

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Рівень вищої освіти – другий "магістерський" рівень

на тему: **„ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ
ТА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ У ЖИТЛОВОМУ БУДИНКУ”**

Виконав: студент 6 курсу групи Ен-61
Спеціальності 141 „Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка”
(шифр і назва)

Стечкевич Тарас Юрійович
(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 2024

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.
" ____ " _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту
Стечкевичу Тарасу Юрійовичу

1. Тема роботи: "ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТА ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ У ЖИТЛОВОМУ БУДИНКУ"

Керівник роботи: Сиротюк Сергій Валерійович, к.т.н., доцент
Затверджена наказом по університету від 12.09.2024 року № 616/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 06.12.2024 року.

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

4. Перелік питань, які необхідно розробити

4.1. Актуальність теми, мета і завдання дослідження.

4.2. Теоретичні основи розробки систем енергопостачання з використанням обладнання відновлюваної енергетики.

4.3. Обґрунтування структури та параметрів системи енергопостачання з використанням обладнання відновлюваної енергетики.

4.4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

4.5. Обґрунтування прийнятих рішень.

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 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 фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва			

7. Дата видачі завдання: 12.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Актуальність теми, мета і завдання дослідження	12.09.2024 – 27.09.2024	
2	Теоретичні основи розробки систем енергопостачання з використанням обладнання відновлюваної енергетики	28.09.2024 – 21.10.2024	
3	Обґрунтування структури та параметрів системи енергопостачання з використанням обладнання відновлюваної енергетики	22.10.2024 – 15.11.2024	
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	16.11.2024 – 25.11.2024	
5	Обґрунтування прийнятих рішень	26.11.2024 – 1.12.2024	
6	Завершення оформлення ілюстративної частини роботи	2.12.2024 – 4.12.2024	
7	Завершення роботи в цілому	5.12.2024 – 6.12.2024	

Студент _____ Стечкевич Т. Ю.
(підпис)

Керівник роботи _____ Сиротюк С. В.
(підпис)

УДК 697.2:697.7

Оптимізація режиму споживання електричної та теплової енергії у житловому будинку. Стечкевич Т. Ю. Кваліфікаційна робота. Кафедра енергетики. Дубляни, Львівський національний університет природокористування, 2024.

59 сторінок текстової частини, 3 таблиці, 25 рисунків, 14 літературних джерел.

Надано загальну характеристику досліджуваного об'єкта, проведено оцінку енергетичного потенціалу сонячної радіації для визначення можливостей використання відновлюваних джерел енергії. На основі отриманих даних обґрунтовано актуальність та доцільність обраної теми кваліфікаційної роботи.

Проведено дослідження обсягів споживання електроенергії у приватному будинку, що дозволило визначити середньоденні та пікові навантаження. Розроблено структуру системи комплексного електрозабезпечення, яка поєднує традиційну електромережу та сонячну фотоелектричну установку. Визначено габаритну потужність сонячної установки, необхідну для забезпечення енергетичних потреб будинку, а також підібрано основні компоненти системи, зокрема сонячні панелі, інвертор та акумуляторні батареї.

Удосконалено структуру гібридної сонячної електростанції, а також алгоритм її роботи для підвищення рівня її енергоефективності та максимального використання потенціалу сонячного випромінювання.

Розглянуто питання охорони праці під час експлуатації систем електропостачання, включно із системами на основі сонячних електростанцій.

Проведено аналіз економічної доцільності впровадження системи, враховуючи вартість обладнання, монтажу та експлуатації. Розраховано термін окупності капіталовкладень та потенційне зменшення витрат на оплату електроенергії.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	7
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОГО ОБ'ЄКТУ ТА РЕГІОНУ ЙОГО РОЗТАШУВАННЯ	9
1.1 Загальна характеристика досліджуваного об'єкта	9
1.2 Оцінка енергетичного потенціалу сонячного випромінювання	15
1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи	18
2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ СИСТЕМ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	21
2.1 Визначення енергетичних потреб досліджуваного об'єкта	21
2.2 Удосконалення структури системи електрозабезпечення об'єкта	24
2.3 Розрахунок параметрів системи електрозабезпечення об'єкта з використанням сонячної електростанції	27
2.4 Комплектування сонячної електростанції	30
3 ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	34
3.1 Обґрунтування потреби в оптимізації споживання електричної та теплової енергії	34
3.2 Обґрунтування структури та алгоритму роботи гібридної системи електропостачання	36
3.3 Визначення оптимального розміру сонячної електростанції	44

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ	49
4.1 Структурно-функціональний аналіз технологічного процесу	49
4.2 Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій стосовно безпечного перебігу виробничого процесу	51
4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	52
5 ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ	53
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	56
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	58

ВСТУП

Забезпечення необхідного рівня комфорту у житлових об'єктах є комплексною інженерною задачею, яка охоплює вирішення низки технологічних питань із різних галузей. Основними аспектами є створення теплового комфорту, забезпечення мешканців гарячою водою та безперебійне електропостачання. Для досягнення цієї мети використовуються сучасні інженерні рішення, зокрема системи опалення, водонагрівальні установки та системи електропостачання, що можуть поєднувати традиційні та відновлювані джерела енергії. Інтеграція цих систем дозволяє підвищити енергоефективність будинку, зменшити витрати на експлуатацію та забезпечити комфортні умови для проживання.

Електропостачання житлових об'єктів зазвичай реалізується шляхом підключення внутрішньої електромережі будинку до зовнішньої централізованої системи. Така схема є надійною за стандартних умов, однак практика показала, що у разі військових дій або інших надзвичайних ситуацій система може виявитися вразливою.

Для підвищення рівня надійності електропостачання та раціонального використання енергоресурсів доцільно використовувати локальні засоби генерації електроенергії. Одним із найбільш ефективних рішень є впровадження сонячних фотоелектричних установок. У поєднанні з системами накопичення енергії (акумуляторами) такі установки дозволяють не лише забезпечувати електропостачання у разі збоїв зовнішньої мережі, а й оптимізувати споживання електроенергії.

Зокрема, вони здатні виконувати функцію згладжування навантажень у пікові та півпікові періоди, зменшуючи споживання електроенергії з централізованої мережі. Це сприяє підвищенню стійкості та надійності енергосистеми в цілому, а також знижує фінансові витрати на оплату електроенергії для споживачів. Таким чином, інтеграція сонячних фотоелектричних установок зі системами накопичення енергії є раціональним і

стратегічно важливим рішенням для забезпечення енергетичної автономності житлових об'єктів.

У даній роботі запропоновано розглянути можливість практичної реалізації комплексної системи електропостачання житлового будинку, яка базується на спільному використанні зовнішньої електромережі та сонячної фотоелектричної станції. Особливістю запропонованої системи є максимальне використання системи акумуляування електричної енергії. Така система дозволить ефективно регулювати взаємодію між зовнішньою мережею та сонячною установкою, забезпечуючи оптимальне використання електроенергії, зменшення витрат на електропостачання та підвищення загальної ефективності роботи енергетичної установки. Завдяки цьому, експлуатація системи буде більш гнучкою та стійкою, що дозволить максимально використовувати доступні джерела енергії та знижувати навантаження на зовнішню мережу.

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОГО ОБ'ЄКТУ ТА РЕГІОНУ ЙОГО РОЗТАШУВАННЯ

1.1 Загальна характеристика досліджуваного об'єкта

Система енергопостачання індивідуального житлового будинку зазвичай містить декілька різновидів енергетичних ресурсів, серед яких є електроенергія, яка постачається через зовнішню електромережу, тепла енергія, яка опосередковано постачається через систему газопроводів, і для отримання якої також необхідно отриманий природний газ спалити у газовому котлі. У випадку відсутності системи газопостачання тепла енергія може бути подана до споживачів за рахунок спалювання біомаси – дров, за умови використання твердопаливного котла. В окремих випадках, коли є небажання використовувати природний газ, або ж дрова для теплопостачання, то єдиним варіантом є використання електроенергії. Саме таким варіантом є досліджуваний об'єкт, який розміщений на околиці міста Дубляни, в урочищі Малиняк зі сторони виробничої бази заводу "Олімпія".

Отже, об'єктом дослідження є індивідуальний житловий будинок малоповерхової забудови. Розташування будинку відносно під'їзних доріг та сторін світу є доволі добрим. Будинок знаходиться в першій лінії відносно однієї із центральних доріг житлового масиву. Причому, ухил рельєфу є в сторону південної сторони. Тобто, перспективна забудова не впливатиме на затінення досліджуваного будинку та засобів відновлюваної енергетики, які можуть бути там змонтовані. Щодо сторін світу, то вісь двохскатного даху має напрям на схід-захід. Кут нахилу даху південної сторони становить близько 35°, що є оптимальним для влаштування сонячної фотоелектричної установки.

Досліджуваний будинок загалом є типової конфігурації та побудований за типовою технологією сучасного будівництва. Капітальні стіни виконані з

пінобетону, який дозволяє будувати будинки у кілька поверхів, водночас вони будуть і доволі теплими через низьку теплопровідність будівельного матеріалу. Зовнішня поверхня стін додатково оброблена теплоізоляційним тиньком, що забезпечило нормативні показники теплових втрат для будинків приватної забудови. Певну частку енергоефективності будинку вносять віконні конструкції, які виготовлені за сучасною технологією із п'ятикамерного ПВХ профілю, який також армований металевим профілем. Склопрозоре покриття виконане із двокамерного склопакета, одна із шиб якого, має м'яке напилення теплоізоляційного енергоефективного покриття. Таким чином, будинок є енергоощадним, що позитивно впливає на витрату коштів для теплопостачання.

Щодо електрообладнання, то тут також в результаті купівлі тільки енергоефективного обладнання є відносно низька витрата електроенергії. Суттєве збільшення витрати електроенергії спостерігається лише у зимовий період, коли необхідно вмикати електроопалення. Для цих потреб, ввідна потужність електромережі будинку становить 15 кВт. Хоча, якщо виникне потреба у збільшенні ввідної потужності, то після написання заяви, оплати за кожен кіловат потужності понад існуючу, а також після заміни захисної апаратури ввіповідної потужності, процедура буде завершена доволі швидко, впродовж кількох днів.

Отже, електрична енергія зазвичай використовується для типового електрообладнання, серед якого електроприлади та освітлювальні прилади. В літній період добавляється споживання електроенергії за рахунок використання електронагріву для приготування гарячої води, а взимку – для приготування гарячої води та опалення.

Динаміку споживання електроенергії житлового будинку електрообладнанням можна простежити за даними графіка, який подано на рис. 1.1.

Як видно з рис. 1.1, спостерігається легка хвилеподібна динаміка споживання із зниженням рівня у літні місяці. Максимум споживання припадає

на зимові місяці у розмірі 114, 117 і 123 кВт·год., в той час, як мінімум – на літні у розмірі 86 і 88 кВт·год.

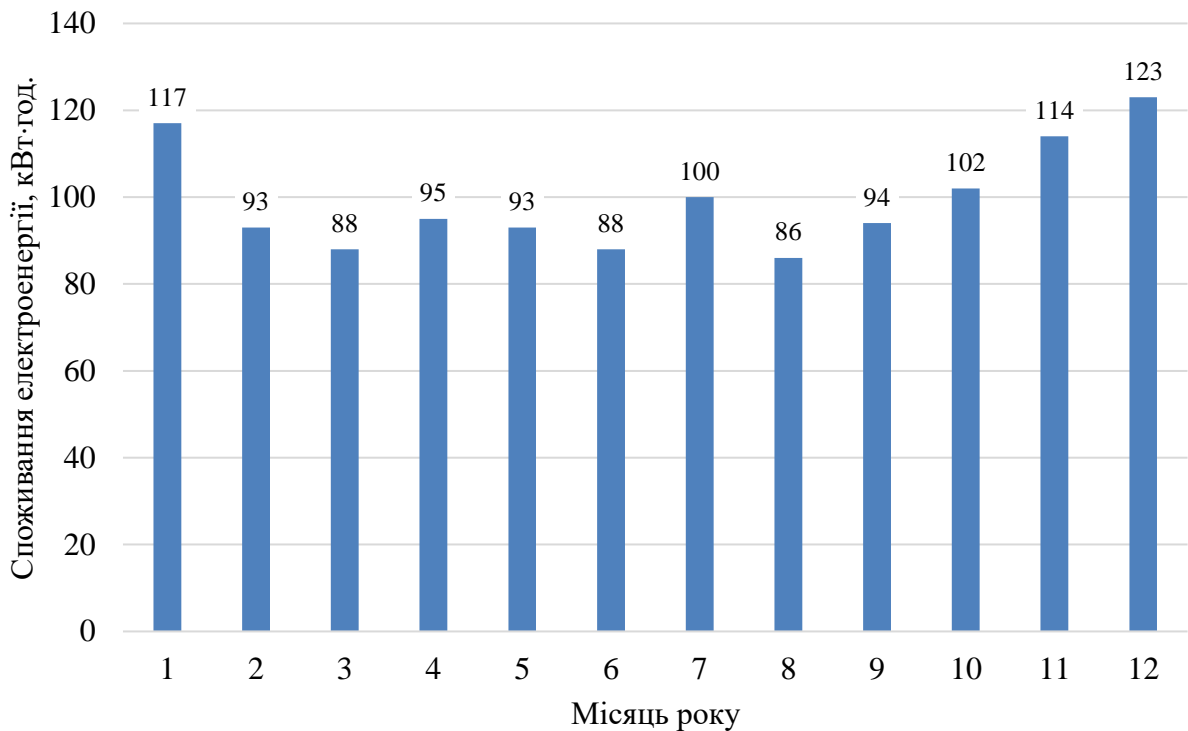


Рисунок 1.1 – Динаміка споживання електроенергії досліджуваного об'єкта за місяцями на потреби електрообладнання будинку

Динаміку споживання електроенергії на потреби системи опалення та гарячого водопостачання подано на рис. 1.2.

Як видно з рис. 1.2, середній рівень споживання електроенергії на потреби гарячого водопостачання становить 70-80 кВт·год., що видно у літні місяці. Зростання споживання електроенергії у зимові місяці цілком прогнозовані і становлять від 822 до 1102 кВт·год. Якщо відняти витрату електроенергії на гарячу воду, то чисте споживання на опалення становитиме від 742 до 1022 кВт·год., що становить від 9 до 13 разів більше ніж витрати електроенергії на потреби гарячого водопостачання.

Сумарну ж витрату електроенергії на всі технологічні потреби у житловому будинку проілюструємо гістограмою, яка подана на рис. 1.3.

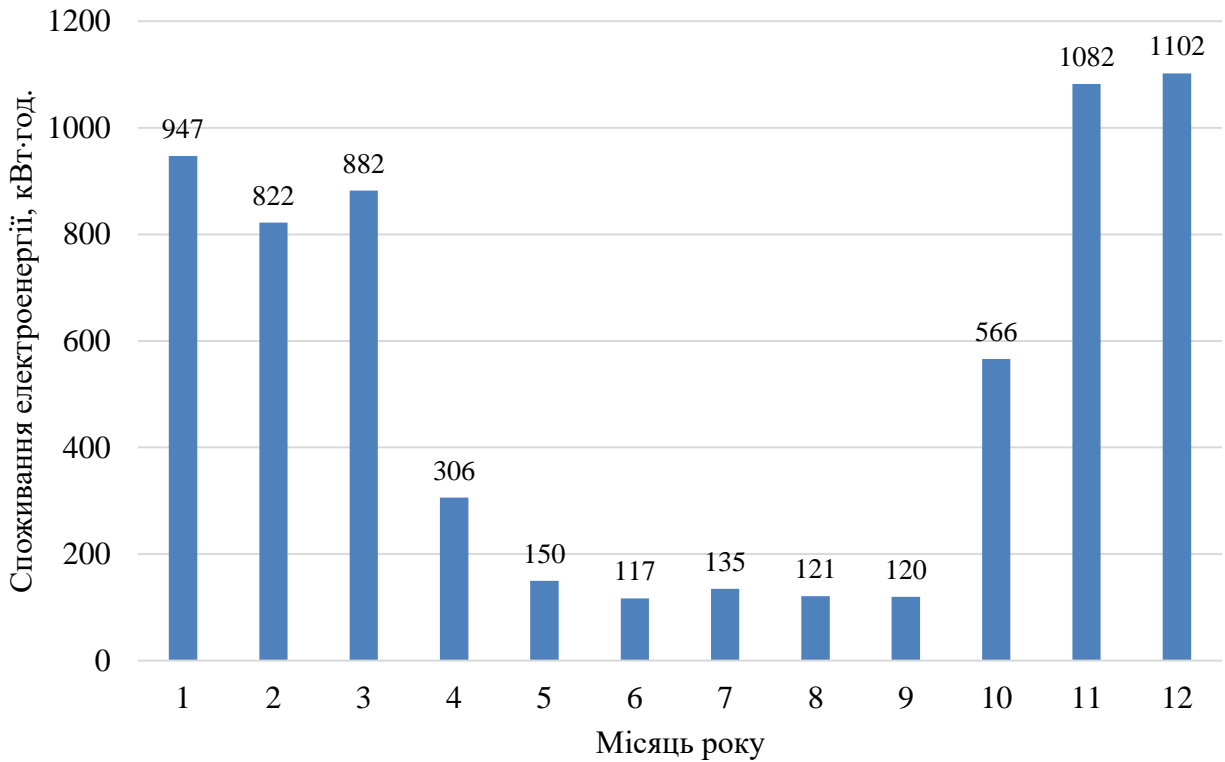


Рисунок 1.2 – Динаміка споживання електроенергії досліджуваного об'єкта за місяцями на потреби теплопостачання будинку

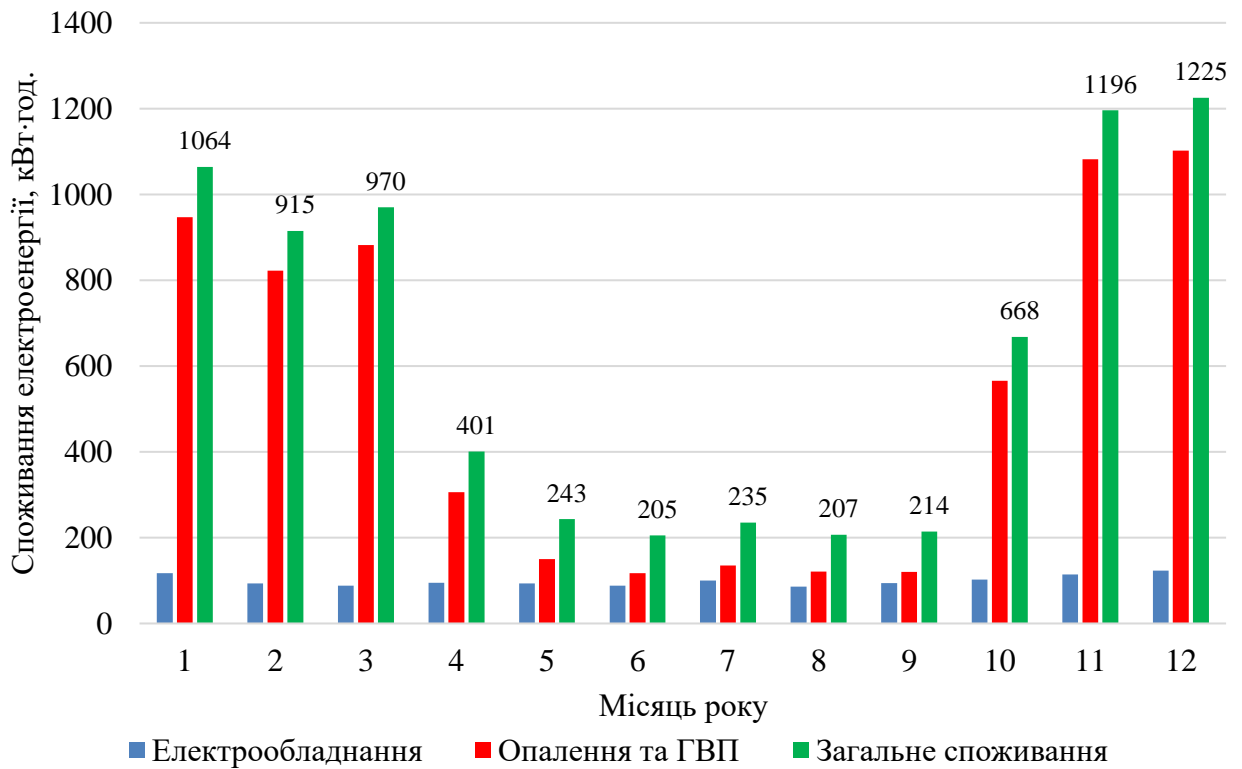


Рисунок 1.3 – Динаміка споживання електроенергії досліджуваного об'єкта за місяцями на всі технологічні потреби будинку

Як видно з рис. 1.3, тенденція до стрімкого зростання витрати електроенергії на повне споживання залишається. Літнє споживання становить від 205 до 245 кВт·год., а зимове споживання зростає від 915 до 1225 кВт·год.

Цікавим є аналіз добової динаміки споживання електроенергії, що дозволить виявити деякі цікаві періоди, які можуть мати вплив на формування режиму роботи акумуляційного обладнання.

На рис. 1.4 подано добову динаміку споживання електроенергії на потреби опалення та гарячого водопостачання на початку грудня, коли середня температура становила близько 3 °С.

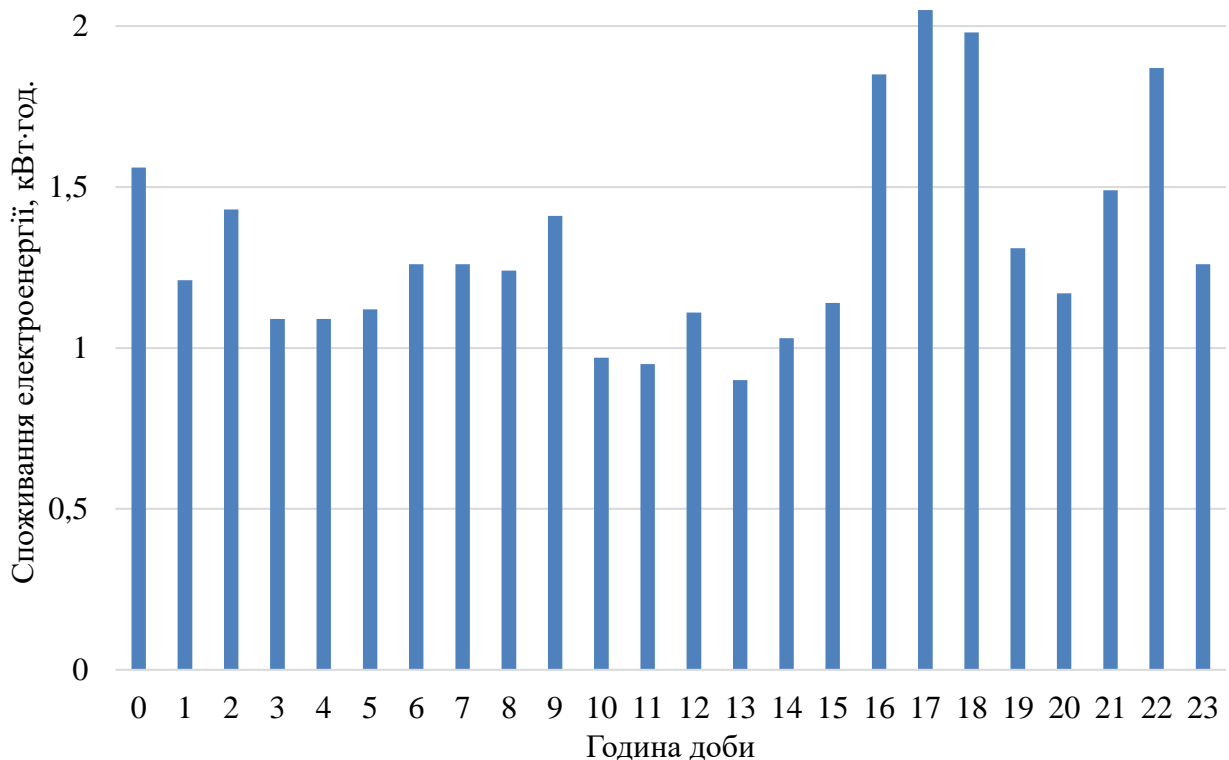


Рисунок 1.4 – Добова динаміка споживання електроенергії досліджуваного об'єкта за місяцями на потреби теплопостачання будинку

Як бачимо з рис. 1.4, спостерігаються поодинокі пікові періоди споживання електроенергії, які навіть перевищують 2 кВт·год. За середнього рівня споживання в межах від 1 до 1.5 кВт·год.

Такий же аналіз виконаємо і для електрообладнання. Отже на рис. 1.5, подано добову динаміку споживання електроенергії на потреби електрообладнання.

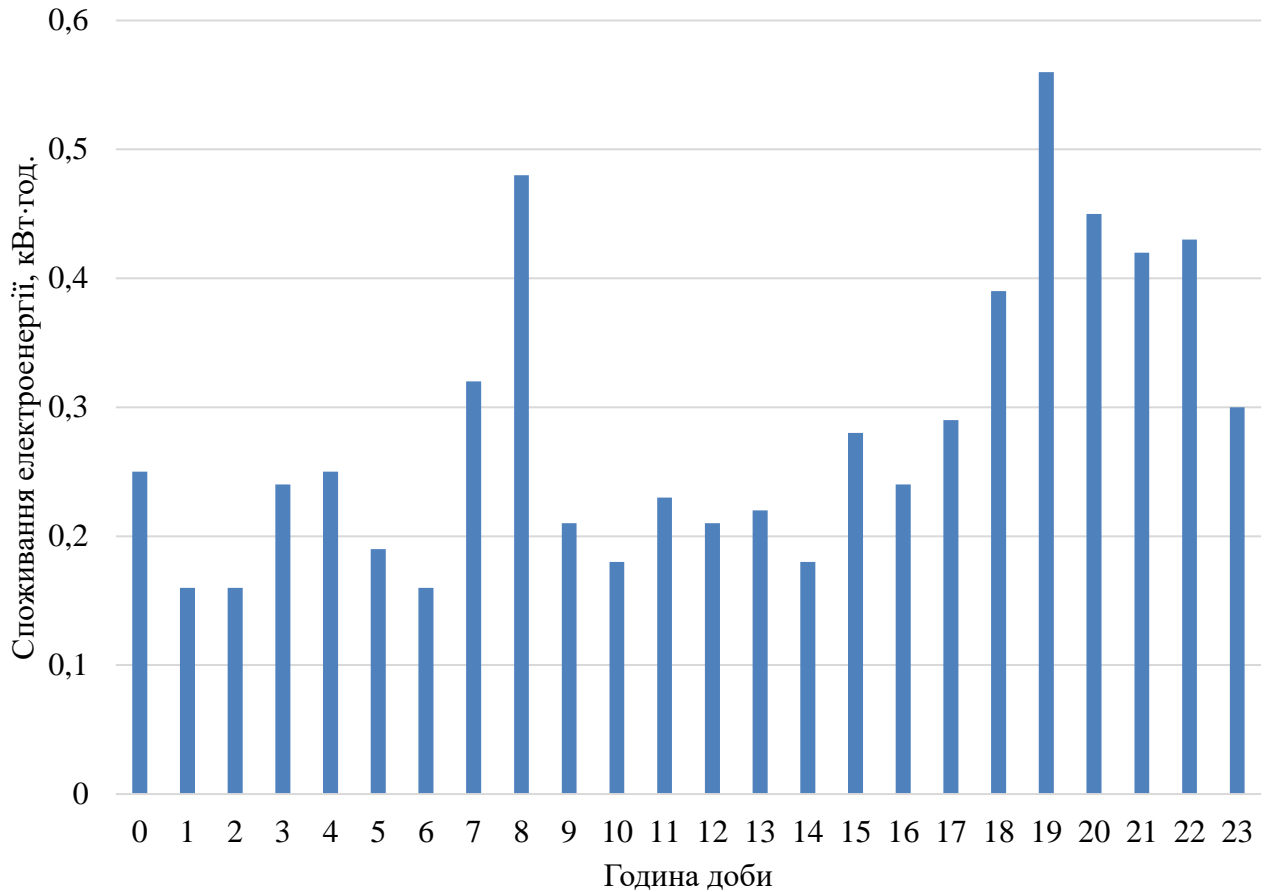


Рисунок 1.5 – Добова динаміка споживання електроенергії досліджуваного об'єкта за місяцями на потреби електрообладнання будинку

Як видно з рис. 1.5, тут також спостерігаються поодинокі пікові періоди (вранці і увечері), які становлять споживання на рівні 0,45-0,55 кВт·год. Мінімальне ж споживання становить 0,16 кВт·год.

Аналіз добового рівня споживання електроенергії дозволить також зрозуміти особливість та характеристики системи акумулювання електроенергії у випадку застосування гібридних енергетичних систем. Крім того, слід також мати відомості про обсяги генерування електроенергії сонячною електроустановкою, яка може компенсувати частину спожитої електроенергії.

1.2 Оцінка енергетичного потенціалу сонячного випромінювання

Як було зазначено раніше, невід'ємною частиною загальної енергетичної системи житлового будинку повинна стати сонячна електроустановка, яка повинна виробляти певний обсяг електроенергії, який буде компенсувати частину споживаної електроенергії. Відповідно до цього слід оцінити потенційну можливість виробляти необхідний обсяг електроенергії за рахунок енергії сонячного випромінювання.

Таким чином, нам необхідно здійснити аналіз рівня сонячного випромінювання, який може стати основою технологічного розрахунку сонячної електростанції.

Для цього скористаємося безкоштовним сервісом NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) | Data Access Viewer (DAV) [xx], де необхідно або ввести координату місця розташування досліджуваного об'єкта, або встановити на карті точку фізично (рис. 1.6).

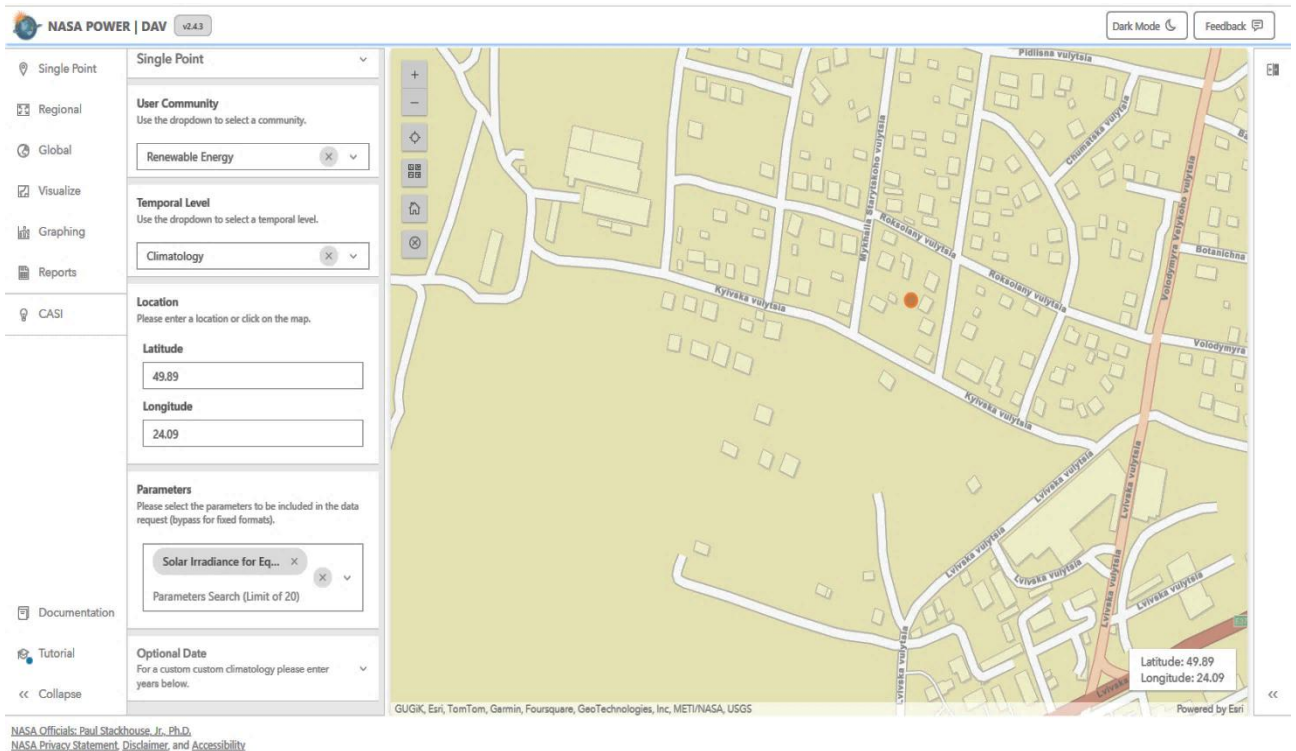


Рисунок 1.6 – Фрагмент робочого вікна вибору одинарної точки для запиту на формування даних про кліматичні параметри

Далі слід вибрати тип даних, які необхідно згенерувати для подальшої обробки даних (рис. 1.7).

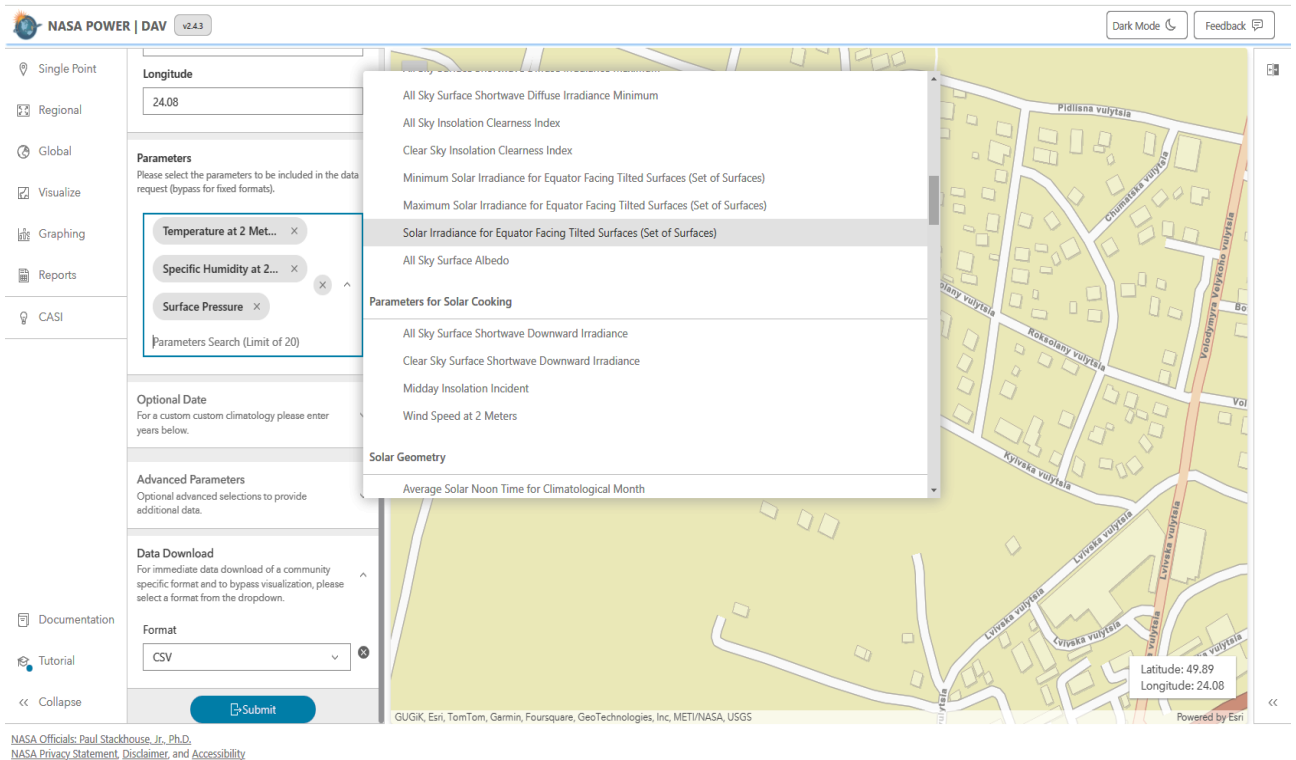


Рисунок 1.7 – Фрагмент робочого вікна вибору типу метеорологічних даних

Насамкінець необхідно вибрати формат згенерованого файла, з якого буде зручно відбирати необхідні дані. В нашому випадку доцільно вибрати текстовий тип файла "CSV", який дозволяє легко переформатувати дані у таблиці Excel. Excel вибраний тому, що в цьому середовищі зручно проводити багатопотокові розрахунки.

Отже, в таблиці 1.1, подано результат згенерованих даних для нашого місця розташування досліджуваного житлового будинку. Зокрема, подано дані для: горизонтальної поверхні, поверхні, яка нахилена під кутом, який відповідає географічній широті, поверхні, яка нахилена під кутом, який відповідає географічній широті з відніманням та додаванням кут у 15° , а також вертикально.

Слід зауважити, що горизонтальне та вертикальне розташування серйозно сприймати не слід, оскільки тут буде найменший рівень надходження сонячного випромінювання на сприймаючу поверхню. Для цілорічного варіанта

розташування сонячних фотопанелей слід вибирати кут, який відповідає географічній широті. Для досягнення більшої ефективності у зимовий період слід кут збільшити на 15° , а для максимального рівня продуктивності слід кут зменшувати на 15° .

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

PARAMETER	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
T2M	-4,37	-2,67	2,42	9,05	14,58	18,17	20,19	19,82	14,66	8,6	3,37	-2,11
SI_EF_TILTED_SURFACE_HORIZONTAL	0,95	1,76	2,92	4,31	5,3	5,76	5,63	4,98	3,47	2,08	0,97	0,7
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_MINUS15	1,55	2,45	3,65	4,71	5,26	5,5	5,46	5,25	4,13	2,87	1,48	1,2
SI_EF_TILTED_SURFACE_LATITUDE	1,69	2,58	3,69	4,5	4,85	4,99	4,98	4,93	4,07	2,97	1,58	1,32
SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_PLUS15	1,74	2,59	3,55	4,08	4,26	4,31	4,33	4,41	3,81	2,91	1,6	1,37
SI_EF_TILTED_SURFACE_VERTICAL	1,64	2,34	2,96	2,99	2,91	2,88	2,91	3,11	2,97	2,48	1,44	1,29
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL	1,74	2,6	3,69	4,73	5,44	5,82	5,71	5,32	4,13	2,97	1,6	1,37
SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANG	60,5	55,5	41,0	25,0	15,5	8,5	8,5	23,0	34,5	50,0	54,0	63,5

Для більшого розуміння динамічних характеристик надходження сонячного випромінювання на сприймаючу поверхню слід побудувати графічну залежність для різних кутів нахилу сонячних фотопанелей до горизонту (рис. 1.8).

Залежно від особливостей режиму роботи сонячної електростанції слід прийняти той чи інший варіант кута нахилу фотопанелей. Слід одразу зауважити, що ухил даху південного скерування у досліджуваному будинку становить 35° . Тому, напевно буде правильно застосувати умови надходження сонячного випромінювання на сприймаючу поверхню під тим самим кутом, якщо не планується застосування монтажних конструкцій зі зміною кута нахилу фотопанелей.

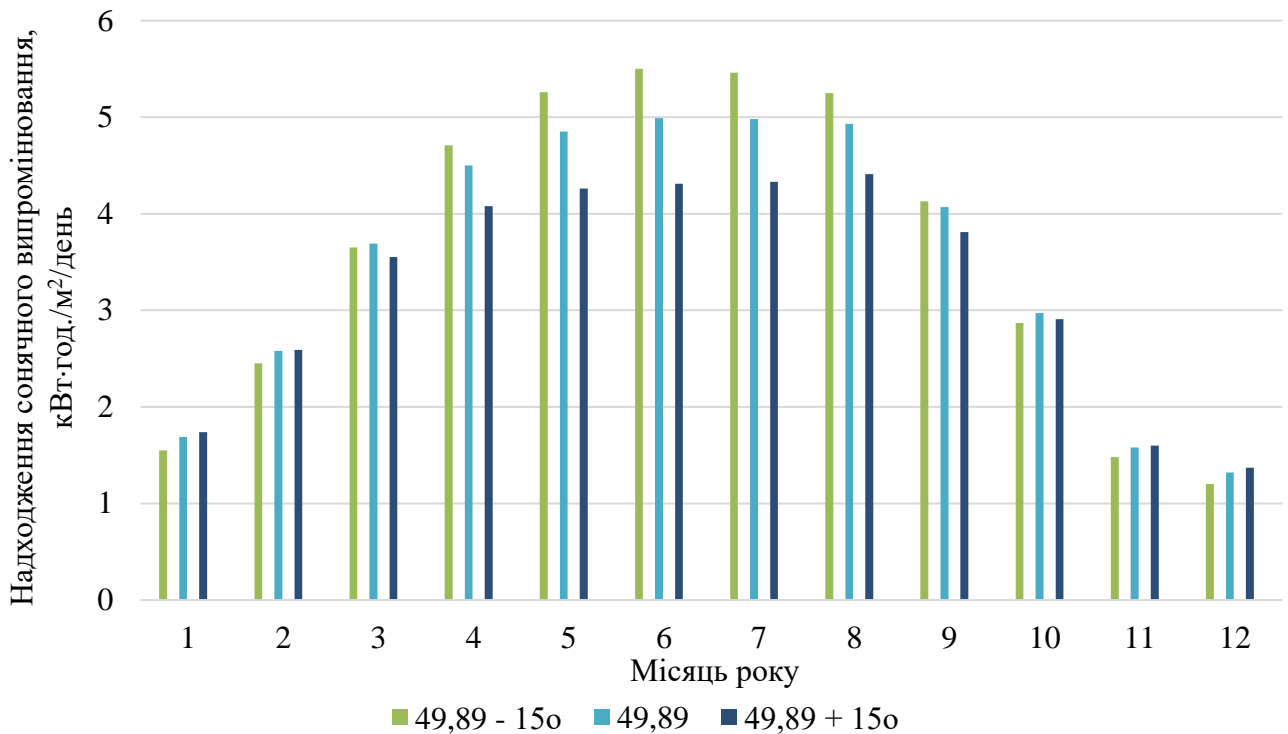


Рисунок 1.8 – Динаміка зміни сонячного випромінювання

Таким чином, нами було здійснено підготовчі операції із аналізу режиму споживання електроенергії на різні цілі, а також визначено потенціал сонячного випромінювання, що може стати основою для визначення раціональних параметрів сонячної електростанції, яка буде виробляти частину необхідного обсягу електроенергії.

1.3 Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи

Виробництво та використання електричної енергії завжди було важливою народногосподарською задачею, яка вирішувалася з різної точки погляду та технологічних особливостей. З одного боку, необхідно створити сприятливі умови для роботи енергосистеми, яка потребує регулярного навантаження, що позитивно впливатиме на функціонування генерувальної системи, стабільність режимів її роботи тощо. З іншого боку, з боку споживача електроенергії, то тут є намагання використовувати електричну енергію максимально ощадно, хоча

режим її споживання характеризується великою нерівномірністю. Але тотальна електрифікація вимагає щораз більшого споживання, незважаючи на те, що побутове електрообладнання постійно піддається удосконаленню, тобто стає більш енергоощадне.

Перш за все, заходами, які повинні бути вжиті у домогосподарствах стосовно використання електроенергії є заходи із раціонального режиму використання, створення умов з мінімізації холостого режиму використання електрообладнання тощо.

З іншого боку, розвиток відновлюваної енергетики може бути додатковим інструментом, який забезпечить більш ощадне використання електроенергії у житлових будинках, але за рахунок того, що частина необхідного обсягу електроенергії буде генеруватися безпосередньо на рівні об'єкта. Таким чином, буде створено локальну мережу електрогенерації, яка також позитивно буде впливати на режим роботи зовнішньої електромережі. Перш за все, це через значну відстань транспортування електроенергії від електростанцій до помешкань. Локальна електрогенерація покращує електричні параметри електромережі, мінімізує втрати електроенергії на пересилання її по провідниках тощо.

Крім того, розвиток систем акумулювання дозволяє знизити вплив головної проблеми відновлюваної енергетики – нерегулярності та часової невідповідності надходження енергії та її споживання.

Найбільш широко поширеною відновлюваною енергією, яка є доступною практично для всіх є сонячна енергія, яка може бути перетворена у теплову та електричну енергію. Застосування цих засобів може мати серйозний вплив на режим споживання електричної та теплової енергії з централізованих мереж, а також суттєво покращити економічну складову використання енергії у житлових будинках.

Зважаючи на суттєву сезонну та добову нерівномірність надходження сонячного випромінювання на сприймаючі поверхні, обов'язковою умовою

широкого використання таких систем є використання систем акумулювання, які дозволять більш раціонально використати цей ресурс. Крім того, системи акумулювання дозволять вирішувати ще одну задачу – режим споживання електроенергії у пікові періоди доби.

Всі ці аспекти є доволі важливим як з точки зору експлуатації електромереж, так і з точки зору споживача електроенергії, який також може бути активним користувачем із функцією мікрогенерації. Тому дана тема є актуальною та необхідною до розробки.

Для реалізації загального завдання – обґрунтування заходів, а також розробки методики оптимального використання електричної та теплової енергії в житловому будинку необхідно вирішити низку питань, серед яких є:

- оцінка поточного рівня споживання електричної та теплової енергії;
- оцінка наявного потенціалу сонячного випромінювання;
- розробка алгоритму системи споживання електричної та теплової енергії;
- визначення параметрів сонячної енергетичної установки, як перспективного альтернативного постачальника електроенергії;
- можлива розробка системи керування енергетичними потоками;
- розробка заходів щодо безпеки праці при експлуатації електрогенерувальної установки;
- оцінка ефективності застосування запропонованих рішень.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ СИСТЕМ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

2.1 Визначення енергетичних потреб досліджуваного об'єкта

Як було вказано раніше, серед енергетичних потреб будинку є електрична та теплова енергія. Вся теплова енергія вироблялася до періоду реконструкції за рахунок роботи електрочотла для опалення, а також за рахунок електробойлера для гарячого водопостачання

Теплову енергію можна облікувати за нормативними показниками споживання відповідно до параметрів конструкції будинку, а також кліматичних умов. Таким чином, за відомого значення питомої потужності тепловтрат будинку, його геометричних розмірів та температури навколишнього середовища можна розрахувати обсяг необхідної теплоти за одну добу з використанням формули

$$Q_{on}^d = 86,4 q_0 V_{б\text{уд}} (t_{вс} - t_{нс}). \quad (2.1)$$

де q_0 – питома потужність тепловтрат досліджуваної будівлі, Вт/м³·град; $V_{б\text{уд}}$ – об'єм досліджуваної будівлі, м³; $t_{вс}$ – нормативна температура повітря в досліджуваній будівлі, °С; $t_{нс}$ – температура навколишнього повітря, °С.

Добутком добової витрати теплової енергії на кількість днів у поточному місяці визначиться місячна витрата

$$Q_{on}^M = Q_{on}^d \cdot n. \quad (2.2)$$

Очевидно, що загальною сумою витрат теплоти всіх місяців, коли працює система опалення, визначиться річна потреба у теплоті.

$$Q_{on}^P = \sum_{i=1}^{12} Q_{on}^M. \quad (2.3)$$

Практично таким же чином визначиться витрата теплоти для потреб нагріву води. Цей розрахунок для добового рівня можна виконати за формулою:

$$Q_{26}^i = 1,2 \cdot c_p \cdot \rho \cdot V \cdot (t_{26} - t_{x6}) \cdot k_c, \text{ кДж.} \quad (2.4)$$

де c_p – 4,19 кДж/кг·град – питома теплоємність води; $\rho = 1,0$ кг/л – густина води; V – добовий обсяг споживання гарячої води мешканцями будинку, л; $t_{26} = 55$ °С – нормативна температура води в теплоаккумуляторі, °С; t_{x6} – температура холодної води, °С; k_c – коефіцієнт місячної нерівномірності споживання гарячої води мешканцями будинку протягом року.

Місячну потребу у теплоті для нагріву води визначають добутком добової потреби енергії на кількість днів у місяці:

$$Q_{26}^m = Q_{26}^d \cdot n, \text{ кДж} \quad (2.5)$$

Як і раніше, річна потреба у теплоті для приготування гарячої визначатиметься сумуванням помісячних потреб

$$Q_{26}^p = \sum_{i=1}^{12} Q_{26}^m, \text{ кДж} \quad (2.6)$$

Для розрахунку витрати електричної енергії слід скористатися методикою, яка зводиться до наступного: формується перелік електрообладнання, визначаються його електричні параметри, вказуються режими споживання та можливі особливості у використанні впродовж року.

Далі множенням кількості електроприладів на їх одиничну потужність, тривалість добового використання та коефіцієнт одночасності отримуємо добову витрату електроенергії за формулою

$$E_d = \sum K_{en} \cdot P_{en} \cdot T_d \cdot k_{od}, \quad (2.7)$$

де K_{en} – кількість електроприладів, шт.; P_{en} – одинична потужність електроприладів, кВт; T_d – тривалість добового використання електроприладів, год.; k_{od} – коефіцієнт одночасного вмикання електроприладів.

Як і у вище наведених прикладах з тепловою енергією, місячна витрата електроенергії визначатиметься добутком добової потреби на кількість днів у місяці з врахуванням показника сезонної нерівномірності використання

$$E_m = E_d \cdot n_m \cdot k_c. \quad (2.8)$$

Річна витрата електроенергії для потреб основної системи освітлення визначимо як

$$E_p = \sum E_m. \quad (2.9)$$

Загалом подана методика є добові точною, оскільки враховує всю наявну особливість використовуваного енергетичного ресурсу, як теплового, так і електричного. Щоправда тут є одна особливість, якою характеризується власне приватний сектор, індивідуальні будинки тощо. Ця особливість полягає у тому, що практично неможливо точно дати оцінку тривалості включення електроприладів, спрогнозувати режим використання системи опалення та гарячого водопостачання. Причому, похибка у розрахунках та фактичних (еталонних або вимірних) витратах енергії може бути відчутно великою.

Тому ця методика, очевидно, не зовсім буде підходити для деталізованого аналізу режиму споживання теплової та електричної енергії. Все-таки, більш точним буде аналіз на базі даних, які можна отримати з лічильників, які встановлені у досліджуваному будинку. Ці результати були представлені у попередньому розділі роботи.

За наявних даних про місячне (типово для розрахунків із постачальниками) споживання енергетичних ресурсів, з врахуванням кількості днів у поточному місяці можна визначити добове споживання за формулою:

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{n_m}, \quad (2.10)$$

де E_{cm} – місячне споживання певного виду енергії, кВт·год. (МДж тощо); n_m – кількість днів у місяці, днів.

Результати розрахунків зазвичай формують у вигляді таблиці. В нашому випадку вже отримані вичерпні відомості про споживання електроенергії, яка використовується на потреби електроприладів та опалення з гарячим водопостачанням.

2.2 Удосконалення структури системи електрозабезпечення об'єкта

Система енергопостачання досліджуваного будинку реалізована на базі типової однолінійної схеми приєднання до електромережі. Основними структурними елементами такої системи є кабель вводу, ввідний автоматичний вимикач, лічильник електричної енергії, пристрій захисного вимкнення, пристрій захисту від імпульсних перенапруг, набір автоматичних вимикачів груп навантаження. Додатково до цього обладнання можуть бути встановлені автоматичні вимикачі для певних споживачів, які також можуть ще бути дооснащені пристроями захисного вимкнення, наприклад, електробойлер тощо.

Підвищити рівень енергоощадності такій системі без застосування зовнішніх генеруючих потужностей доволі складно, зважаючи на те, що основне електрообладнання вже підібране за високим класом енергоефективності.

Тому, до існуючої схеми електропостачання доцільно ввести локальну генеруючу систему, наприклад, сонячну електростанцію відповідної потужності, яка забезпечить виробництво певного обсягу електроенергії. Потужність сонячної електростанції визначається її призначенням та вимогами законодавства щодо побутових сонячних станцій. Відомо, що приватні сонячні станції, які працюють із віддачею надлишку виробленої електроенергії можуть мати максимальну потужність у 30 кВт. Такого типу станції повинні пройти реєстрацію, узгодження схеми, процедуру підняття ввідної потужності, яка рівна вихідній потужності станції тощо.

Щодо сонячних електростанцій, які працюватимуть на власне споживання, то до них не висуваються якісь вимоги, оскільки вони не передують до зовнішньої електромережі вироблену електричну енергію. Ще одним типом сонячних станцій є установки, які можуть працювати за умовами взаємної компенсації споживання та генерування електроенергії. Таким умовам відповідає режим "Net Billing". В такому випадку сонячна електростанція загалом працює на власне споживання, але в ній відсутній вузол обмеження

можливості передачі виробленої електроенергії до зовнішньої електромережі. Звичайно, що така сонячна станція повинна бути обладнана двонаправленим смарт-лічильником. В денний період часу, коли потенційно можливий надлишок виробництва електроенергії вона скеровується до зовнішньої електромережі, натомість у вечірній період, коли генерування електроенергії від сонця припиняється, або є недостатнім для повноцінного живлення будинку, здійснюється відбір електроенергії від мережі. Одною із вимог до таких сонячних станцій є обмежена потужність, що зумовлює незначні обсяги перетоків електроенергії. Щоправда і в цьому випадку сонячну станцію необхідно реєструвати, тобто необхідно пройти дозвільну та погоджувальну процедуру.

Завданням удосконалення системи електропостачання досліджуваного будинку є не створення малого бізнесу із виробництва і продажу електроенергії, а формування такої системи, коли б використання електроенергії було б оптимізованим відносно обсягів споживання електроенергії, а також обсягів необхідних інвестицій.

В такому випадку доцільно удосконалення структури електропостачання звести до введення додаткових структурних компонентів, які б дозволили мінімізувати споживання електроенергії з відповідними мінімальними коштами на її спорудження. В такому випадку слід застосувати гібридну сонячну установку з оптимізованою структурою та удосконаленим алгоритмом роботи.

Таким чином, пропонується встановити сонячну електрогенеруючу установку гібридного типу із системою акумуляування електроенергії, яка покриватиме певну частку необхідного обсягу споживання. Додатковим організаційним моментом для обґрунтування параметрів генеруючої системи є розуміння правильного використання виробленої та споживання закупленої електроенергії. В цьому вбачається основний зміст у побудові гібридної системи сонячного електропостачання будинку.

Отже, пропонується ввести до існуючої структурної схеми наступні елементи: сонячні фотоелектричні панелі, гібридний інвертор, систему

акумулювання електроенергії, додаткову контрольно-вимірювальну та комутуючу апаратуру. Тоді структурна схема удосконаленої системи електропостачання житлового будинку буде мати вигляд, як це показано на рис. 2.1.

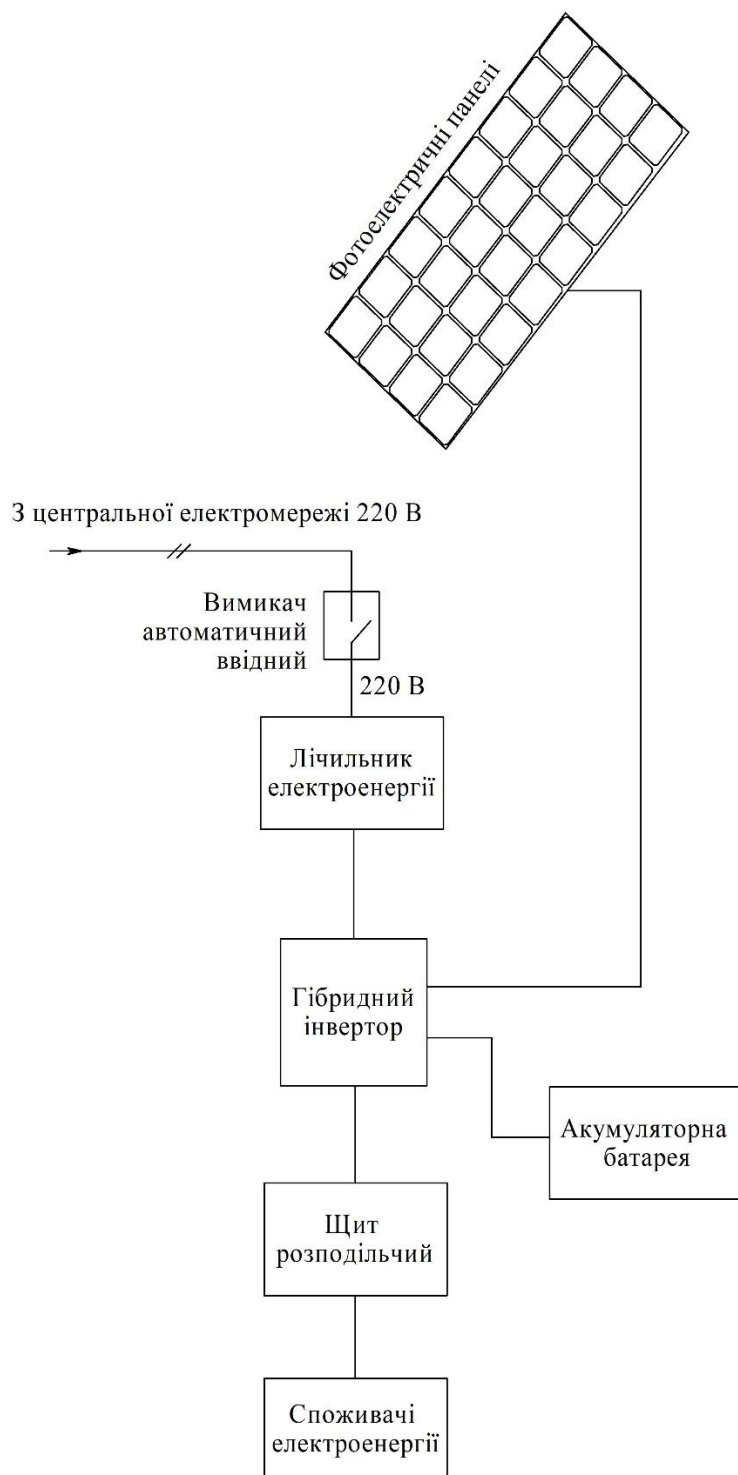


Рисунок 2.1 – Удосконалена структурна схема системи електропостачання житлового будинку з використанням сонячної електростанції

2.3 Розрахунок параметрів системи електрозабезпечення об'єкта з використанням сонячної електростанції

Відповідно до запропонованих змін у конфігурації системи електропостачання житлового будинку виникає потреба у розрахунку параметрів сонячної електростанції, яка зможе покрити потребу у електричній енергії. Однак, для забезпечення умови оптимальності слід проаналізувати електричні параметри проєктованої сонячної електростанції стосовно енергетичних потреб, які вона може забезпечити. Зокрема, виходячи із динаміки помісячного рівня споживання електроенергії можна виділити два ключові процеси, які можуть бути забезпечені електроенергією за рахунок роботи сонячної електростанції. До таких процесів слід віднести живлення електрообладнання житлового будинку, а також живлення системи опалення та гарячого водопостачання. Зважаючи на десятикратну різницю у обсягах необхідної кількості електроенергії можна зрозуміти, що можна побудувати дві системи: мінімального рівня заміщення, а також максимального рівня заміщення. А зважаючи на динаміку споживання та виробництва електроенергії сонячною електростанцією можна спробувати знайти оптимальний варіант потужності такої установки. Отже, виконаємо розрахунок сонячних станцій для двох умов її застосування.

Насамперед необхідно вибрати тип фотопанелей, на базі яких буде будуватися сонячна електростанція. З врахуванням сучасних тенденцій розвитку сектору виробництва фотоелектричних панелей, то доцільним є вибір панелі типу Solarpro MONO, зібраний з використанням елементів PERC. Ця панель має переваги у вигляді вищої потужності, температурної залежності продуктивності елементів, зниженого впливу затінення на генерацію енергії, меншого ризику утворення гарячих точок, а також підвищеної стійкості до механічних навантажень. Щодо величини потужності, то використаємо панелі найвищої потужності у цієї серії 550 Вт.

Відповідно до опису будівлі, а вірніше її даху, де було вказано на кут нахилу на рівні 35° , то й подальші розрахунки будемо проводити для цього кута.

Розпочнемо розрахунок визначенням добового рівня продуктивності, який залежить від рівня опромінення фотоелектричної панелі, її ефективності, площі, а також ефективності периферійних елементів - інвертора та кабелів за формулою

$$W_{cd} = \eta \cdot H_{\beta} \cdot S \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_{каб}, \quad (2.11)$$

де η - коефіцієнт корисної дії фотоелектричної панелі, %; H_{β} - середньодобове надходження сонячної радіації на сприймаючу поверхню, кВт·год./м²/день; S – площа фотоелектричної панелі, м²; η_{inv} - коефіцієнт корисної дії інвертора, %; $\eta_{каб}$ - коефіцієнт корисної дії передачі електроенергії кабелями постійного струму, %.

Таким чином, денна продуктивність фотоелектричної панелі для умов січня місяця буде становити

$$W_{cd} = 0,213 \cdot 1,55 \cdot 2,42 \cdot 0,95 \cdot 0,99 = 0,75 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Тепер можна визначити місячну кількість виробленої електроенергії однією фотоелектричною панеллю

$$W_{mic} = W_{cd} \cdot n_{md}, \quad (2.12)$$

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

Таким чином, отримаємо

$$W_{mic} = 0,75 \cdot 31 = 23,25 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Річне виробництво електроенергії фотоелектричною панеллю не можна визначити простим множенням добової продуктивності на кількість днів у році, оскільки кожного місяця буде різна продуктивність. Тобто, необхідно проводити сумарний розрахунок за місячними даними. Результат такого розрахунку подано в табл. 2.1.

Вже за даними річної продуктивності однієї фотоелектричної панелі можна здійснити розрахунок їх кількості відносно необхідного обсягу

споживаної електроенергії. Це можна зробити діленням необхідного обсягу електроенергії на продуктивність однієї фотоелектричної панелі.

Таблиця 2.1 – Розрахунок продуктивності сонячної фотоелектричної панелі типу Solarpro MONO 550

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	0,751	1,188	1,769	2,283	2,55	2,666	2,647	2,545	2,002	1,391	0,717	0,582
$W_{міс}$, кВт·год	23,28	34,45	54,84	68,49	79,05	79,98	82,06	78,9	60,06	43,12	21,51	17,46

$$N_{сфп} = \frac{E_{оп}}{W_{річ}}. \quad (2.13)$$

Таким чином, отримаємо для умов забезпечення потреб:

- для електроприладів

$$N_{сфп} = \frac{1193}{643,2} = 1,85 \text{ шт.}$$

- для системи опалення

$$N_{сфп} = \frac{6350}{643,2} = 9,87 \text{ шт.}$$

- для електроприладів та системи опалення

$$N_{сфп} = \frac{7543}{643,2} = 11,73 \text{ шт.}$$

Для першого варіанта використання фотоелектричних панелей слід прийняти кількість – 2 шт., для другого варіанта – 10 шт., для третього – 12 шт.

За номінальної потужності фотоелектричної панелі 550 Вт, потужність сонячної установки становитиме 1100, 5500 і 6600 Вт, відповідно.

Як видно, з розрахунків, потужність фотоелектричної установки для повного забезпечення потреб в електроенергії в цілорічному режимі не

перевищує 7 кВт. Це цілком прийнятна потужність сонячної станції, яка не буде вимагати значних інвестицій.

2.4 Комплектування сонячної електростанції

Відповідно до розробленої структури сонячної електростанції, яка б мала забезпечити певні енергетичні потреби у житловому будинку, необхідно провести процедуру її комплектування.

Для першого варіанта, де в складі фотоелектричної установки є всього дві панелі, очевидно, найкращим варіантом буде застосування мікроінвертора з двома МРРТ входами (рис.2.2). Така система характеризується мінімалістичною комплектацією, яка усуває систему захисту постійного струму. На базі таких систем формують, так звані, балконні системи з мінімальною кількістю фотопанелей та додаткових засобів.



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд мікроінвертора Noymiles HMS-1000

Принципова схема приєднання панелей до інвертора подана на рис. 2.3. Даного типу інвертори забезпечують зручний монтаж, вони можуть бути змонтовані безпосередньо під фотоелектричними панелями, а також їх можна використовувати для формування каскадних електричних систем.

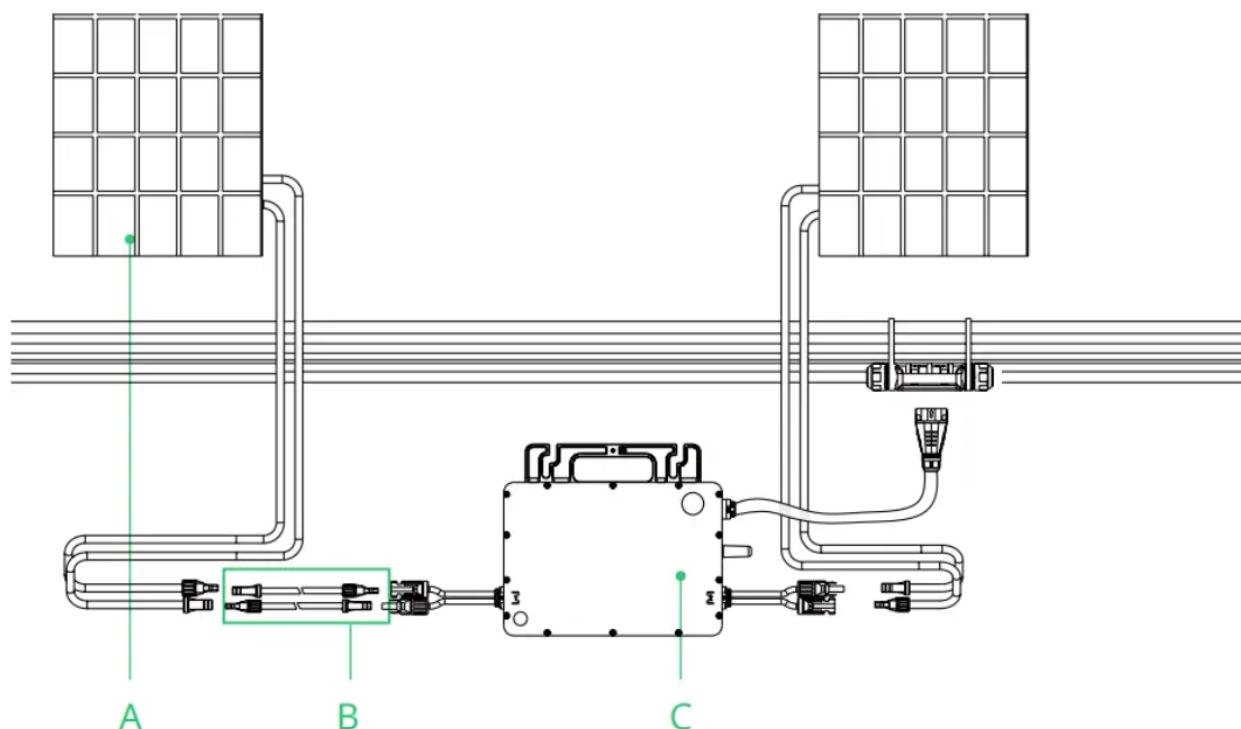


Рисунок 2.3 – Схема приєднання мікроінвертора Noomiles HMS-1000:
 А – Фотоелектрична панель; В – подовжувач кабелю; С - мікроінвертор

Завдяки тому, що передача енергії здійснюється високовольтним кабелем змінного струму, забезпечуються мінімальні втрати електроенергії, ці кабелі є дешевшими від солярних кабелів.

Вибраний мікроінвертор має вихідну потужність на рівні 1000 Вт, що узгоджується із вхідною від фотопанелей 1100 Вт.

Щодо другого варіанта фотоелектричної установки, то тут слід вибирати стрінговий інвертор. Хоча тут також можна реалізувати системи на базі мікроінверторів. Для таких цілей може підійти більш потужний інвертор типу Noomiles HMS-2250, який має чотири MPPT входи. Тобто тут треба було б застосувати два мікроінвертори Noomiles HMS-2250 і один Noomiles HMS-1000. Головною особливістю побудови сонячної електростанції на базі мікроінверторів є незалежна робота кожної панелі, які приєднані до них. Це дуже корисно в умовах, коли частина фотоелектричних панелей можуть, з різних причин, бути затіненими неоднаково. Але у такої системи є один недолік, який

може обмежити їх використання – це відсутність можливості редукції вихідної потужності. Ця опція є важливою у мережевих системах, оскільки, особливо у літній період, буде виникати ситуація, коли буде утворюватися надлишок електроенергії. Для таких цілей можна використовувати Ватт-роутери, або обмежувачі перетоків у електромережу.

Стрінгові інвертори малої потужності зазвичай мають вбудовану функцію редукції вихідної потужності, тому за таких умов, якщо немає передумов до часткового затінення окремих фотопанелей, більш доцільно застосовувати саме їх. Крім того, вартість стрінгових інверторів є нижчою від набору мікроінверторів.

Отже, можна розглянути варіант застосування стрінгового інвертора типу SUN-4K-G05P1-EU-AM2 фірми Deye (рис. 2.4). Причому, якщо проаналізувати параметри інверторів цього типу, то до нього можна приєднувати дещо більшу потужність фотопанелей. Наприклад, для даного інвертора допустимою потужністю поля PV є 6 кВт.



Рисунок 2.4 – Стрінговий інвертор типу SUN-4K-G05P1-EU-AM2 фірми Deye

За таких умов, для третього варіант, коли необхідно буде застосовувати 12 панелей, підійде інвертор типу SUN-4,6K-G05P1-EU-AM2 з вихідною потужністю 4,6 кВт. Він має аналогічну конструкцію, як і інвертор SUN-4K-G05P1-EU-AM2. Вони відрізняються лише вихідною потужністю та потужністю фотомасиву.

Схема приєднання для стрінгового інвертора також є доволі простою, як це показано на рис. 2.5.

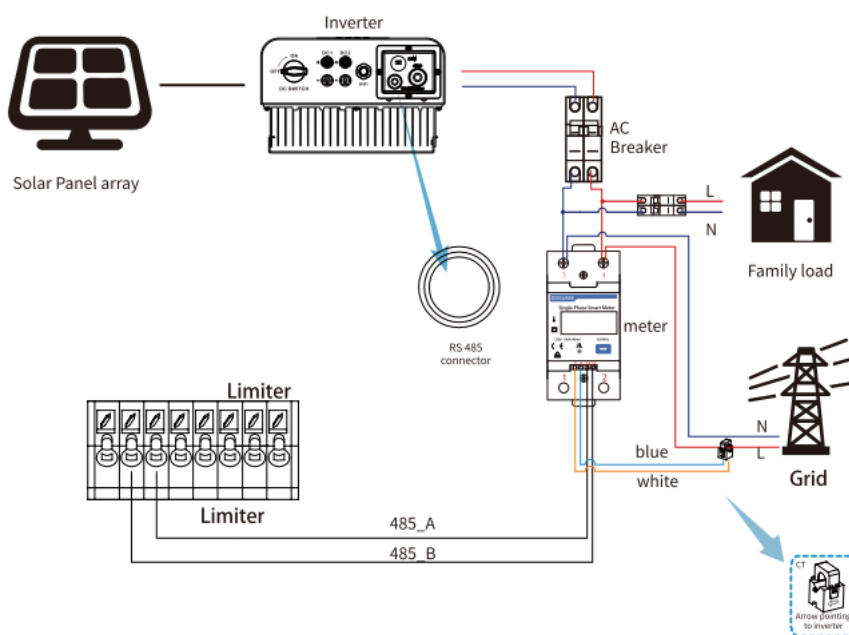


Рисунок 2.5 – Принципова схема приєднання стрінгового інвертора SUN-4,6K-G05P1-EU-AM2

За умови застосування додаткових компонентів, таких як смарт-лічильника типу EASTRON SDM230 та давача струму можна організувати нульовий експорт електроенергії до зовнішньої електромережі. Такий варіант використання фотоелектричної установки є цілком прийнятний. Щоправда тут режим використання електроенергії виробленої сонячною електростанцією відповідає режиму надходження сонячного випромінювання з врахуванням добової та сезонної нерівномірності. Тобто, тут немає можливості усунути часову неузгодженість генерування та споживання електроенергії.

РОЗДІЛ 3

ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

3.1 Обґрунтування потреби в оптимізації споживання електричної та теплової енергії

В традиційній системі електропостачання зазвичай можна підняти енергоефективність за рахунок використання енергоефективного обладнання, а також за рахунок оптимізації режиму його роботи. Наприклад, в системах освітлення одним із перших заходів є заміна джерел світла, або ж навіть світильників. Прикладом таких заходів є заміна ламп розжарювання на LED-лампи. В цьому випадку досягається суттєва економія витрати електроенергії, принаймні в два рази. Щодо оптимізації режиму споживання освітлювальних систем, то тут це можна реалізувати встановленням спеціальної апаратури керування, яка б вимикала освітлення в кімнатах, де нікого немає певний час, застосування таймерів на вимкнення після активації системи освітлення для сходових маршів тощо. Всі ці заходи та додаткові засоби звичайно дають відчутний результат у вигляді зниження рівня споживання електроенергії.

У випадку теплопостачання, яке реалізоване на базі електроапаратури, то тут першочерговими заходами є переведення системи на пріоритетне використання електроенергії в нічний період часу, коли, за умови оформлення нічного тарифу, вартість електроенергії є вдвічі нижчою від звичайного тарифу. В цьому випадку, додатковим інструментом енергоефективності є застосування теплових акумуляторів великого об'єму, які б дозволили накопичену енергію за період дії нічного тарифу віддавати впродовж періоду дії денного тарифу.

Наступним кроком у підвищенні рівня енергоефективності системи електропостачання є застосування власної генерації енергії за рахунок

використання обладнання відновлюваної енергетики, наприклад фотоелектричних установок. В цьому випадку, можна досягти певної автономності електропостачання, або ж значного зниження рівня споживання електроенергії з зовнішньої електромережі.

Застосування фотоелектричних установок може мати серйозний внесок у енергоефективність житлового будинку за рахунок оптимізованого режиму використання виробленої електроенергії. Це пов'язано з тим, що період активного генеруючої здатності у фотоелектричних установках є у світлий період доби, коли власне цієї електроенергії стільки й не потрібно. Динаміка споживання електричної енергії домогосподарствами свідчить, що є період інтенсивного використання електроенергії у ранковий та вечірні періоди. Саме в цей період сонячної активності немає. Тобто спостерігається суттєва невідповідність періодів генерації електроенергії та її споживання.

Це питання може бути вирішене за рахунок встановлення систем акумулювання енергії, як це робиться в сонячних теплових установках. Коли встановлюється бак-акумулятор певного об'єму, який приймає теплову від сонячних колекторів і накопичує в товщі води, а відбір теплої води здійснюється у довільний період дня за його потребою. Тому питання оптимізації споживання теплової та електричної енергії слід вирішувати із застосуванням технологій короткочасного та тривалого акумулювання електроенергії.

Отже, основним завданням в оптимізації споживання електричної і теплової енергії є пошук засобів, які б реалізувати удосконалений алгоритм комунікації засобів генерації, накопичення та споживання електричної енергії, і опосередковано теплової. Крім того важливим питанням є визначення параметрів системи акумулювання електричної енергії, що дозволило б більш раціонально використати систему генерації електроенергії та створити умови для безперебійного живлення технологічних потреб у житловому будинку. Тому перш за все, для вирішення оптимізаційної задачі слід здійснити визначення

раціональних параметрів системи акумулювання, яка адаптована до системи генерації електроенергії.

3.2 Обґрунтування структури та алгоритму роботи гібридної системи електропостачання

Отже, відповідно до загальної ідеї підвищення енергоощадності системи електропостачання житлового будинку, який крім загальних заходів енергозбереження, повинен бути обладнаний системою власної генерації електричної енергії. Причому, для часового узгодження режиму генерації та використання електричної енергії система генерації повинна працювати в парі з системою акумулювання електроенергії. Таким чином, за загальними ознаками система сонячної електрогенерації повинна працювати на засадах гібридної установки. Для таких цілей слід застосовувати гібридні інвертори та акумуляторні батареї. З врахуванням значних обсягів накопичення електричної енергії, а також потужності сонячної станції доцільно застосовувати сучасні акумуляторні батареї на LiFePo₄ комірках відповідної ємності. Питання визначення ємності акумуляторних батарей слід вирішувати з умов навантаження сонячної установки, а також обсягів споживання електроенергії.

Слід однак зауважити, що гібридні інвертори можуть працювати з акумуляторами певної напруги живлення. Малопотужні інвертори можуть співпрацювати з акумуляторами напругою 12, 24 і 48 В. Це так звані низьковольтні системи акумулювання. Також є клас гібридних інверторів, які вимагають високовольтних акумуляторів, щоправда вони вже є великої потужності, і тому нами розглядатися не будуть.

На наш погляд, оптимальним варіантом для першого варіанта навантаження буде використання гібридного інвертора типу SUN-3K-SG04LP1-EU-SM1/2 фірми Deue (рис. 3.1). Зважаючи на номінальну потужність 3 кВт цілком можливим є використання низьковольтного акумулятора з напругою

24 В. Однак, в цьому випадку слід використовувати переріз кабелів приєднання акумуляторів до інвертора з перерізом не менше 25 мм². Тому, очевидно, що більш раціональним варіантом буде перехід на вищу напругу у 48 В, а для батарей LiFePo4 це буде напруга 52 В. В цьому випадку за такої потужності максимальна величина струму буде становити 58 А. Тобто тут можна використовувати суттєво менший переріз кабелю.



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд гібридного інвертора
SUN-3K-SG04LP1-EU-SM1/2 фірми Deye

Треба також врахувати те, що оригінальні батареї даної фірми мають мінімальну ємність у 5 кВт·год. Тобто, для забезпечення певної ємності слід буде використовувати батареї з кратністю зростання ємності у 5 кВт·год.

Для інших варіантів навантаження можна використати гібридні інвертори типу SUN-3.6K-SG04LP1-EU-SM2 з потужністю 3,6 кВт. Зважаючи на значно

більшу витрату електроенергії, а також на потужність системи нагріву води для опалення доцільно застосувати інвертор типу SUN-6K-SG04LP1-EU-SM2 з потужністю 6 кВт.

Електрична схема приєднання такого інвертора до внутрішньої електромережі подана на рис. 3.2.

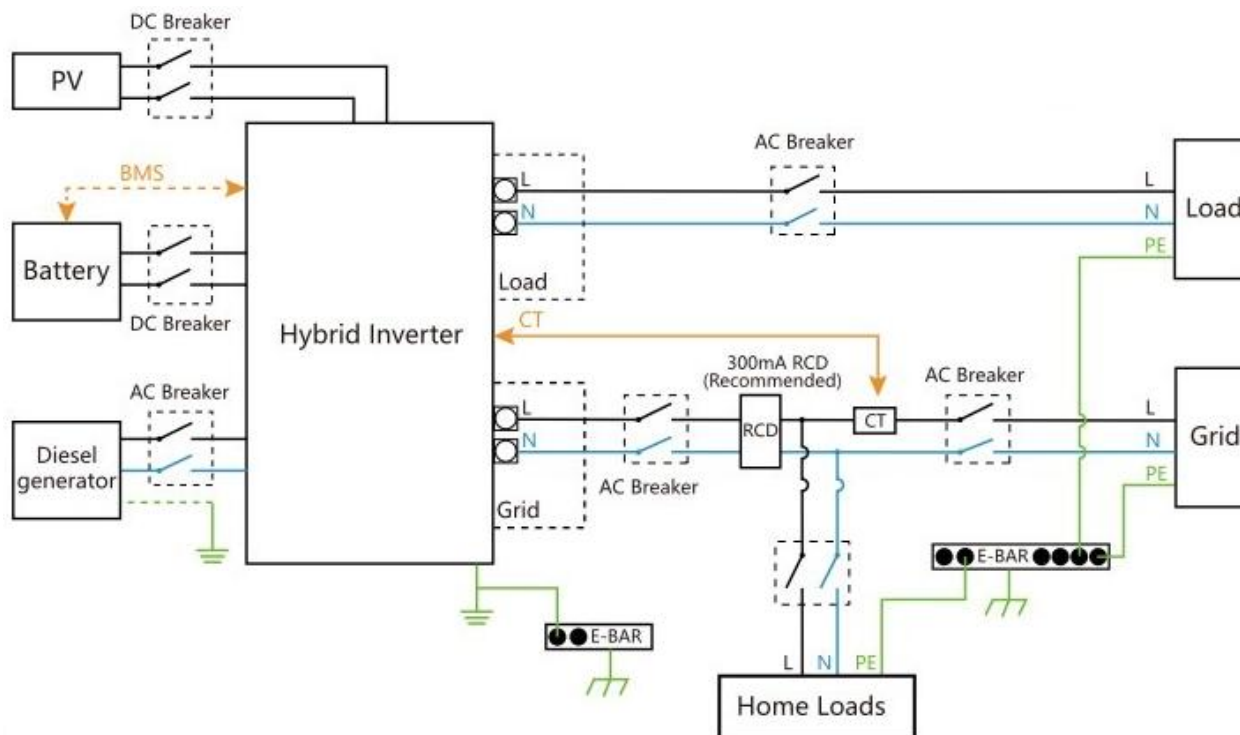


Рисунок 3.2 – Електрична схема з'єднань гібридного інвертора SUN-3K-SG04LP1-EU-SM1/2 (SUN-6K-SG04LP1-EU-SM1/2) фірми Deye

Як видно з рис. 3.2, для обмеження експорту надлишку електроенергії до зовнішньої електромережі застосовано давач струму СТ. Тут слід звернути увагу на два режими використання виходу з інвертора, які можна виставити програмно у меню інвертора.

Перший варіант приєднання споживачів є до входів "Grid". Цей режим відповідає точці приєднання, яка позначена як "Home Loads". В цьому випадку обов'язковим є використання давача струму СТ.

Другий варіант приєднання споживачів є через вихідний термінал "Load". В цьому випадку інвертор контролює живить споживачів, які приєднані до

лінії Load. Цей режим забезпечує живлення цих споживачів не тільки в нормальних умовах приєднання, а й у випадку відсутності електроенергії на вході інвертора. В такому випадку, за відсутності електроенергії в зовнішній електромережі споживачі, які приєднані до лінії Load будуть мати живлення, а всі інші – не будуть.

На рис. 3.3, показано живлення будинку за схемою Load за відсутності живлення від фотоелектричних панелей.

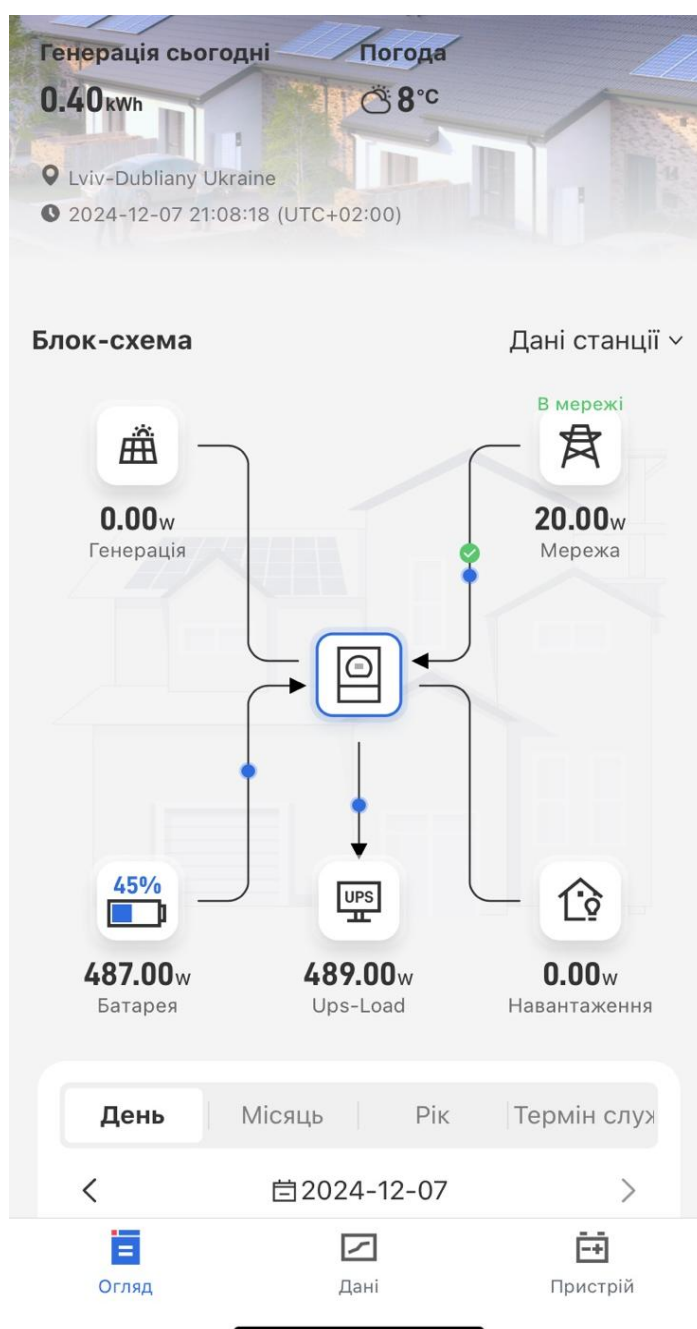


Рисунок 3.3 – Схема живлення споживачів по лінії Load

Цей режим відповідає вибору меню "Zero Export To Load", як це показано на рис. 3.4.



Рисунок 3.4 - Налаштування в меню інвертора нульового експорту по лінії Load "Zero Export To Load"

Якщо налаштувати меню на "Zero Export To CT" (рис. 3.5), то живлення отримають також споживачі, які приєднані до лінії "Home Loads" (рис. 3.6). В цьому випадку також не буде експорту електроенергії до зовнішньої електромережі, але на батарею буде збільшене навантаження. Тобто, батарея буде живити не лише важливі споживачі, які приєднані до лінії Load, а й всі інші. В режимі відсутності живлення в електромережі цей режим роботи буде нераціональним, оскільки буде швидко розряджатися акумуляторна батарея.

Тут потрібно внести ще одну ясність у режим роботи даного гібридного інвертора, який крім паралельного живлення споживачів забезпечує ще одну важливу функцію – аварійне живлення важливих споживачів.



Рисунок 3.5 – Налаштування в меню інвертора нульового експорту до зовнішньої електромережі по лінії Grid "Zero Export To CT"

Таким чином, за наявності блек-аутів споживачі, які приєднані до виходу Load завжди будуть мати живлення, на відміну від споживачів, які приєднані до лінії Grid. В цьому є певна особливість у налаштуванні споживаної потужності для живлення будинку в умовах відсутності електроенергії в зовнішній електромережі.

Слід зауважити, що у режимі "Zero Export To Load" розряд акумуляторної батареї здійснюється повільніше, оскільки не всі споживачі приєднані до неї.

З одного боку, цей режим є добрим, оскільки дозволяє жити споживачів достатньо довго, відповідно до ємності акумуляторів. За наявності сонячного випромінювання, рівень якого недостатньо для живлення споживачів, нестачу електричної потужності компенсує батарея.

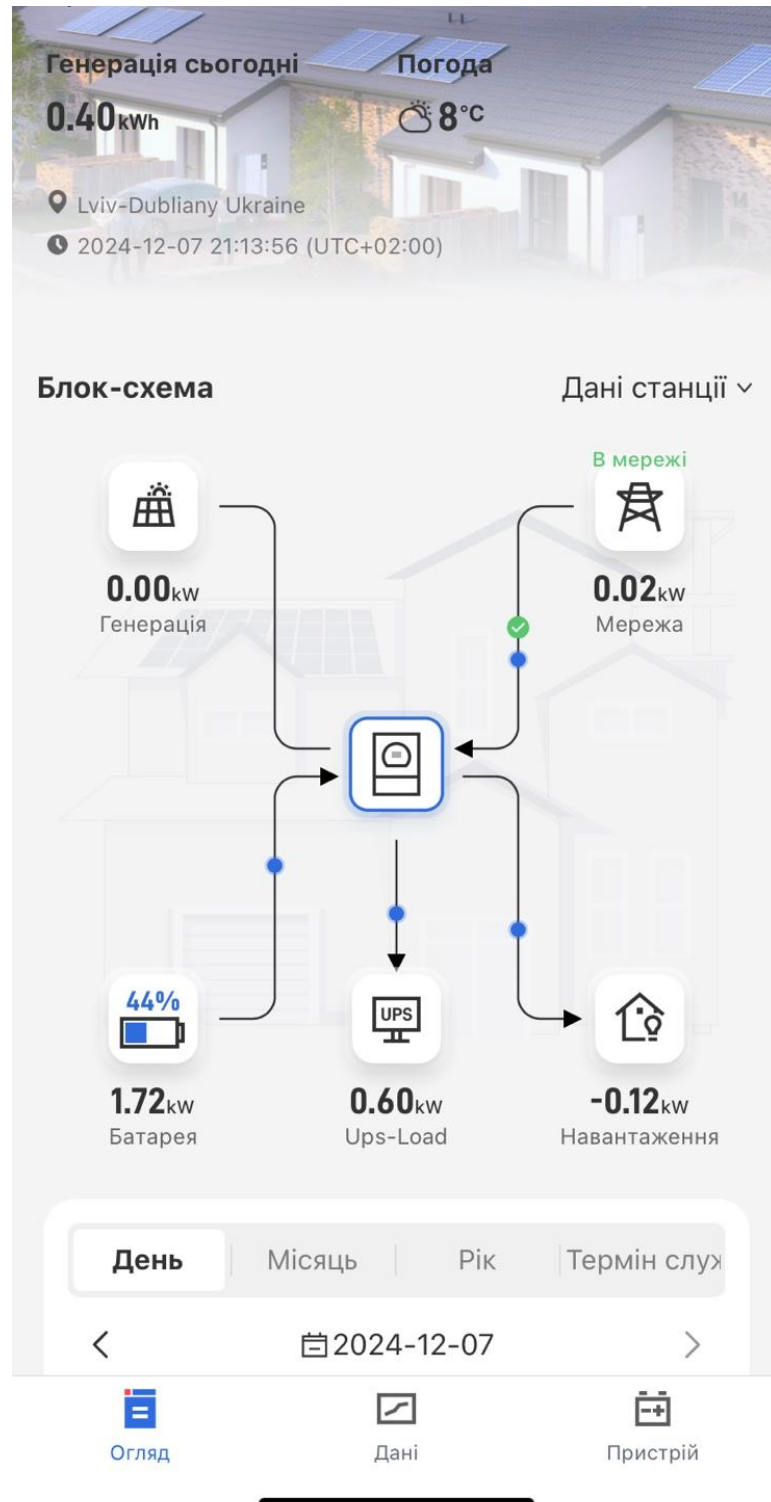


Рисунок 3.6 - Схема живлення споживачів по лінії Load та Навантаження

У випадку перевищення потужності електрогенерації від фотопанелей, здійснюється живлення споживачів, а також зарядка акумуляторів. Однак, у

випадку нормативного рівня заряду акумуляторів інвертор знизить потужність генерації до рівня лише споживання по лінії Load.

Якщо ж в меню інвертора вибрати режим "Zero Export To CT", то за наявності сонячного випромінювання буде здійснюватися живлення споживачів по лінії Load, зарядка акумулятора, а також живлення споживачів по лінії Grid. В цьому випадку за достатньої потужності більш якісно використовується потенціал сонячного випромінювання. Однак, цей режим має недолік, який полягає у тому, що у випадку нестачі сонячного випромінювання для живлення всіх споживачів, живлення споживачів по лінії Grid буде відбуватися з акумуляторної батареї, яка буде, очевидно, швидше розряджатися.

Однією із особливостей даного інвертора є те, що зміна режиму заборони експорту можлива лише в ручному режимі на дисплеї інвертора. Ні в мобільному додатку "Deue Cloud", ні в, аналогічній назві, комп'ютерному варіанті програми неможливо здійснити перемикання режиму нульового експорту. Цей недолік можна усунути додаванням до програмного забезпечення опції "Priority Zero Export To Load". В цьому випадку необхідно аналізувати потужність генерації електроенергії сонячною установкою, і у випадку її достатньої величини активувати режим "Zero Export To CT", щоб якомога більше споживачів отримували живлення. У випадку зниження потужності генерації необхідно перейти до режиму "Zero Export To Load", що знизить навантаження на батарею.

За стабільного електропостачання цей режим не є поганим, оскільки дозволяє жити більшу кількість споживачів. Однак, в умовах нерегулярних блек-аутів необхідно підтримувати максимально високий рівень зарядженості акумуляторної батареї. Тому, цей режим є не зовсім оптимальним для максимальної реалізації потенціалу сонячної установки, яка приєднана до інвертора.

3.3 Визначення оптимального розміру сонячної електростанції

Для оцінки відповідності сонячної електростанції різної потужності потребам індивідуального будинку необхідно побудувати енергетичні баланси (рис. 3.7-3.9), які дозволить зрозуміти яка із них не є перспективною до використання.

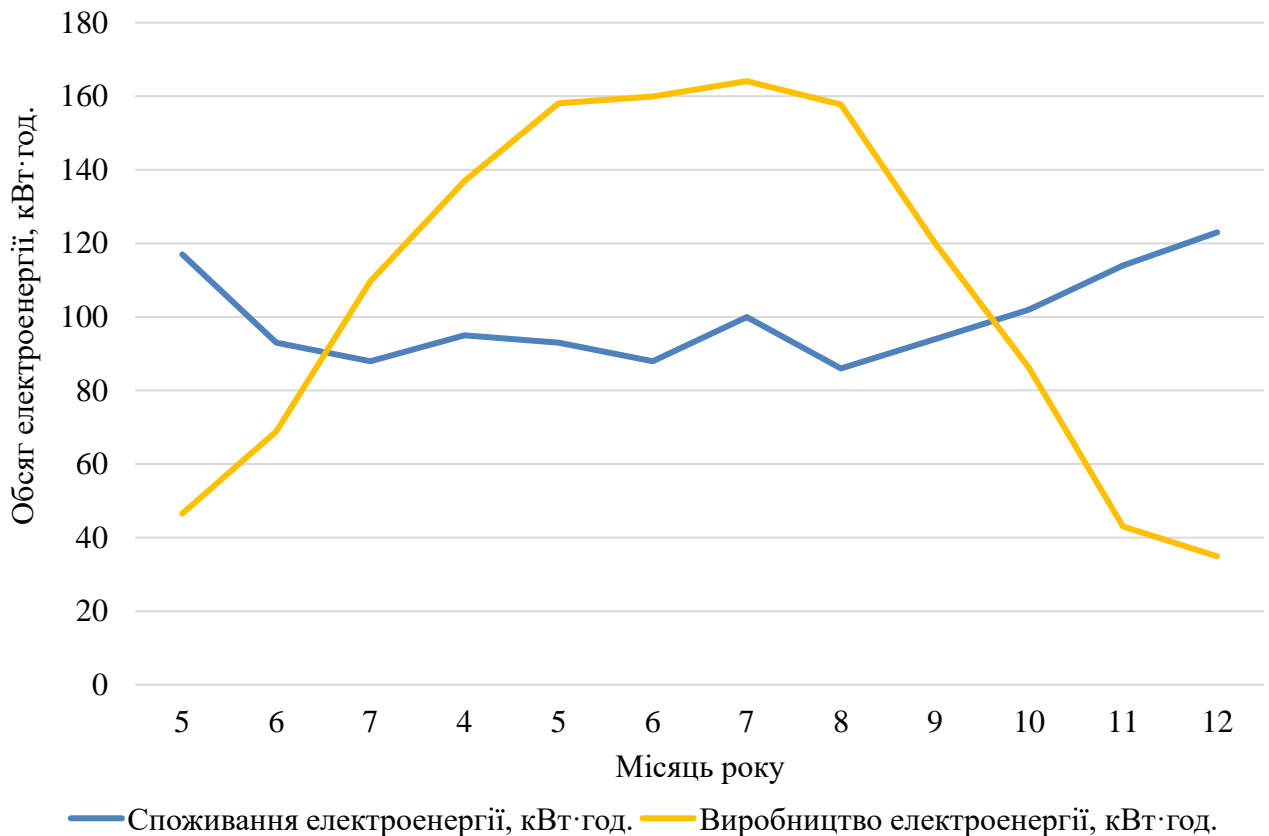


Рисунок 3.7 – Енергетичний баланс сонячної електростанції для живлення електроприладів

Як видно з рис. 3.7, при річному балансі електроенергії є суттєві відмінності у режимах роботи сонячної станції в літній і зимовий періоди. В літній період спостерігається значний надлишок виробленої електроенергії за загальним зниженим рівнем споживання. В той же час, в зимовий період, коли споживання дещо зросло відбувається зворотне зменшення виробництва електроенергії сонячною електростанцією.

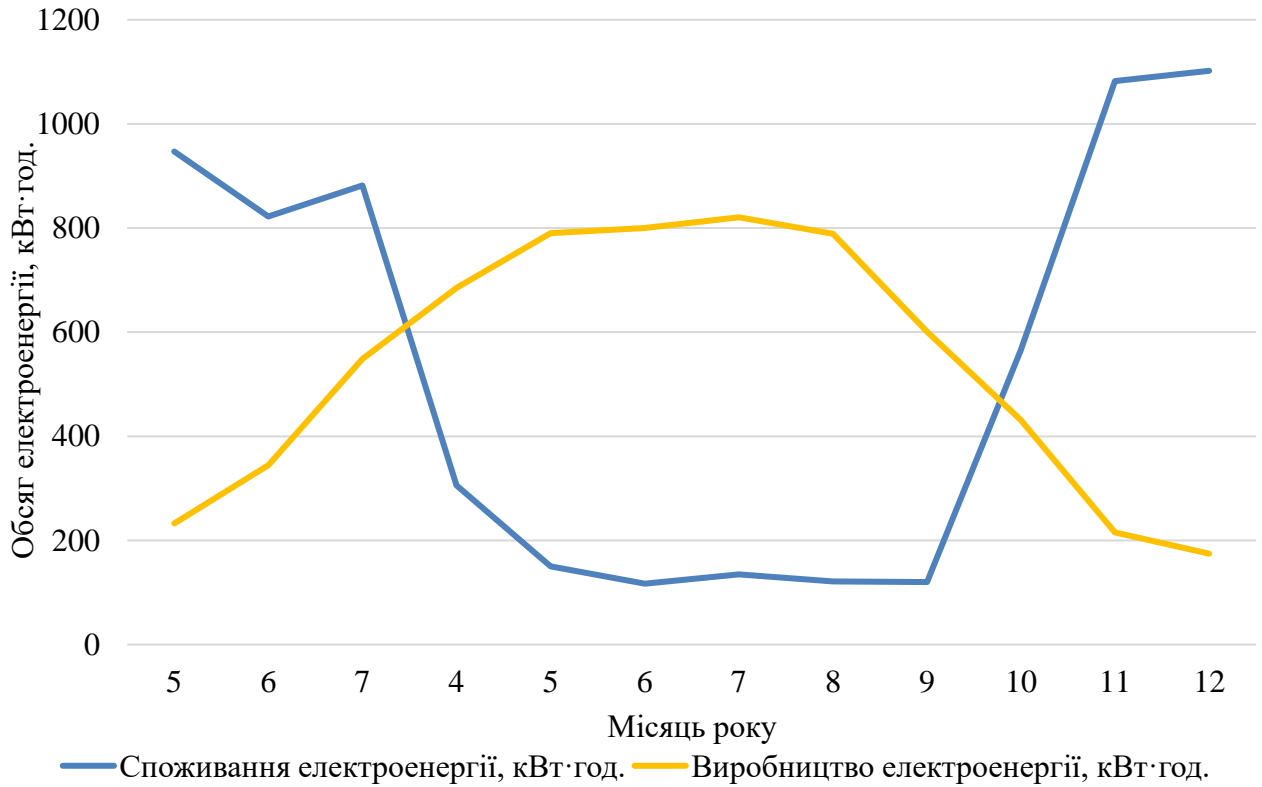


Рисунок 3.8 – Енергетичний баланс сонячної електростанції для живлення системи опалення і гарячого водопостачання

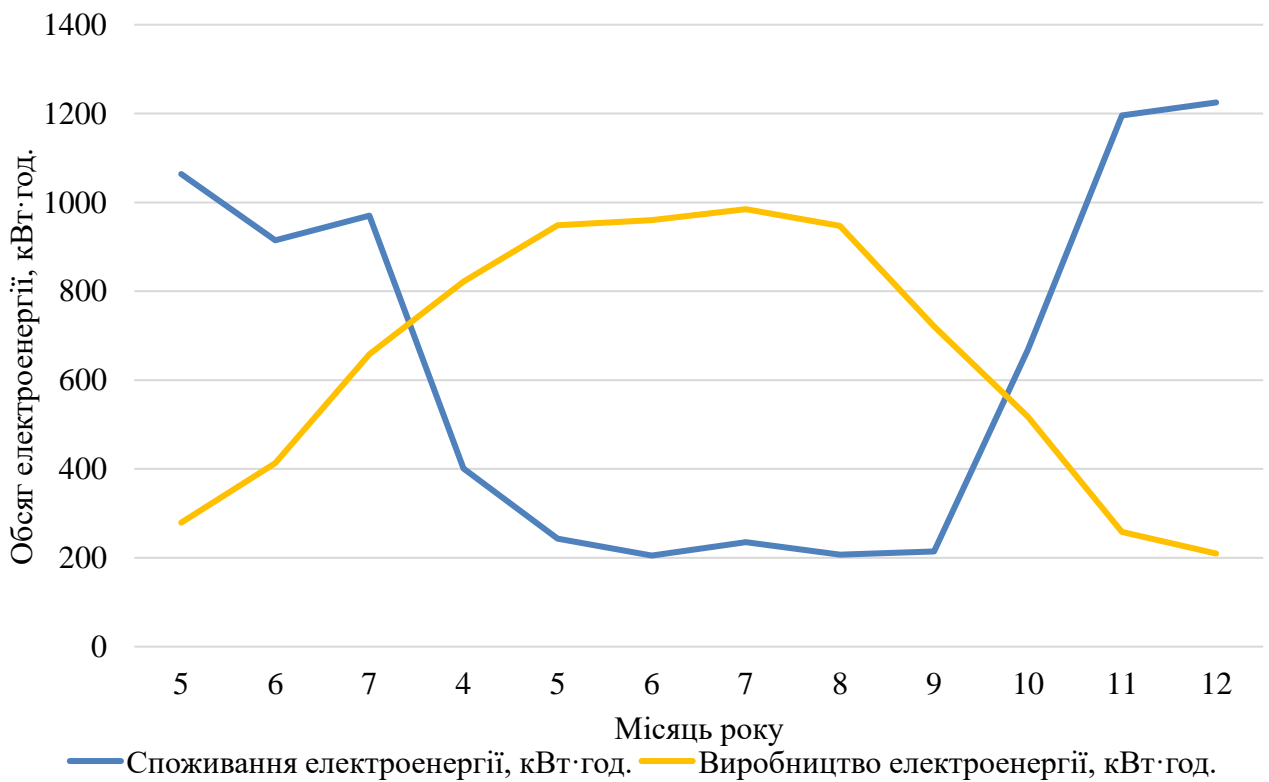


Рисунок 3.9 – Енергетичний баланс сонячної електростанції для живлення електроприладів та опалення і гарячого водопостачання

Аналогічна ситуація спостерігається і у випадку живлення системи опалення, а також живлення всіх енергетичних потреб (див. рис. 3.8 і рис. 3.9). Причому у випадку застосування живлення для системи опалення та гарячого водопостачання спостерігається різка зміна споживання в зимовий період, що спричинює ще більший розбаланс системи.

Так, у випадку живлення тільки електроприладів максимальне значення нестачі електроенергії становить лише 88,08 кВт·год., в той час як для живлення тільки системи опалення та гарячого водопостачання 927,14 кВт·год., а для живлення всіх потреб нестача доходить до 1015 кВт·год.

Цей розбаланс є доволі суттєвий, і він у першому випадку становить 20,94%, у другому і третьому – 53,71 і 47,96 %, відповідно. За цим показником, можливо перший варіант навантаження є кращим, але тут є певна незбалансованість системи по інвертору, який є втричі більшим від потужності фотоелектричних панелей. Незважаючи на значний рівень невідповідності, більш оптимальним варіантом системи є третій варіант, коли сонячна електростанція буде живити всі енергетичні потреби. Таким чином сонячна електростанція буде компенсувати трохи більше половини всіх енергетичних потреб, що також є добрим результатом, враховуючи обсяг споживання електроенергії.

З точки зору якісного навантаження інвертора, доцільно також розглянути варіант з повнорозмірного укомплектування сонячної станції фотоелектричними панелями. В такому випадку за допустимого рівня вхідної потужності у 9 кВт, на вхід в інвертор можна приєднати 16 фотопанелей. Тоді вхідна потужність становитиме 8,8 кВт, а енергетичний баланс покращиться до рівня заміщення 64 % (рис.3.10). Це більш як прийнятний варіант, оскільки тут додаються лише 4 фотопанелі. Всі інші структурні елементи залишаються без змін. Тобто, тут ми більш повно можемо реалізувати потенціал інвертора з мінімальними додатковими вкладеннями.

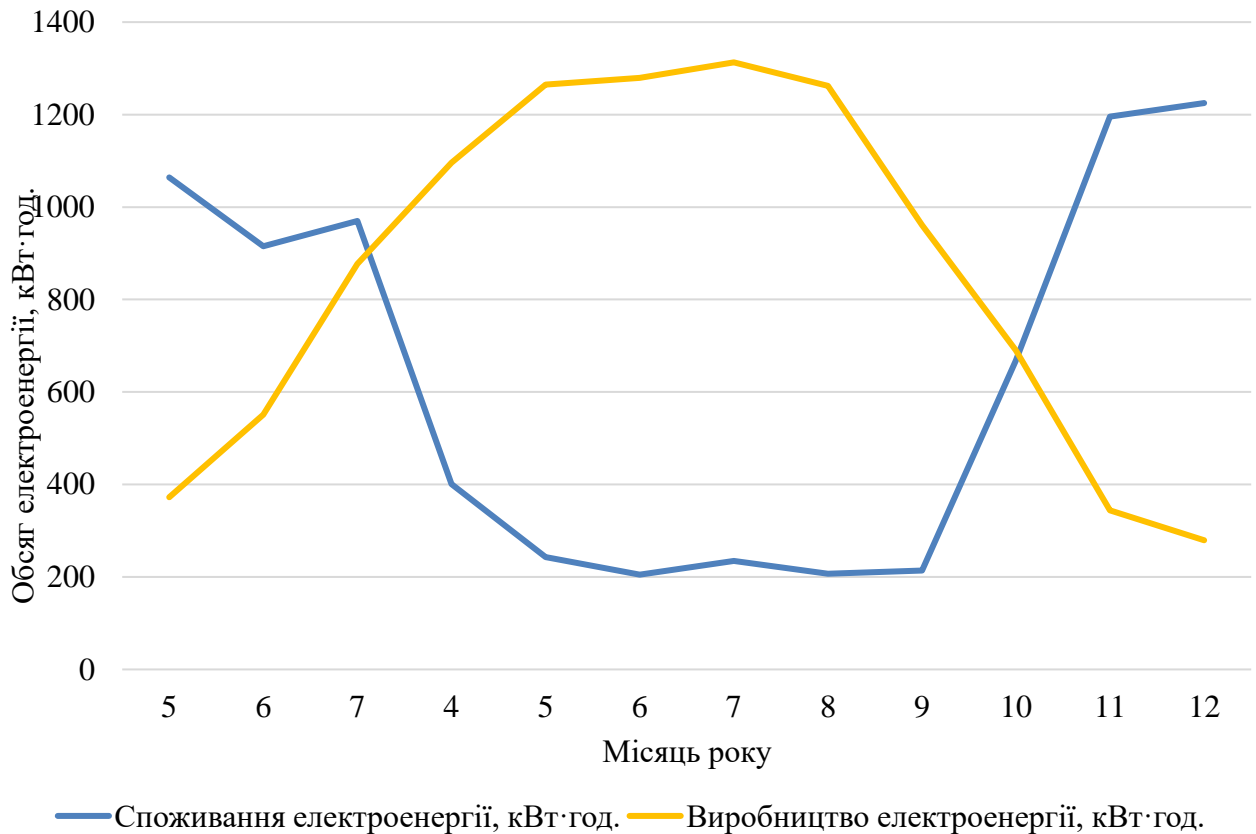


Рисунок 3.10 – Енергетичний баланс сонячної електростанції для живлення електроприладів та опалення і гарячого водопостачання з оптимізованою кількістю фотопанелей

Ще одним інструментом оптимального використання теплової та електричної енергії є використання акумулювання енергії. Зокрема, при використанні гібридного інвертора є можливість частину електроенергії, яка виробляється і не може безпосередньо використатися в світлий період часу передати до акумулятора, і спожити її у темний період часу. Крім того, додатковою опцією використання акумулятора є, за відсутності сонячного випромінювання взимку, скористатися пільговим нічним тарифом. Тобто, у нічний період з 23.00 до 7.00 год. Здійснювати зарядку акумулятора, а далі впродовж світлого періоду його розряджати. В цей період йому частково буде допомагати сонячна електростанція, яка знизить розрядний струм акумулятора, тобто він буде розряджатися більш повільно.

Акумулятор слід підбирати відповідно до обсягів споживання електроенергії, періоду часу його примусової зарядки в нічний період часу, а також можливості реалізувати енергію від сонячної електростанції.

Баланс акумулятора, який живить весь обсяг споживання матиме вигляд як

$$\overline{\Delta E_{AKB}}(n) = \eta_{MPPT} \overline{E_{PV}}(n) - \frac{1}{\eta_{ИНВ}} \overline{E_{НАВ}}(n), \quad (3.1)$$

де $\overline{\Delta E_{AKB}}(n)$ - енергія, накопичена в акумуляторі, кВт·год.; η_{MPPT} - коефіцієнт корисної дії MPPT контролера заряду акумуляторних батарей у гібридному інверторі, %; $\overline{E_{PV}}(n)$ - енергія, вироблена сонячною станцією, кВт·год.; $\eta_{ИНВ}$ - коефіцієнт корисної дії гібридного інвертора, %; $\overline{E_{НАВ}}(n)$ - енергія споживання будинком, кВт·год.

Згідно з розрахунками максимальне добове споживання в будинку в зимовий період часу становить в грудні 40,83 кВт·год. При тому, що виробництво електроенергії становить в цей час всього 9,31 кВт·год. Однак, в інші зимові місяці загальне споживання становить близько 30 кВт·год., що можна вважати більш раціональним для вибору значення для ємності акумуляторної батареї. Отже, більш доцільним є вибір ємності акумуляторної батареї не на максимальну витрату електроенергії, а на найбільш часто виникаючу. Літній період до розрахунків брати недоцільно через надмірну продуктивність сонячної установки та різке зниження рівня споживання електроенергії. Також можна вважати раціональною ємністю акумуляторних батарей 20 кВт·год., що відповідає середньому значенню за цілорічний період. Отже, в розділі ефективності запропонованих рішень слід розглянути економічні показники фотоелектричної установки різної потужності з відповідними інверторами, обсягами купівлі електроенергії в нічний період часу, а також варіант зі збільшеною кількістю фотопанелей для оптимального навантаження гібридного інвертора.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Структурно-функціональний аналіз технологічного процесу

4.1.1 Аналіз технологічного процесу енергопостачання приватного будинку

Комфортне проживання в приватному будинку забезпечується завдяки системам тепло- та електропостачання. Як правило, електроенергія надходить від зовнішньої електромережі. Для підвищення надійності електропостачання доцільно використовувати альтернативні джерела енергії, зокрема сонячні фотоелектричні установки, які можуть працювати автономно або в поєднанні із зовнішньою мережею.

Впровадженню відновлюваних джерел енергії має передувати зниження рівня споживання електроенергії в приватному будинку. Цього можна досягти шляхом переходу на енергоощадне електрообладнання.

Експлуатація сонячної фотоелектричної установки може супроводжуватися небезпечними чинниками, які за недотримання правил техніки безпеки можуть становити загрозу життю та здоров'ю мешканців будинку.

Під час експлуатації сонячної фотоелектричної установки можуть виникати такі небезпечні чинники, як механічний, тепловий та ураження електричним струмом.

Механічні чинники пов'язані з технічними засобами, зокрема з фотоелектричними панелями, закріпленими на даху будинку. Для запобігання небезпеці необхідно облаштовувати небезпечні зони захисними огороженнями та спеціальними пристроями.

Теплові чинники виникають унаслідок нагрівання рамної конструкції фотопанелей під впливом сонячної радіації. Це може призвести до теплових опіків під час обслуговування установки, особливо в сонячні дні.

Чинник ураження електричним струмом виникає через несправності в електричній системі або неправильну експлуатацію електричних пристроїв, таких як інвертор. Для мінімізації ризику необхідно своєчасно перевіряти стан електрообладнання, а також контролювати справність 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.

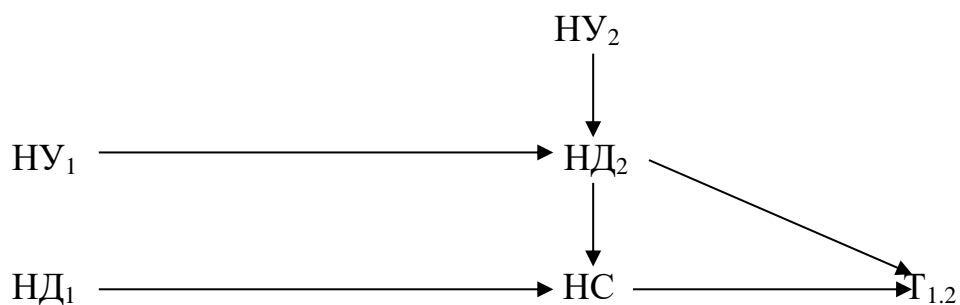


Рисунок 4.1 – Модель виникнення травми при виконанні монтажу сонячної фотоелектричної установки

4.2 Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій стосовно безпечного перебігу виробничого процесу

Щоб запобігти нещасним випадкам під час експлуатації електрообладнання, кожен мешканець будинку повинен знати та дотримуватися вимог техніки безпеки, а також виконувати протипожежні заходи.

До обслуговування фотоелектричних станцій допускаються особи, які досягли 18-річного віку, незалежно від статі, мають середню або середньотехнічну освіту, пройшли ввідний інструктаж та первинний інструктаж на робочому місці, а також успішно склали іспит на знання з охорони праці.

Перед монтажем і введенням сонячної фотоелектричної станції в експлуатацію необхідно переконатися у відсутності небезпечних ситуацій. У разі виявлення несправностей запуск установки заборонено до повного їх усунення.

Слід обов'язково перевірити справність таких елементів, як: струмоведучі частини електрообладнання, заземлюючі пристрої, кнопки аварійної зупинки та попереджувальні звукові сигнали.

Роботи, пов'язані з оглядом, очищенням та ремонтом елементів сонячної фотоелектричної станції, виконуються із попереднім зняттям напруги з групової мережі.

Під час таких робіт необхідно: відключити мережу та вжити заходів для запобігання подачі напруги до місця роботи внаслідок помилкового або

мимовільного ввімкнення комутаційної апаратури; перевірити відсутність напруги на струмоведучих частинах, на які буде накладено заземлення для захисту працівників від ураження електричним струмом; виконати заземлення струмоведучих частин.

Обслуговування сонячної фотоелектричної станції повинно здійснюватися щонайменше двома працівниками. Один із них повинен мати групу з електробезпеки не нижче III. Один працівник безпосередньо виконує обслуговування, а інший контролює дотримання ним правил безпеки. Для проведення цих робіт ремонтному персоналу видається наряд-допуск.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Актуальність забезпечення природно-техногенної безпеки населення та ролі цивільного захисту від наслідків надзвичайних ситуацій постійно зростає.

На території об'єкта та прилеглих ділянках розташовані потенційно небезпечні об'єкти техногенного та природного походження. Серед них – лінії електропередач, пошкодження яких може загрожувати життю людей, та зелені насадження, які влітку можуть займатися через недбале поводження з вогнем, спричиняючи пожежі.

Для виконання завдань цивільного захисту створені такі служби: служба оповіщення та зв'язку – інформує керівний склад, працівників і населення про загрозу та виникнення надзвичайних ситуацій; медична служба – забезпечує готовність медичних формувань до ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій; служба охорони порядку – підтримує громадський порядок у зоні надзвичайних ситуацій; аварійно-технічна служба – підвищує стійкість інженерних споруд, розбирає завали, локалізує та ліквідує аварії на комунальних об'єктах; служба матеріально-технічного постачання – своєчасно забезпечує служби цивільної оборони необхідними ресурсами.

РОЗДІЛ 5

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

Як було вказано раніше, тільки за даними рівня заміщення електропостачання житлового будинку складно виявити оптимальний варіант, тим більше, що кожен із варіантів має свою особливість та ефективність.

Перш за все, необхідно в'яснити, яку кількість електричної енергії буде зекономлено за рахунок застосування сонячної електростанції, і яка буде вартість цієї електроенергії. На другому етапі слід визначити власне вартість самої сонячної електростанції, яка повинна забезпечити виробництво необхідного обсягу електроенергії. На третьому етапі слід визначити обсяг електроенергії, який необхідно постачати з зовнішньої електромережі за нічним тарифом, що також може позитивно вплинути на загальну ефективність системи електропостачання.

Для оцінки обсягів електроенергії, яку необхідно купити в нічний період часу скористаємося добовим балансом енергетичної системи на базі фотоелектричної установки (рис. 5.1).

Як видно з рис. 5.1, в світлий період часу за рахунок певної генерації електроенергії можна досягнути цілком прийнятних результатів. Так, загалом впродовж доби було необхідно спожити 38,55 кВт·год. електроенергії. В той же час в світлий період доби було вироблено 17,15 кВт·год. електроенергії. Таким чином, добова нестача становила 21,4 кВт·год. електроенергії. За умови застосування системи акумулювання, яка має ємність 30 кВт·год. всю електроенергію можна придбати у нічний період часу, і його віддавати протягом доби. Тобто, розрахунок, який проведено для грудня місяця, що найменш сприятливий для сонячної електроенергетики, свідчить, що весь обсяг нестачі електроенергії можна отримувати з мережі за нічним тарифом. Загалом в річному циклі повна нестача становить 2945,36 кВт·год. електроенергії.

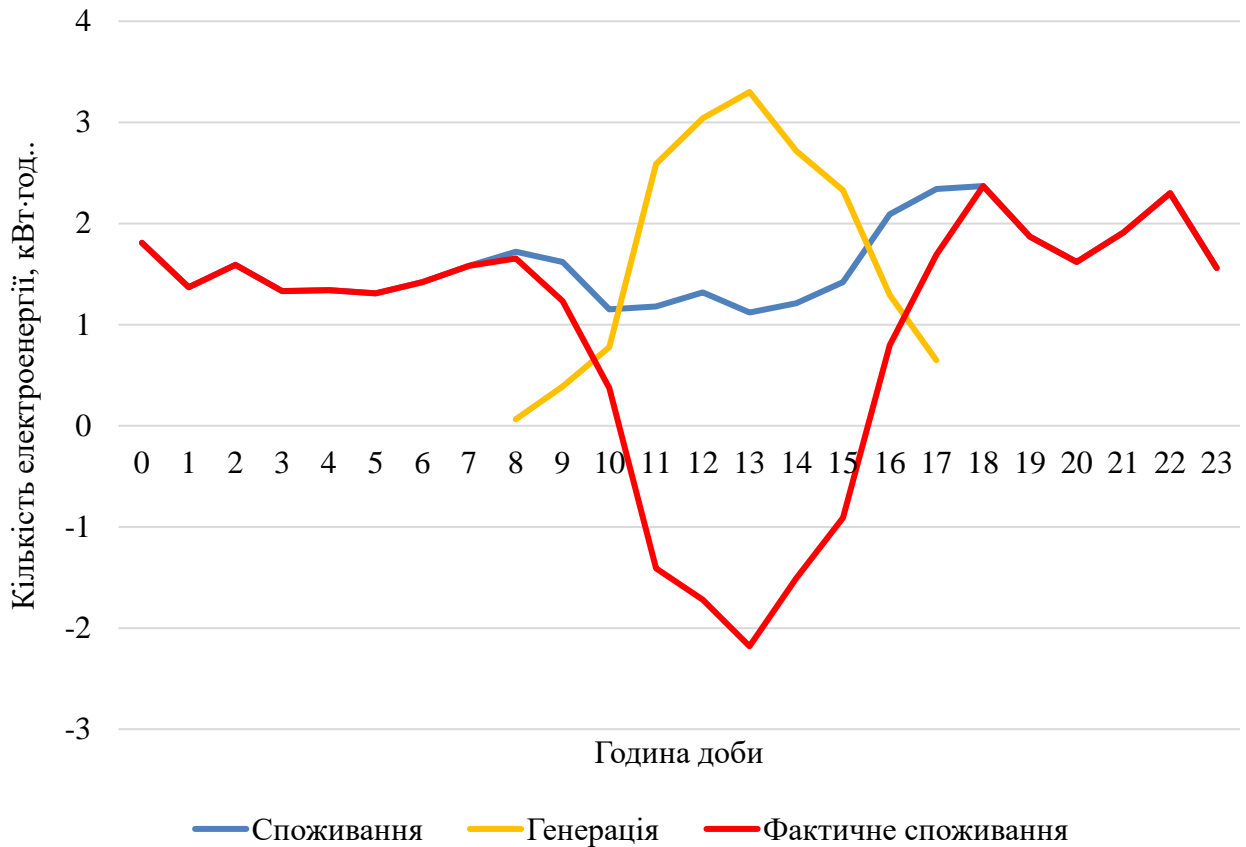


Рисунок 5.1 – Добовий баланс системи електропостачання житлового будинку за використанням гібридної фотоелектричної установки

Таким чином, можна визначити вартість використаної електроенергії з електромережі за формулою

$$V_{елн} = K_n \cdot C_{ел} \cdot Q_{ел}, \quad (5.1)$$

де K_n – коефіцієнт пониження вартості електроенергії для нічного тарифу; $C_{ел}$ – ціна електроенергії, грн/кВт·год.; $Q_{ел}$ – обсяг електроенергії, яку необхідно постачати з зовнішньої електромережі, кВт·год.

Отже, отримаємо

$$V_{елн} = 0,5 \cdot 4,32 \cdot 2649,36 = 5723 \text{ грн.}$$

Тепер визначимо вартість сонячної електростанції. Для цього складемо перелік компонентів, з яких вона складається та їх вартості (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Компоненти сонячної фотоелектричної установки

Назва та марка виробу	Кількість	Ціна, грн.	Вартість, грн.
Фотоелектрична панель Solarpro MONO 550	16	5300	84800
Інвертор SUN-6K-SG04LP1-EU-SM2	1	42000	42000
Акумуляторна батарея Deye SE-G5.1Pro LiFePO4	4	44000	176000
Засоби кріплення фотопанелей (комплект)	16	680	10880
Кабелі, м.п.	40	64	2560
Щит захисту DC	1	6600	6600
Щит захисту AC	1	4840	4840
ВСЬОГО			327680

Як видно з табл. 5.1, загальна вартість сонячної електростанції становить 327680 грн. Вона дозволяє забезпечити часткове живлення споживачів впродовж року, а також знизити завантаженість в піковий період доби.

За умови загального обсягу споживання електроенергії, яка становить 7543 кВт-год. її вартість буде рівною 32586 грн.

Тоді можемо визначити економічну доцільність застосування сонячної електростанції визначивши термін окупності капіталовкладень за формулою

$$T_{ок} = \frac{Z_{се}}{E_{ел}}, \quad (5.2)$$

де $Z_{се}$ – затрати на спорудження сонячної електростанції, грн.; $E_{ел}$ – економія коштів за рахунок встановлення сонячної електростанції, грн.

Отже, отримаємо

$$T_{ок} = \frac{327680}{32586} = 10,06 \text{ років.}$$

Отже, за умови незмінності тарифу на електроенергію, термін окупності капіталовкладень становитиме 10 років. За умови терміну експлуатації сонячної станції протягом 25 років, цей термін окупності можна вважати цілком прийнятним.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Якісне електропостачання житлових об'єктів може забезпечуватися не лише через традиційну електромережу, а й шляхом комбінованого використання різних енергетичних ресурсів, зокрема відновлюваних джерел енергії. У роботі досліджено можливість впровадження комплексної системи електропостачання житлового об'єкта із застосуванням сонячних фотоелектричних панелей та підключення до зовнішньої електромережі. Для досягнення цієї мети було проведено аналіз споживання електроенергії в будинку, оцінено потенціал сонячного випромінювання та обґрунтовано актуальність обраної теми кваліфікаційної роботи.

На основі даних про середньомісячне споживання електроенергії, отриманих із платіжних відомостей, було оцінено середньоденне та загальне споживання електроенергії. Це дозволило розробити раціональну структуру системи комплексного електрозабезпечення об'єкта, що поєднує традиційну електромережу та альтернативне джерело енергії — сонячну фотоелектричну станцію. Відповідно до розробленої структурної схеми системи електропостачання визначено основні параметри та підібрано необхідні елементи для сонячної фотоелектричної установки.

Відповідно до розробленої структури системи комплексного енергозабезпечення житлового об'єкта проведено аналіз та обґрунтовано необхідність створення такої системи. Зокрема, було визначено доцільність поєднання традиційної електромережі із сонячною фотоелектричною установкою для підвищення енергоефективності, зниження витрат на електроенергію та забезпечення енергетичної автономності об'єкта.

Здійснено удосконалення структурної схеми сонячної фотоелектричної установки, алгоритму роботи гібридного інвертора, який би дав змогу підвищити рівень використання генерованої електроенергії.

Для аналізу доцільності побудови сонячної електростанції для живлення досліджуваного об'єкта побудовано енергетичні баланси системи, які також будуть інструментом для обґрунтування ефективності застосування такої системи в житловому будинку.

Проаналізовано умови праці та розроблено заходи для забезпечення безпеки під час монтажу та експлуатації систем електропостачання житлових об'єктів. Основну увагу приділено запобіганню ураженню електричним струмом, дотриманню вимог пожежної безпеки та забезпеченню захисту від перенапруг. Запропоновані заходи включають використання засобів індивідуального захисту, контроль за станом електрообладнання, а також дотримання нормативних вимог та інструкцій з охорони праці.

Здійснено оцінку ефективності запровадження гібридної сонячної електростанції в умовах приватного домогосподарства. Зокрема, за рахунок використання власної генерації електроенергії, встановлення системи акумулювання, максимального використання нічного тарифу на електричну енергію можна досягнути високого рівня ефективності. Зокрема, термін окупності капіталовкладень становить 10 років, що для таких енергетичних систем є доволі непоганим результатом.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Gronowicz J. Niekonwencjonalne źródła energii. Radom-Poznań: Wydawnictwo ITE-PIB, 2008. 254 p.
2. Luque A., Hegedus S. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. San Francisco: John Wiley & Sons Ltd, 2003. 1115 p.
3. NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. (date of application 20.02.2023).
4. Szymanski B. Instalacje fotowoltaiczne. Wydanie III. Krakow : GEOSYSTEM, Redakcja GLOBEnergia, 2014. 249 p.
5. Tytko R. Fotowoltaika. Podręcznik dla studentów, uczniów, instalatorów, inwestorów. VI uzupełnione. Kraków: Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, 2022. 520 s.
6. Tytko R. Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej. Wydanie V. Krakow: Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, 2014. 671 p.
7. Tytko R., Goralczyk I. Urządzenia, instalacje fotowoltaiczne i elektryczne. Krakow: Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, 2013. 347 s.
8. Гальчак В. П., Боярчук В. М. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця: Навчальний посібник. Львів, 2008. 135 с.
9. 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.
10. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. Київ : НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.

11. Маліновський А. А., Хохулін Б. К. Основи електроенергетики та електропостачання: Підручник. Львів: В-во НУ "Львівська політехніка", 2007. 380 с.
12. Олійник М. Й., Лисяк В. Г. Основи екології виробництва, пересилання та використання електричної енергії. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2018. 192 с.
13. Сегеда М. С., Олійник М. Й., Дудурич О. Б. Нетрадиційні та відновлювані джерела електроенергії. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2019. 204 с.
14. 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.