB, 2008. 254 p.
2. High-Efficiency Micro Inverter for Solar PV Grid Tie System MPPT 300W 350W 600W 700W DC26V-46V Solar Input AC110V-240V Output. <https://www.aliexpress.com/item/1005001947974383.html>. (date of application 20.03.2023).
3. Luque A., Hegedus S. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. San Francisco: John Wiley & Sons Ltd, 2003. 1115 p.
4. NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. (date of application 20.02.2023).
5. Smart Solar Charge Controller with WiFi App Control for 12V/24V/48V 10A 20A 30A 40A 50A 60A Lithium and Lead-Acid Batteries. <https://www.aliexpress.com/item/1005005285796543.html>. (date of application 20.03.2023).
6. Szymanski B. Instalacje fotowoltaiczne. Wydanie III. Krakow : GEOSYSTEM, Redakcja GLOBEnergia, 2014. 249 p.
7. TUYA WIFI Smart Circuit Breaker With Metering 1P 63A DIN Rail for Smart Home wireless Remote Control Switch by APP TONGOU. <https://www.aliexpress.com/item/1005004153509348.html>. (date of application 20.03.2023).
8. Tytko R. Fotowoltaika. Podręcznik dla studentów, uczniów, instalatorów, inwestorów. VI uzupełnione. Kraków: Wydawnictwo I Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, 2022. 520 s.
9. Tytko R. Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej. Wydanie V. Krakow: Wydawnictwo I Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, 2014. 671 p.

10. Tytko R., Goralczyk I. Urządzenia, instalacje fotowoltaiczne i elektryczne. Krakow: Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, 2013. 347 s.
11. WATTrouter ECO - user manual. https://solarcontrols.cz/archives/eshop/WATTrouterECO_EN.pdf. (date of application 20.03.2023).
12. Wattrouter® Eco. https://solarcontrols.cz/en/wattrouter_eco.html. (date of application 20.03.2023).
13. Акумулятор селевий LogicPower LPM-GL 12 - 250 АН. <https://prel.prom.ua/p1429284808-logicpower-lpm-250.html>. (дата звертання 20.03.2023).
14. Гальчак В. П., Боярчук В. М. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця: Навчальний посібник. Львів, 2008. 135 с.
15. Кудря С. О. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України. / С. О. Кудря, Л. В. Яценко, Г. П. Душина, Л. Я. Шинкаренко, В. Т. Довга, П. Ф. Васько, А. О. Бриль, А. В. Шурчков, Г. М. Забарний, М. М. Жовмір, Ю. А. Віхарєв. К., 2001. 41 с.
16. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. Київ : НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
17. Маліновський А. А., Хохулін Б. К. Основи електроенергетики та електропостачання: Підручник. Львів: В-во НУ "Львівська політехніка", 2007. 380 с.
18. Модульний контактор RA 20-11 230V AC. <https://www.eti.ua/produksiya-ua/002464097>. (дата звертання 20.03.2023).
19. Олійник М. Й., Лисяк В. Г. Основи екології виробництва, пересилання та використання електричної енергії. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2018. 192 с.

20. Реле часу ETR-82TO. <https://www.eti.ua/produksiya-ua/eve-etirel/timers-and-digital-time-relays/002473075-etr>. (дата звертання 20.03.2023).
21. Сегеда М. С., Олійник М. Й., Дудурич О. Б. Нетрадиційні та відновлювані джерела електроенергії. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2019. 204 с.
22. Сиротюк С. В. Методика проведення досліджень енергетичних потоків та співвідношення між одиницями вимірювання енергії. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи з дисципліни "Технології використання відновних джерел енергії" для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. Львів : ЛНУП, 2021. 17 с.
23. Сонячна панель Longi Solar LR5-72HPH-550M. <https://prel.prom.ua/p1363875602-sonyachna-panel-longi.html>. (дата звертання 20.03.2023).