

ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

Відділення "Інженерна інфраструктура та комп'ютерні науки"

Кафедра "Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка"

До захисту допущено
завідувач кафедру
Інна НЕЗДВЕЦЬКА
"_____" 2026 року

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту

освітньо-професійний ступінь: фаховий молодший бакалавр

спеціальність: 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

на тему: "Автономна теплова система з резервним живленням від сонячної
електростанції для приватного домогосподарства"

Виконав: студент IV курсу, групи Е-42

спеціальності

141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

_____ Богдан ЗАЙЦЕВ

Керівник проєкту _____ Богдан АНТИПЧУК

Рецензент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

м. Житомир – 2026 року

ВСТУП

В умовах сьогодення для України особливої ваги набуває питання забезпечення приватних домогосподарств автономним та стабільним теплопостачанням. Часті перебої з електроенергією, перевантаження енергомереж та ризики зупинки побутових систем у зимовий період створюють загрозу комфортному й безпечному проживанню населення. Додатково, зростання тарифів на енергоносії, нестабільність електропостачання та необхідність скорочення викидів парникових газів стимулюють пошук енергоефективних рішень, що дозволяють зменшити залежність від централізованих систем.

Одним із перспективних шляхів вирішення цих викликів є використання автономних теплових систем із резервним живленням від сонячних електростанцій. Поєднання сонячних панелей, акумуляторних батарей та теплових накопичувачів забезпечує не лише зниження залежності від зовнішньої мережі, а й оптимізацію витрат на опалення та гаряче водопостачання. Дослідження свідчать, що інтегровані системи на базі PV-станцій значно підвищують надійність теплопостачання, покращують енергоефективність будинку та гарантують стабільну роботу навіть під час аварійних чи планових відключень електроенергії.

З огляду на ці фактори, аналіз можливостей, переваг, обмежень та економічної ефективності автономних теплових систем із резервним живленням від сонячних електростанцій є актуальним і необхідним. Отримані висновки можуть стати основою для модернізації приватних будівель, підвищення енергетичної незалежності домогосподарств та впровадження практичних рішень, що відповідають сучасним викликам у сфері енергетичної безпеки.

					ДП.141.042.018.ПЗ							
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ВСТУП					Літ.	Арк.	Аркуші
Розробив	Зайцев Б. Р.									у	8	70
Перевір	Антипчук Б.О.									ЖАТФК, Гр. Е-42		
Н. Контр.	Антипчук Б.О.											
Затв.	Гнатюк О.Ф.											

Даний дипломний проєкт спрямований на проєктування та техніко-економічну оцінку автономної теплової системи з резервним живленням від сонячної електростанції для приватного житла.

Основне завдання дипломного проєкту:

- **проаналізувати сучасні технології фотоелектричної генерації (PV)** та визначити їхній потенціал для забезпечення теплових навантажень приватного домогосподарства;
- **дослідити можливості використання теплових насосів** як основного елемента автономної теплової системи та його взаємодію з резервним живленням від сонячної електростанції;
- **оцінити варіанти накопичення енергії** (електричні акумулятори та теплові баки) та визначити їхню роль у забезпеченні стабільності та резервного живлення системи;
- **розробити робочу схему інтеграції** фотоелектричної станції, інвертора, акумуляторної батареї та теплового насоса в єдину систему теплопостачання;
- **виконати розрахунок потужності теплової системи на базі електричного теплового насоса** у відповідності до кліматичних потреб;
- **провести техніко-економічну оцінку системи**, включно з аналізом терміну окупності, рівня енергозбереження та надійності роботи.

Об'єкт дослідження дипломного проєкту є приватне домогосподарство з типовими показниками споживання електричної енергії та теплової енергії, що характеризує середні потреби житлового будинку в умовах помірного клімату.

Предметом дослідження проєкту є інтегрована система «сонячна електростанція, акумулятор, тепловий насос» для автономного та резервного теплопостачання приватного домогосподарства.

					ДП.141.042.018.ПЗ			
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Зайцев Б. Р.						Літ.
Перевір		Антипчук Б.О.						Арк.
								Аркушів
								у
								10
								70
								Аркушів
Н. Контр.		Антипчук Б.О.						
Затв.		Гнатюк О.Ф.						
Арк.			Підпис	Дата				



Рисунок 1.2 – Твердопаливний котел опалення

Електричні системи опалення (див рисунок 1.3) включають електрокотли, конвектори, теплі підлоги, індукційні та електродні котли. Вони вирізняються простотою експлуатації та відсутністю потреби у димоході, проте характеризуються найвищою вартістю виробленого тепла (кВт·год) без використання відновлюваних джерел енергії.



а)



б)



в)

Рисунок 1.3 – Електричні системи опалення: а) – електрокотел; б) – конвектор; в) – тепла підлога

Опалювальні системи на основі теплових насосів (див. рисунок 1.4) працюють за рахунок низькопотенційної енергії середовища. Вони є економними завдяки високому коефіцієнту перетворення (2,5 – 4,5), який визначає, скільки теплової енергії система виробляє на кожну одиницю спожитої електроенергії та показує його ефективність, однак вимагають значних капіталовкладень на старті.

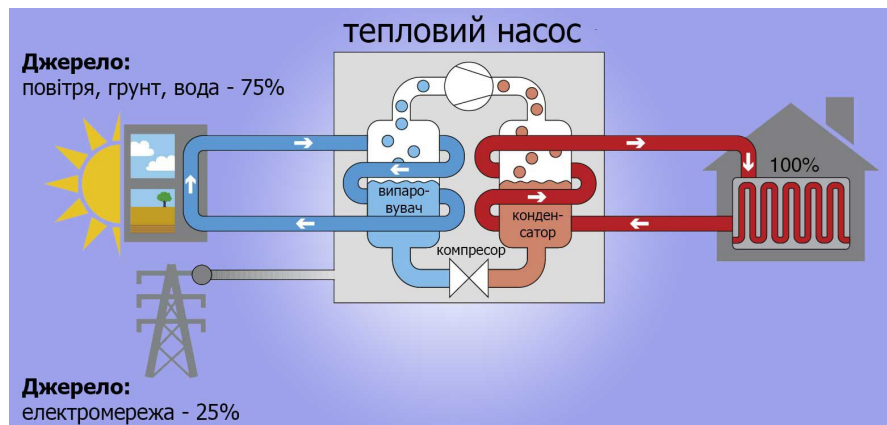


Рисунок 1.4 – Система опалення на основі теплового насоса

Гібридні автономні системи поєднують кілька джерел енергії, наприклад: електрокотел із сонячними панелями та тепловим насосом; твердопаливний котел з електрокотлом; або газову установку з фотоелектричною системою. Такі рішення є найбільш гнучкими та сприяють зниженню витрат на експлуатацію.

1.2 Порівняння джерел тепла: газ, тверде паливо, електрика, теплові насоси

Оцінювання джерел тепла здійснюється за кількома критеріями: економічність, екологічність, рівень автономності, надійність та зручність у використанні.

Газ має ККД: 90–95%. Переваги його використання: відносно низька ціна тепла, автоматизація, тривалий термін служби. До його основних недоліків відносять: залежність від газових мереж або газгольдера, ризики аварійності, потреба у дозволах та регулярному обслуговуванні.

Тверде паливо має ККД: 75 – 90% (до 92% для піролізних котлів). Переваги використання твердого палива: доступність, низька вартість тепла, енергонезалежність. До недоліків відносять: ручне завантаження, потреба складування, значне забруднення довкілля.

Електроенергія має ККД: 99%. До її основних переваг належать: простота, автоматизація, безпечність, відсутність димоходу. Основні ж недоліки її використання: найвища вартість тепла при тарифах 3 – 5 грн/кВт·год, критична залежність від стабільності електромереж.

Теплові насоси – лідер серед систем опалення. Вони мають COP рівний значенню 2,5 – 4,5 (тобто на кожен 1 кВт електроенергії виробляється 2,5 – 4,5 кВт тепла).

Основні переваги використання теплових насосів:

- найвищий рівень економічності: витрати на тепло у кілька разів нижчі, ніж при використанні електричних котлів;

- екологічність: відсутність шкідливих викидів, мінімальний вплив на довкілля;
- автоматизація та комфорт: система працює без ручного втручання, забезпечуючи стабільний мікроклімат;
- надійність: сучасні моделі адаптовані до різних кліматичних умов, а при інтеграції з фотоелектричними станціями – майже повна автономність;
- зручність: не потребують складування палива, димоходів чи спеціальних дозволів.

До основних недоліків використання теплових насосів відносять високу вартість установки та залежність від електроенергії. Проте ці фактори компенсуються довготривалою економією та можливістю поєднання з сонячними панелями, що практично зводить витрати до мінімуму.

Серед усіх джерел тепла саме теплові насоси є найбільш збалансованим і перспективним рішенням для приватних домогосподарств. Вони поєднують економічність, екологічність, автономність та комфорт, залишаючи газ, тверде паливо й класичну електрику далеко позаду. Найефективніша стратегія – гібридна система з тепловим насосом та фотоелектричною станцією, яка дозволяє отримати майже безкоштовне тепло й повну незалежність від традиційних енергоресурсів.

1.3 Основні типи теплових насосів та їх переваги. Теплові насоси: принципи роботи основні типи, переваги та недоліки

1.3.1 Основні види теплових насосів

Теплові насоси – це сучасні та високоефективні системи опалення, які переносять теплову енергію з навколишнього середовища (повітря, ґрунту чи води) у приміщення. Вони забезпечують значну економію електроенергії та дозволяють отримати тепло без спалювання палива.

Теплові насоси можна поділити за кількома ознаками:

- за джерелом тепла: повітря, ґрунт, підземні або поверхневі води;
- за конструкцією: моноблокові та спліт-системи;
- за функціональністю: опалення, охолодження, гаряче водопостачання;
- за принципом регулювання: інверторні та неінверторні моделі.

1.3.2 Роль теплообмінника у роботі теплових насосів

Теплообмінник (див. рисунок 1.5) є ключовим елементом теплового насоса, адже саме він забезпечує передачу теплової енергії від зовнішнього джерела (повітря, ґрунт, вода) до робочого середовища – холодоагенту, а далі від холодоагенту до системи опалення будинку. Без ефективного теплообмінника функціонування насоса неможливе, оскільки він виступає «посередником» між зовнішнім середовищем та внутрішньою системою.

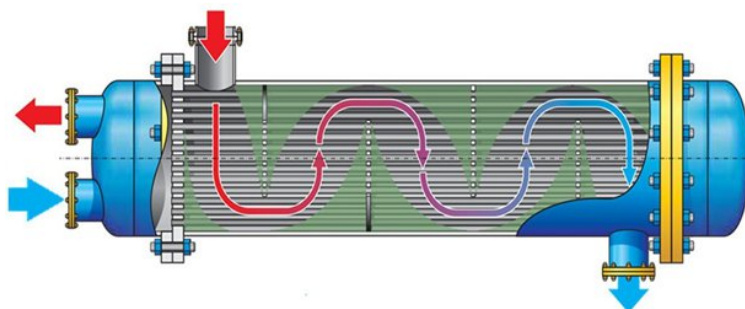


Рисунок 1.5 – Загальний вигляд теплообмінника теплового насосу

До основних функцій теплообмінника належать:

- забір тепла з довкілля – у випарнику теплообмінник передає енергію від ґрунту, води чи повітря до холодоагенту, який випаровується при низькій температурі;
- передача тепла в систему опалення – у конденсаторі теплообмінник віддає тепло від стисненого холодоагенту до води чи повітря, що циркулює в системі опалення;
- підвищення ефективності процесу – якість теплообмінника визначає коефіцієнт перетворення (COP) теплового насоса: чим ефективніше передається тепло, тим менше витрачається електроенергії;
- стабільність та надійність роботи – надійний теплообмінник мінімізує втрати енергії, запобігає перегріву чи замерзанню та забезпечує стабільну роботу навіть у складних кліматичних умовах.

Існує три основні типи теплообмінників, які можуть бути використані в теплових насосах:

- випарник – здійснює забір тепла з навколишнього середовища;
- конденсатор – передає тепло в систему опалення;
- рекуперативний теплообмінник – використовує відпрацьоване тепло для підвищення загальної ефективності системи.

Теплообмінник можна вважати «серцем» теплового насоса, адже він визначає його продуктивність, економічність та довговічність. Завдяки теплообміннику тепла енергія переноситься з холодного середовища до теплого, забезпечуючи комфорт у будинку при мінімальних витратах електроенергії.

1.3.3 Повітряні теплові насоси

Одним із основних типів повітряних теплових насосів є насос типу «повітря-повітря». Вони працюють за принципом кондиціонера з функцією нагріву: тепло з зовнішнього повітря передається у приміщення через внутрішні блоки (див. рис. 1.6).

Перевагами таких теплових насосів є: швидкий монтаж, можливість охолодження, оперативна зміна температури.

Їх основні недоліки: не нагрівають воду, ефективні лише у кімнатах з внутрішніми блоками.

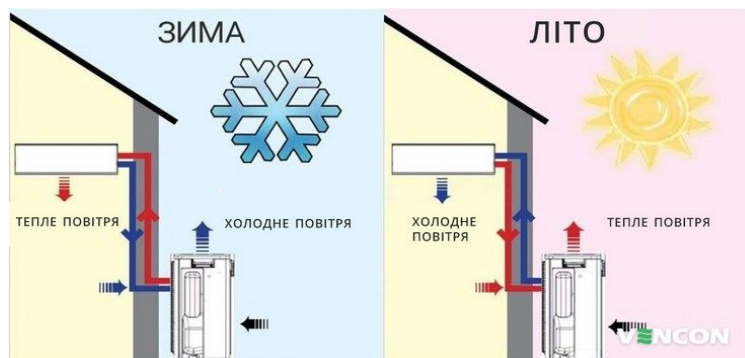


Рисунок 1.6 – Схематичне зображення системи теплового насоса типу «повітря-повітря»

Наступним типом повітряних теплових насосів є насоси типу «повітря-вода». Такі насоси передають тепло від зовнішнього повітря воді, яка циркулює у системі опалення (радіатори, тепла підлога, бойлер). Схематичне зображення системи такого насоса зображено на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Схематичне зображення системи теплового насоса типу «повітря-вода»

До основних переваг теплових насосів даного типу належать:

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.018.ПЗ

Аркуш

18

простіший монтаж порівняно з геотермальними системами, сумісність зі стандартними мережами тепlopостачання, а також наявність функції охолодження.

Недоліками теплових насосів типу «повітря-вода» є: зниження ефективності при морозах, бажана буферна ємність для стабільності.

1.3.4 Водяні та геотермальні теплові насоси

Теплові насоси типу «вода-вода» використовують тепло підземних або поверхневих вод, температура яких залишається стабільною протягом року. Їх схематичне зображення подано на рисунку 1.8.

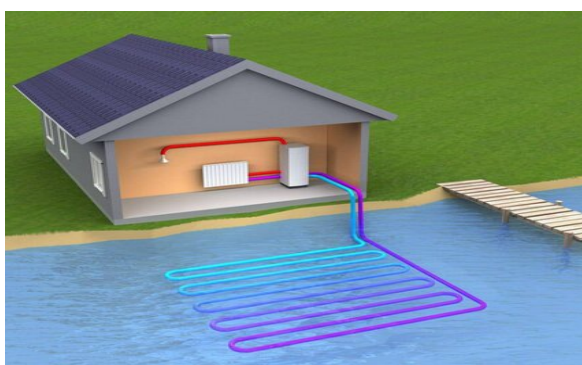


Рисунок 1.8 – Схематичне зображення системи теплового насоса типу «вода-вода»

Перевагами теплових насосів типу «вода-вода» є: високий COP, незалежність від погодних умов. Основними ж недоліками за часту є: потреба у свердловинах та дозволах, а також дороговартісне обслуговування.

Теплові насоси типу «ґрунт-вода» (геотермальні), характеризуються тим, що основним джерелом тепла при їх роботі є ґрунт, де температура стабільна на глибині понад 5 м. Трубопроводи для реалізації системи опалення на базі таких насосів можуть бути горизонтальними або вертикальними.

Перевагами теплових насосів типу «ґрунт-вода»: найвища сезонна ефективність, стабільність роботи, довговічність.

Недоліки теплових насосів типу «ґрунт-вода»: складний і дорогий монтаж, потреба у площі чи бурових роботах.

На рисунку 1.9 показано схематичне зображення системи теплового насоса типу «ґрунт-вода».

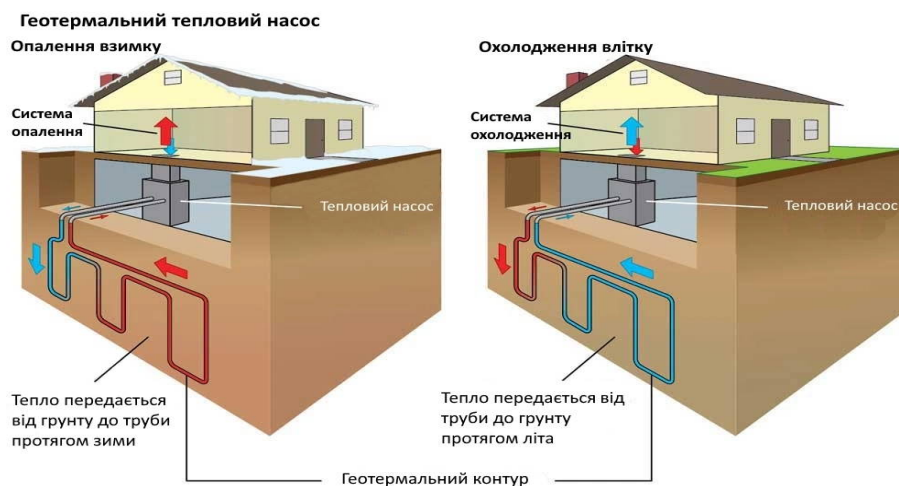


Рисунок 1.9 – Схематичне зображення системи теплового насосу типу «ґрунт-вода»

2 АВТОНОМНА ТЕПЛОВА СИСТЕМА ДЛЯ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА З РЕЗЕРВНИМ ЖИВЛЕННЯМ ВІД СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

2.1 Розрахунок тепловтрат та потужності автономної системи опалення будинку

Процес обчислення сумарного обсягу теплової енергії, необхідної для забезпечення комфортного мікроклімату в приватному будинку, незмінно бере свій початок із ґрунтового визначення його фактичних теплових втрат. Саме цей фундаментальний показник є визначальним чинником, що безпосередньо впливає на вибір оптимального джерела тепла, специфікацію необхідного обладнання, загальну встановлену потужність майбутньої системи опалення, а також на обсяг фінансових інвестицій, необхідних для її професійного монтажу та подальшої експлуатації. Хоча базові розрахунки тепловтрат схожі для всіх систем, використання теплового насоса має свою

					специфіку. Він найбільш ефективний у низькотемпературному режимі, що порівняно з традиційними котлами					ДП.141.042.018.ПЗ			
Зм..	Арк.	№ Довідки	Підпис	Дата	Головне —								
Розробив	Зайцев Б. Р.				2 АВТОНОМНА ТЕПЛОВА СИСТЕМА ДЛЯ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА З РЕЗЕРВНИМ ЖИВЛЕННЯМ ВІД СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ					Літ.		Арк.	Аркушів
Перевір	Антипчук Б.О.									У		19	70
Н. Контр.	Антипчук Б.О.									ЖАТФК, Гр. Е-42			
Затв.	Гнатюк О.Ф.												

правильно розрахувати потужність, щоб насос працював оптимально, забезпечуючи стабільне тепло при мінімальному навантаженні.

Проектування автономної теплової системи на базі теплового насоса починається з аналізу стін, даху та вікон для розрахунку реальних тепловтрат. Це дозволяє визначити точну потужність обладнання, враховуючи лише житлові кімнати. Веранди, балкони та комори до розрахунку не включаються. Такий підхід забезпечує роботу електричного теплонасоса в економічному режимі, гарантуючи стабільне тепло при мінімальних витратах.

На рисунку 2.1 зображено схематичний план приватного будинку, а в таблиці 2.1 наведено основні вихідні дані для проведення розрахунків тепловтрат та визначення електричної потужності теплового насоса автономної теплової системи опалення.

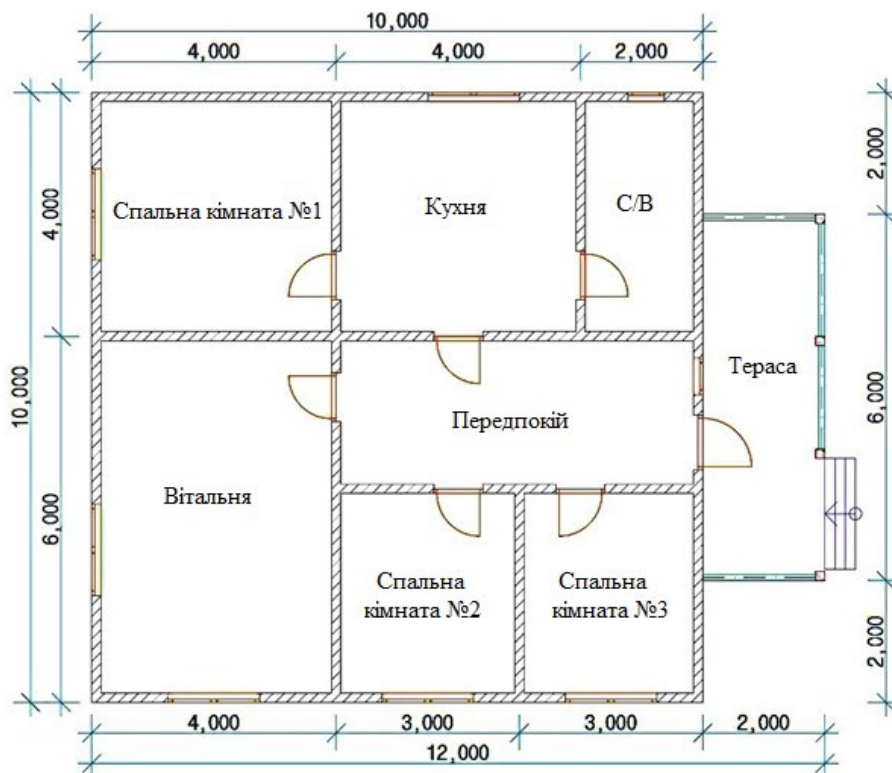


Рисунок 2.1 – Схема планування та зонування житлового будинку

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.018.ПЗ

Аркуш

Таблиця 2.1 – Вихідні дані квартирної приміщення

№	Найменування величини	Позначення	Значення	Одиниці виміру
1	2	3	4	5
Передпокій				
1	Площа приміщення	S	12	м ²
2	Висота приміщення	h	2,5	м
3	Розрахункова температура в приміщенні	t _в	20	С ⁰
4	Розрахункова температура ззовні в зимовий період	t _н	-15	С ⁰
5	Загальна площа стін, яка контактує з зовн. повітрям	A _к	4.5	м ²
6	Площа вікон(1,46м x 1,42м)	S _w	2,0732	м ²
7	Площа дверей (0,9м x 2м)	S _d	9	м ²
8	Характеристика підлоги	бетон		

Продовження таблиці 2.1

№	Найменування величини	Позначення	Значення	Одиниці виміру
1	2	3	4	5
Ванна кімната				
1	Площа приміщення	S	8	м ²
2	Висота	h	2,5	м
3	Розрахункова температура в приміщенні	t _в	20	С ⁰
4	Розрахункова температура ззовні в зимовий період	t _н	-15	С ⁰
5	Загальна площа стін, яка контактує з зовн. повітрям	A _к	15	м ²

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.018.ПЗ

Аркуш

21

6	Площа вікон (1,46м x 1,42м)	S _w	2,0732	м ²
7	Площа дверей (0,9м x 2м)	S _d	1,8	м ²
8	Характеристика підлоги	бетон		
Вітальня				
1	Площа приміщення	S	24	м ²
2	Висота	h	2,5	м
3	Розрахункова температура в приміщенні	t _в	20	С ⁰
4	Розрахункова температура ззовні в зимовий період	t _н	-15	С ⁰
5	Загальна площа стін, яка контактує з зовн. повітрям	A _k	25	м ²
6	Площа вікон (2,92м x 1,42м)	S _w	8,2928	м ²
7	Площа дверей (0,9м x 2м)	S _d	1,8	м ²
8	Характеристика підлоги	бетон		
Спальня кімната №1				
1	Площа приміщення	S	16	м ²
2	Висота	h	2,5	м
3	Розрахункова температура в приміщенні	t _в	20	С ⁰
4	Розрахункова температура ззовні в зимовий період	t _н	-15	С ⁰
5	Загальна площа стін, яка контактує з зовн. повітрям	A _k	20	м ²
6	Площа вікон (2,92м x 1,42м)	S _w	4,1464	м ²
7	Площа дверей (0,9м x 2м)	S _d	1,8	м ²

8	Характеристика підлоги	бетон		
Кухня				
1	Площа приміщення	S	16	м ²
2	Висота	h	2,5	м
3	Розрахункова температура в приміщенні	t _в	20	С ⁰
4	Розрахункова температура ззовні в зимовий період	t _н	-15	С ⁰

Продовження таблиці 2.1

№	Найменування величини	Позначення	Значення	Одиниці виміру
1	2	3	4	5
5	Загальна площа стін, яка контактує з зовн. повітрям	A _k	10	м ²
6	Площа вікон (2,92м x 1,42м)	s _w	4,1464	м ²
7	Площа дверей (0,9м x 2м)	s _d	5,4	м ²
8	Характеристика підлоги	бетон		
Спальна кімната №2				
1	Площа приміщення	S	12	м ²
2	Висота приміщення	h	12	м
3	Розрахункова температура в приміщенні	t _в	2,5	С ⁰
4	Розрахункова температура ззовні в зимовий період	t _н	20	С ⁰
5	Загальна площа стін, яка контактує з зовн. повітрям	A _k	7,5	м ²
6	Площа вікон (2,92м x 1,42м)	s _w	4,1464	м ²

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.018.ПЗ

Аркуш

7	Площа дверей (0,9м x 2м)	S _d	1,8	м ²
8	Характеристика підлоги	бетон		
Спальна кімната №3				
1	Площа приміщення	S	12	м ²
2	Висота приміщення	h	2,5	м
3	Розрахункова температура в приміщенні	t _в	20	С ⁰
4	Розрахункова температура ззовні в зимовий період	t _н	-15	С ⁰
5	Загальна площа стін, яка контактує з зовн. повітрям	A _k	17,5	м ²
6	Площа вікон(1,46м x 1,42м)	S _w	4,1464	м ²
7	Площа дверей (0,9м x 2м)	S _d	1,8	м ²
8	Характеристика підлоги	бетон		

Розпочнемо теплотехнічний розрахунок приміщень **приватного житлового будинку**, визначивши на першому етапі **втрати теплової енергії через огорожувальні конструкції** кожного з них. Дані теплотехнічні втрати визначаються за формулою:

$$Q_a = \left(\left(\sum \frac{A_k}{R_k} \right) \right) \cdot (t_b - t_n) \cdot \left(1 + \sum b \right) \cdot n \cdot 10^{-3}, \quad (2.1)$$

де:

A_k – сумарна площа огорожувальних конструкцій приміщення житлового будинку, що контактують із зовнішнім повітрям, m^2 ;

R_k – опір теплопередачі відповідної огорожувальної конструкції, який згідно з [5] приймається рівним $1,8 m^2 \cdot ^{\circ}C / Wt$;

t_b – розрахункова температура внутрішнього повітря приміщення, $^{\circ}C$;

t_n – розрахункова температура зовнішнього повітря в зимовий період, $^{\circ}C$;

$\sum b$ – коефіцієнт додаткових теплових втрат, який відповідно до [5] (його приймається рівним значенню 0,05);

n – коригувальний коефіцієнт, що враховує умови експлуатації будівлі та згідно з [5] дорівнює 0,8.

На основі вихідних даних отримаємо такі значення теплових втрат через огорожувальні конструкції приміщень приватного будинку:

$$Q_{a(\text{передпокій})} = \frac{4,5}{1,8} \cdot (20 - (-15)) \cdot (1 + 0,05) \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,0735 \text{ кВт};$$

$$Q_{a(\text{ванна кімн.})} = \frac{15}{1,8} \cdot (20 - (-15)) \cdot (1 + 0,05) \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,245 \text{ кВт};$$

$$Q_{a(\text{зал})} = \frac{25}{1,8} \cdot (20 - (-15)) \cdot (1 + 0,05) \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,4083 \text{ кВт};$$

$$Q_{a(\text{спальня1})} = \frac{20}{1,8} \cdot (20 - (-15)) \cdot (1 + 0,05) \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,326 \text{ кВт};$$

$$Q_{a(\text{кухня})} = \frac{10}{1,8} \cdot (20 - (-15)) \cdot (1 + 0,05) \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,163 \text{ кВт};$$

$$Q_{a(\text{спальня2})} = \frac{7,5}{1,8} \cdot (20 - (-15)) \cdot (1 + 0,05) \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,1225 \text{ кВт}.$$

$$Q_{a(\text{спальня3})} = \frac{17,5}{1,8} \cdot (20 - (-15)) \cdot (1 + 0,05) \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,2858 \text{ кВт}.$$

Наступним етапом визначимо теплові втрати на нагрівання вентиляційного повітря в приміщеннях приватного житлового будинку, які обчислюються за формулою:

$$Q_{B1} = 0,337 \cdot S \cdot h \cdot (t_b - t_n) \cdot K \cdot 10^{-3}, \quad (2.2)$$

де:

S – площа приміщення, м^2 ;

h – висота приміщення, м ;

K – кратність повітрообміну, год^{-1} .

Оскільки висота всіх приміщень приватного будинку становить 2,5 м, а кратність повітрообміну відповідно до [5] приймається рівною 2 год^{-1} , то отримаємо такі значення:

$$Q_{B1(\text{передпокій})} = 0,337 \cdot 12 \cdot 2,5 \cdot (20 - (-15)) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,7077 \text{ кВт};$$

$$Q_{B1(\text{ванна кімн.})} = 0,337 \cdot 8 \cdot 2,5 \cdot (20 - (-15)) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,4718 \text{ кВт};$$

$$Q_{B1(\text{зал})} = 0,337 \cdot 24 \cdot 2,5 \cdot (20 - (-15)) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 1,4154 \text{ кВт};$$

$$Q_{B1(\text{спальня1})} = 0,337 \cdot 16 \cdot 2,5 \cdot (20 - (-15)) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,9436 \text{ кВт};$$

$$Q_{B1(\text{кухня})} = 0,337 \cdot 16 \cdot 2,5 \cdot (20 - (-15)) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,9436 \text{ кВт};$$

$$Q_{B1(\text{спальня2})} = 0,337 \cdot 12 \cdot 2,5 \cdot (20 - (-15)) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,7077 \text{ кВт}.$$

$$Q_{B1(\text{спальня3})} = 0,337 \cdot 12 \cdot 2,5 \cdot (20 - (-15)) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,7077 \text{ кВт}.$$

Аналогічно визначаються **теплові втрати на нагрівання зовнішнього повітря**, що надходить у приміщення через дверні прорізи, за формулою:

$$Q_{B2} = 0,7 \cdot B \cdot (h + 0,8 \cdot p) \cdot (t_b - t_n) \cdot 10^{-3}, \quad (2.3)$$

де:

B – кількість дверних проходів або дверей в приміщенні (див. рис. 2.1);

p – кількість осіб, які знаходяться в приміщенні.

При цьому враховується, що приватний житловий будинок розрахований на постійне проживання сім'ї з трьох осіб. Відповідно кількість мешканців приймається:

- для спалень – 2 особи;
- для вітальні та кухні – 3 особи;

- для допоміжних приміщень – 1 особа.

Отже враховуючи вище зазначені особливості, отримаємо такі результати розрахунку за формулою 2.3:

$$Q_{B2} (\text{передпокій}) = 0,7 \cdot 5 \cdot (2,5 + 0,8 \cdot 6) \cdot (20 - (-15)) \cdot 10^{-3} = 0,8942 \text{ кВт};$$

$$Q_{B2} (\text{ванна кімн.}) = 0,7 \cdot 1 \cdot (2,5 + 0,8 \cdot 1) \cdot (20 - (-15)) \cdot 10^{-3} = 0,0808 \text{ кВт};$$

$$Q_{B2} (\text{зал}) = 0,7 \cdot 1 \cdot (2,5 + 0,8 \cdot 6) \cdot (20 - (-15)) \cdot 10^{-3} = 0,1788 \text{ кВт};$$

$$Q_{B2} (\text{спальня1}) = 0,7 \cdot 1 \cdot (2,5 + 0,8 \cdot 2) \cdot (20 - (-15)) \cdot 10^{-3} = 0,1004 \text{ кВт};$$

$$Q_{B2} (\text{кухня}) = 0,7 \cdot 3 \cdot (2,5 + 0,8 \cdot 6) \cdot (20 - (-15)) \cdot 10^{-3} = 0,5365 \text{ кВт};$$

$$Q_{B2} (\text{спальня2}) = 0,7 \cdot 1 \cdot (2,5 + 0,8 \cdot 2) \cdot (20 - (-15)) \cdot 10^{-3} = 0,1004 \text{ кВт}.$$

$$Q_{B2} (\text{спальня3}) = 0,7 \cdot 1 \cdot (2,5 + 0,8 \cdot 2) \cdot (20 - (-15)) \cdot 10^{-3} = 0,1004 \text{ кВт}.$$

Розрахункові теплові втрати кожного приміщення приватного житлового будинку визначаються за формулою:

$$Q_1 = Q_a + Q_{B1} + Q_{B2} , \quad (2.4)$$

де:

Q_a – втрати теплової енергії через огорожувальні конструкції кімнати квартирнього приміщення, кВт;

Q_{B1} – теплові втрати на нагрівання вентиляційного повітря кімнати квартирнього приміщення, кВт;

Q_{B2} – теплові втрати на нагрівання зовнішнього повітря, яке надходить в кімнату квартирнього приміщення через дверні проходи, кВт.

Підставивши у формулу 2.4 отримані результати розрахунків по формулам 2.1, 2.2 та 2.3, будемо мати:

$$Q_1 (\text{передпокій}) = 0,0735 + 0,7077 + 0,8942 = 1,6754 \text{ кВт};$$

$$Q_1 (\text{ванна кімн.}) = 0,245 + 0,4718 + 0,0808 = 0,7976 \text{ кВт};$$

$$Q_1 (\text{зал}) = 0,4083 + 1,4154 + 0,1788 = 2,0025 \text{ кВт};$$

$$Q_1 (\text{спальня1}) = 0,326 + 0,9436 + 0,1004 = 1,37 \text{ кВт};$$

$$Q_1 (\text{кухня}) = 0,163 + 0,9436 + 0,5365 = 1,6431 \text{ кВт};$$

$$Q_1 (\text{спальня2}) = 0,1225 + 0,7077 + 0,1004 = 0,9306 \text{ кВт}.$$

$$Q_1 (\text{спальня3}) = 0,2858 + 0,7077 + 0,1004 = 1,0939 \text{ кВт}.$$

Далі визначається **теплова потужність, що надходить від внутрішніх джерел тепла** (освітлення та людей) за формулою:

$$Q_{\text{тп}} = 0,01 \cdot S, \quad (2.5)$$

де:

$Q_{\text{тп}}$ – потужність теплового потоку (кВт);

S – загальна площа приміщення (м²).

Підставивши у формулу 2.5 вихідні дані із таблиці 2.1 стосовно загальної площі кожної із кімнат приватного будинку будемо мати:

$$Q_{\text{тп}} (\text{передпокій}) = 0,01 \cdot 12 = 0,12 \text{ кВт};$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.018.ПЗ

Аркуш

$$Q_{\text{тп (ванна кімн.)}} = 0,01 \cdot 8 = 0,08 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{тп (зал)}} = 0,01 \cdot 24 = 0,24 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{тп (спальня1)}} = 0,01 \cdot 16 = 0,16 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{тп (кухня)}} = 0,01 \cdot 16 = 0,16 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{тп (спальня2)}} = 0,01 \cdot 12 = 0,12 \text{ кВт}.$$

$$Q_{\text{тп (спальня3)}} = 0,01 \cdot 12 = 0,12 \text{ кВт}.$$

Враховуючи результати отримані за формулами 2.4 та 2.5, визначимо сумарні теплові втрати кожної із кімнат:

$$Q = Q_1 - Q_{\text{тп}} . \quad (2.6)$$

Таким чином, за виразом 2.6 отримаємо наступні результати:

$$Q_{\text{(передпокій)}} = 1,6754 - 0,12 = 1,5554 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{(ванна кімн.)}} = 0,7976 - 0,08 = 0,7176 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{(зал)}} = 2,0025 - 0,24 = 1,7625 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{(спальня1)}} = 1,37 - 0,16 = 1,21 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{(кухня)}} = 1,6431 - 0,16 = 1,4831 \text{ кВт};$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.018.ПЗ

Аркуш

$$Q_{(\text{спальня2})} = 0,9306 - 0,12 = 0,8106 \text{ кВт.}$$

$$Q_{(\text{спальня3})} = 1,0939 - 0,12 = 0,9739 \text{ кВт.}$$

Наступним кроком визначимо необхідну потужність автономної системи опалення для кожної кімнати P , спираючись на результати розрахунків за формулою 2.6. Оскільки обігрів забезпечує електричний тепловий насос, ці показники дозволять точно підібрати параметри теплообмінників або контурів для кожної зони. Це гарантує, що система працюватиме в енергоефективному режимі, підтримуючи комфортну температуру при мінімальному навантаженні на компресор. Формула за якою розрахуємо електричну потужність наведена нижче:

$$P \geq 1,3 \cdot Q . \quad (2.7)$$

Отримаємо наступні результати розрахунку:

$$P_{(\text{передпокій})} \geq 1,3 \cdot 1,5554 \geq 2,0220 \text{ кВт;}$$

$$P_{(\text{ванна кімн.})} \geq 1,3 \cdot 0,7176 \geq 0,9328 \text{ кВт;}$$

$$P_{(\text{зал})} \geq 1,3 \cdot 1,7625 \geq 2,2912 \text{ кВт;}$$

$$P_{(\text{спальня1})} \geq 1,3 \cdot 1,21 \geq 1,573 \text{ кВт;}$$

$$P_{(\text{кухня})} \geq 1,3 \cdot 1,4831 \geq 1,9280 \text{ кВт;}$$

$$P_{(\text{спальня2})} \geq 1,3 \cdot 0,8106 \geq 1,0537 \text{ кВт.}$$

$$P_{(\text{спальняз})} \geq 1,3 \cdot 0,9739 \geq 1,2660 \text{ кВт.}$$

Загальну електричну потужність автономної системи опалення приватного будинку на базі електричного теплонасоса визначимо за формулою:

$$P_{\text{заг}} = \sum P_i, \quad (2.8)$$

де:

P_i – електрична потужність системи опалення конкретної кімнати у приватному будинку, кВт.

Отже в результаті отримаємо:

$$P_{\text{заг}} = 2,022 + 0,9328 + 2,2912 + 1,573 + 1,928 + 1,0537 + 1,266 = 11,06 \text{ кВт.}$$

2.2 Вибір електричного теплового насоса

Розрахунок необхідної теплової енергії для сучасного будинку є багатограним процесом, що базується на детальному аналізі теплових втрат через огорожувальні конструкції (стіни, покрівлю, фундамент, вікна та двері), а також враховує інфільтрацію повітря та вентиляційні навантаження. Саме цей показник є фундаментом для проектування: він визначає вибір джерела тепла, конфігурацію обладнання, гідравлічні параметри системи опалення та, зрештою, термін окупності інвестицій.

Відповідно до проведених теплотехнічних розрахунків, пікова потреба об'єкта у тепловій енергії становить 11,06 кВт, що зумовило необхідність детального порівняння двох технологічних рішень потужністю 12 кВт: системи «повітря–вода» від Mitsubishi Electric та геотермального насоса NIBE.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.018.ПЗ

Архив

Повітряний тепловий насос Mitsubishi Electric Ecodan серії Power Inverter приваблює своєю гнучкістю та відносно низькою початковою вартістю, яка становить близько 301964 грн, а також можливістю швидкого монтажу без проведення масштабних земельних робіт. Проте, попри високий середньорічний коефіцієнт ефективності (COP 4,4), продуктивність цієї системи прямо залежить від температури зовнішнього повітря, що призводить до падіння ефективності до показників 1,5 – 2,0 під час сильних морозів та вимагає підключення електричних ТЕНів після перетину точки бівалентності в -15°C . Додатково експлуатація такої системи пов'язана з певним шумом зовнішнього блоку та необхідністю регулярних циклів розморожування випарника, що є критичним для вологого клімату Житомирщини.

На противагу цьому, геотермальна система NIBE F1145, хоча й коштує близько 330000 грн без урахування витрат на буріння 200 – 240 метрів свердловин, пропонує безкомпромісну стабільність завдяки використанню тепла надр із незмінною температурою близько $+7...+10^{\circ}\text{C}$. Це забезпечує стабільно високий COP понад 5,0 незалежно від лютої холоднечі на вулиці, дозволяючи системі видавати необхідні 11,06 кВт тепла без перевантаження електромережі додатковими нагрівачами.

Остаточним обґрунтуванням вибору системи NIBE стала її довговічність, адже ґрунтовий контур розрахований на понад 50 років служби, а відсутність зовнішнього обладнання гарантує повну акустичну тишу та захист від корозії. З урахуванням можливості майже безкоштовного пасивного охолодження будинку в літній період та найнижчих у класі експлуатаційних витрат, геотермальний насос визначено як найбільш раціональну інвестицію, яка повністю окупає вищу стартову вартість протягом перших 5 – 7 років експлуатації, забезпечуючи при цьому вищий рівень енергетичної безпеки та комфорту.

Зовнішній вигляд обраного теплового насоса NIBE F1145 поєднує в собі лаконічність та функціональність. Пристрій виконаний у форматі моноблока, що за своїми габаритами та естетикою нагадує сучасну холодильну шафу в мінімалістичному скандинавському стилі (див. рисунок 2.2). Ергономічний корпус дозволяє обладнанню гармонійно вписатися в

інтер'єр будь-якого приміщення — від спеціалізованої котельні до звичайної кухні чи передпокою.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд обраної моделі електричного теплового насосу NIBE F1145

Ключовою перевагою є те, що всі робочі вузли, зокрема компресор із багат шаровою звукоізоляцією, приховані всередині конструкції. Це повністю звільняє фасад будинку від громіздких зовнішніх блоків і забезпечує абсолютну тишу зовні. Для комфортної експлуатації на лицьовій панелі передбачено інтуїтивно зрозумілий кольоровий дисплей, який дозволяє легко контролювати параметри системи та керувати температурним режимом у реальному часі.

2.3 Вибір схеми впровадження системи резервного живлення

У межах дипломного проєкту розглядається рішення щодо інтеграції сонячної електростанції для забезпечення резервного живлення системи опалення з тепловим насосом. Для генерації енергії передбачено встановлення фотоелектричних панелей, які, залежно від архітектури будинку та рівня сонячного випромінювання, будуть розміщені на покрівлі або фасадних конструкціях. Такий підхід дозволить підтримувати автономну

роботу опалювального обладнання та підвищити загальну енергонезалежність об'єкта.

Для реалізації резервного живлення автономної теплової системи доцільно розглянути два основних варіанти побудови сонячної електростанції:

- мережева система;
- автономно-мережева (гібридна) система.

Кожен із зазначених варіантів має свої технічні особливості, переваги та обмеження, тому потребує детального аналізу з точки зору ефективності використання в умовах приватного домогосподарства.

Мережева сонячна електростанція (див. рисунок 2.3) передбачає підключення до загальної електромережі. За наявності достатньої кількості сонячних панелей частина електроспоживання теплової системи (циркуляційні насоси, автоматика, елементи керування) може забезпечуватися за рахунок виробленої сонячної енергії. Така система зазвичай складається з фотоелектричних модулів, інвертора, кабельних ліній, монтажної конструкції та електричного навантаження.

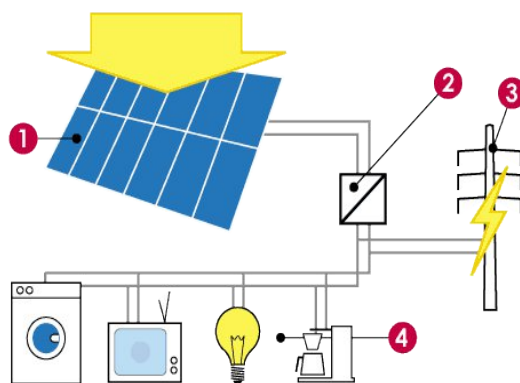


Рисунок 2.3 – **Мережева система резервного живлення:** 1 – сонячні панелі, 2 – інвертор, 3 – мережа, 4 – електричне навантаження

Вироблена електроенергія використовується безпосередньо для живлення теплової системи або передається до загальної мережі. У періоди, коли генерація недостатня (наприклад, у нічний час або за несприятливих погодних умов), необхідна електроенергія автоматично надходить із мережі.

Якщо ж виробіток перевищує споживання, надлишок може передаватися до мережі.

Таким чином, у мережевому варіанті електромережа виконує функцію резервного джерела живлення. Однак відсутність акумуляторних батарей обмежує можливість повноцінної автономної роботи під час аварійного відключення електроенергії, що знижує рівень енергетичної незалежності приватного домогосподарства.

На рисунку 2.4 представлена автономно-мережева резервна сонячна система живлення. Її зазвичай використовують у місцях, де є підключення до мережі централізованого електропостачання, але сама мережа є ненадійною.

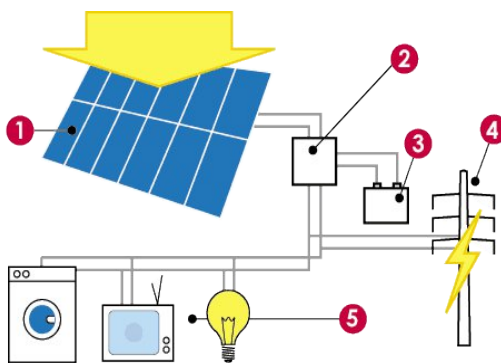


Рисунок 2.4 – **Автономно-мережева система**: 1– сонячні панелі, 2 – контролер заряду акумуляторних батарей + інвертор, 3 – акумуляторні батареї, 4 – мережа, 5 – електричне навантаження

У межах нашого проєкту автономно-мережева система може забезпечувати електроживлення у разі зникнення напруги в основній електромережі. Потужність фотоелектричної установки визначається з урахуванням потреб теплової системи, обсягу критичного навантаження та тривалості можливих відключень електроенергії.

Автономно-мережева (гібридна) система резервного електропостачання має такі переваги:

- максимальне використання електроенергії, виробленої сонячними модулями;

- стійкість до аварійних або планових відключень централізованої мережі;
- можливість економії коштів завдяки передачі надлишкової «зеленої» електроенергії в мережу;
- підвищена надійність електропостачання приватного будинку.

Отже, обидва варіанти – мережева та автономно-мережева система, можуть застосовуватися для резервного живлення теплової системи. Проте для приватного домогосподарства доцільніше обрати автономно-мережеве рішення. Наявність акумуляторних батарей дає змогу накопичувати електроенергію та забезпечувати стабільну роботу системи опалення незалежно від часу доби, пори року чи наявності сонячного випромінювання в конкретний момент.

2.4 Визначення загального тижневого електроспоживання автономної теплової системи

Проектування резервного живлення для автономної теплової системи починається з аналізу енергоспоживання електричного теплового насоса. На першому етапі визначається загальна встановлена потужність агрегату, яка має забезпечити покриття сумарних тепловтрат усіх приміщень. Розрахунок базується на номінальній електричній потужності обраної моделі насоса, що згідно з формулою (2.8) та технічними характеристиками становить 11,06 кВт. Це значення є ключовим для підбору параметрів сонячної електростанції та об'єму акумуляторних батарей.

Електрична потужність системи обігріву на основі теплового насосу, яку вона споживає за тиждень визначається за допомогою формули:

$$P_{\text{сп_тиж.}} = n_{\text{рд}} \cdot n_{\text{рг/доба}} \cdot \sum P_{\text{ТН}}, \quad (2.9)$$

де:

$P_{\text{сп_тиж}}$ – тижневе електроспоживання автономної теплової системи приватного домогосподарства на базі теплового насоса, кВт·год;

$\sum P_{\text{ТН}}$ – електрична потужність споживання теплового насоса, кВт;

$n_{\text{рд}}$ – кількість днів роботи системи протягом тижня, днів;

$n_{\text{рг/доба}}$ – середня кількість годин роботи теплового насоса протягом доби, год.

Отже за виразом 2.9 матимемо, що:

$$P_{\text{сп_тиж}} = 7 \cdot 10 \cdot 11,06 = 774,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

2.5 Розрахунок кількості та вибір типу сонячних панелей

На сучасному ринку відновлюваної енергетики України домінують монокристалічні та полікристалічні фотоелектричні модулі. З огляду на значне енергоспоживання системи опалення на базі теплового насоса, вибір технології є визначальним для стабільності енергопостачання. Найбільш раціональним рішенням для цього проєкту є використання монокристалічних сонячних панелей (див. рисунок 2.5), що зумовлено їхніми техніко-експлуатаційними характеристиками.

Завдяки застосуванню високочистого кремнію, монокристалічні модулі мають вищий коефіцієнт корисної дії (ККД), що забезпечує максимальну продуктивність на одиницю площі. Це дозволяє компактно розмістити необхідну потужність на обмеженому просторі даху, зберігаючи зони для технічного обслуговування. Особливо важливою для роботи теплового насоса в опалювальний період є здатність таких панелей ефективно генерувати енергію за умов низької інсоляції та хмарної погоди.

Попри вищу початкову вартість порівняно з полікристалічними аналогами, монокристалічна технологія вирізняється тривалим терміном експлуатації (25 – 30 років) та мінімальною щорічною деградацією потужності (близько 0,5%). У довгостроковій перспективі такі інвестиції є

цілком обґрунтованими, оскільки вони дозволяють максимізувати власну генерацію та забезпечити енергетичну стійкість об'єкта з високими потребами в теплі.

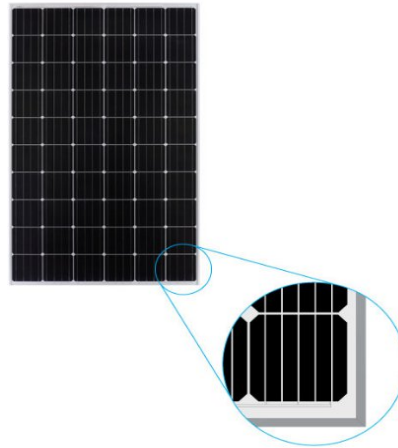


Рисунок 2.5 – Монокристалічна сонячна панель

З метою порівняльного аналізу на рисунку 2.6 продемонстровано зовнішній вигляд полікристалічного фотомодуля. Головною візуальною відмінністю таких панелей є чітко виражена квадратна або прямокутна форма комірок, що контрастує із закругленими кутами монокристалічних елементів.

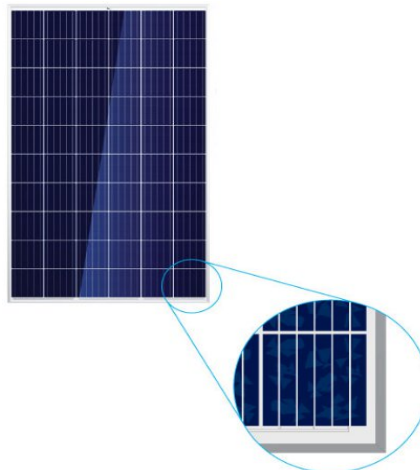


Рисунок 2.6 – Полікристалічна сонячна панель

При проектуванні системи живлення для енергоємного теплового насоса важливо враховувати, що полікристалічні модулі суттєво поступаються монокристалічним за низкою технічних показників. Зокрема, їхня продуктивність нижча на 15 – 20%, а діапазон коефіцієнта корисної дії

(ККД) становить лише 12 – 22% проти 18 – 40% у монокристалічних аналогів. Через нижчу питому потужність розгортання полікристалічної системи для генерації необхідних 774,2 кВт·год на тиждень потребуватиме значно більшої площі на даху будівлі, що є критичним обмеженням для даного об'єкта.

Попри те, що ключовою перевагою полікристалічної технології залишається її доступна ціна, у межах цього дипломного проєкту такий вибір є недоцільним, оскільки пріоритетним завданням є стабільне резервне живлення компресора теплового насоса за умов обмеженої площі покрівлі, використання менш ефективних панелей не дозволить повною мірою реалізувати потенціал автономності та надійності системи опалення.

Визначивши оптимальний тип сонячних панелей, перейдемо до розрахунку їхньої кількості, необхідної для функціонування системи резервного живлення. Першим етапом обчислень стане встановлення сумарної потужності фотоелектричної установки, яка потрібна для забезпечення однієї години безперебійної роботи електричного теплового насоса:

$$P_{1\text{год}} = \frac{P_{\text{сп_тиж.}}}{168}, \quad (2.10)$$

де:

$P_{\text{сп_тиж.}}$ – тижневе електроспоживання автономної теплової системи приватного домогосподарства на базі теплового насоса, кВт·год;

$P_{1\text{год}}$ – потужність сонячних панелей системи резервного живлення на одну годину роботи, кВт.

Отримаємо, що:

$$P_{1\text{год}} = \frac{774,2}{168} = 4,6 \text{ кВт}.$$

Для забезпечення розрахункової потужності автономної системи тепlopостачання, що становить приблизно 4,6 кВт, оптимальним рішенням є вибір фотоелектричних модулів із високими показниками одиничної

потужності. Використання високопродуктивних панелей дозволяє мінімізувати їхню загальну кількість, що не лише спрощує монтаж, а й забезпечує суттєву економію корисної площі на даху чи фасаді будівлі.

Серед представлених компаній-виробників сонячних панелей на ринку України оберемо монокристалічну сонячну панель компанії JA Solar модель JAM72D42 потужністю 630 Вт зовнішній вигляд якої, показано на рисунку 2.7.

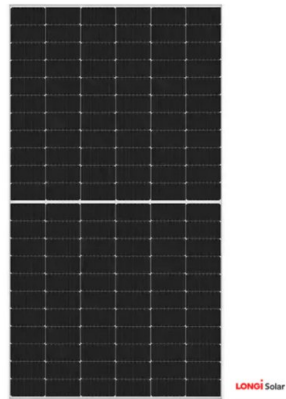


Рисунок 2.7 – Сонячна панель JA Solar JAM72D42 630 Вт

Тепер визначимо необхідну кількість сонячних панелей для реалізації системи резервного живлення за формулою:

$$N_{\text{СП}} = \frac{P_{1\text{год}}}{P_{\text{СП}}}, \quad (2.11)$$

де:

$N_{\text{СП}}$ – кількість сонячних панелей, шт;

$P_{\text{СП}}$ – потужність однієї сонячної панелі, кВт.

В результаті отримаємо:

$$N_{\text{СП}} = \frac{4,6 \cdot 10^3}{630} = 7,3 \text{ шт.}$$

На основі отриманих результатів ми бачимо, що нам потрібно більше семи сонячних панелей. Отже, остаточне рішення щодо необхідної кількості панелей приймаємо рівним $N_{СП} = 8$ шт.

2.6 Розрахунок інвертора та вибір його типу

Інвертори – це напівпровідникові пристрої, які перетворюють електроенергію постійного струму (від акумуляторних батарей чи сонячних панелей) у змінний струм, необхідний для живлення побутових споживачів. У приватних будинках основними споживачами є обладнання, що працює від напруги 230 В, а у випадку теплових насосів та потужних систем – також від 400 В.

Сучасне інверторне обладнання класифікується за трьома основними категоріями: мережеві пристрої, що функціонують синхронно з централізованою мережею та мають суворі вимоги до якості сигналу; автономні моделі, які працюють від акумуляторних батарей і допускають гнучкіші параметри напруги; та гібридні рішення, що об'єднують можливості обох типів, що є найбільш ефективним для приватного сектору.

Для систем автономного типу критичне значення має вибір вхідної напруги (від 12 В до 120 В і вище), оскільки її підвищення спрощує архітектуру приладу та збільшує його коефіцієнт корисної дії. При цьому важливо, щоб високий рівень ККД зберігався навіть за умов низького навантаження, що не перевищує номінальні показники. У свою чергу, мережеві інвертори працюють з високою вхідною напругою та обов'язково комплектуються MPPT-контролерами для максимального вилучення енергії з фотомодулів.

У даному проєкті для забезпечення надійної роботи теплового насоса найбільш доцільним є встановлення саме гібридного інвертора. Таке обладнання дозволяє одночасно підтримувати працездатність опалювальної

системи від акумуляторів під час аварійних відключень та працювати в паралелі з основною мережею, оптимізуючи використання сонячної генерації.

Для коректного підбору конкретної моделі інвертора необхідно врахувати два ключові чинники: розрахункову енергію постійного струму з поправкою на технічні втрати пристрою, а також номінальну потужність, яка повинна безперешкодно покривати пікові пускові та робочі навантаження теплового насоса разом із іншими побутовими споживачами.

Отже визначимо необхідну енергію постійного струму інвертора для його правильного вибору:

$$E_{\text{інверт.}} = k \cdot P_{\text{сп_тиж.}} \quad (2.12)$$

де:

$E_{\text{інверт.}}$ – енергія постійного струму інвертора, кВт·год;

k – коефіцієнт втрат потужності інвертора, який приймають рівний значенню: $k = 1,2$;

$P_{\text{сп_тиж.}}$ – тижнева потужність споживання системи електричного обігріву, кВт·год.

Отримаємо:

$$E_{\text{інверт.}} = 1,2 \cdot 774,2 = 929,04 \text{ кВт·год.}$$

Далі визначимо необхідну потужність самого інвертора:

$$P_{\text{інверт.}} = 2 \cdot \frac{E_{\text{інверт.}}}{n_{\text{рг/доба}} \cdot n_{\text{рд_інв.}}} \quad (2.13)$$

де:

$P_{\text{інверт.}}$ – потужність інвертора, кВт;

$n_{\text{рг/доба}}$ – кількість робочих годин на добу інвертора, год.;

$n_{\text{рд_інв.}}$ – кількість робочих днів інвертора на тиждень.

Через те, що схема системи резервного живлення буде **автономно-мережева**, то інвертор при повній зарядці акумуляторних батарей все одно буде працювати, перетворюючи надлишкову вироблену електроенергію з подальшою передачею її до основної мережі, це означає, що $n_{pg/доба}$ інвертора має становити 24 год., а кількість робочих днів інвертора $n_{pd.інв.} = 7$ днів.

Тоді за виразом 2.13 матимемо:

$$P_{інверт.} = 2 \cdot \frac{929,04}{24 \cdot 7} = 11,1 \text{ кВт} \approx 12 \text{ кВт}$$

Отже, з урахуванням вищезазначених результатів розрахунків, доцільно вибрати гібридний трифазний інвертор Must PV19-6048 EXP (див. рис. 2.8). В таблиці 2.2 наведено основні технічні характеристики обраної моделі інвертора.

Слід зазначити, що обрана модель інвертора має вбудований контролер заряду та розряду акумуляторних батарей. Це є важливим аспектом, адже завдяки такій інтеграції система резервного живлення стає компактнішою та простішою в експлуатації. Для приватного будинку з тепловим насосом компактність і надійність обладнання мають особливе значення.



Рисунок 2.8 – Гібридний інвертор Must PV19-6048 EXP

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики інвертора Must PV19-6048 EXP

Номінальна потужність	12000 Вт (12 кВт)
Вхідна напруга постійного струму	48 В
Максимальний зарядний струм MPPT	120 А
Діапазон вхідної напруги PV	120–450 В
Тип інвертора	Гібридний (автономний + мережевий)
Форма вихідної напруги	Чиста синусоїда
Номінальна вихідна напруга	220/230 В (однофазна)
Частота вихідного сигналу	50/60 Гц
ККД інвертора	до 93–95 %
Перемикання на акумулятори	Так
Режими роботи	Автономний, паралельний з мережею, резервний
Інтерфейси	RS-232, USB, Wi-Fi (опційно)

2.7 Розрахунок та вибір типу акумуляторних батарей

Акумуляторні батареї – це багаторазові джерела електричної енергії, які після заряджання здатні забезпечувати роботу системи протягом певного часу, визначеного виробником.

Основним параметром є ємність акумулятора, яка визначає тривалість автономної роботи при заданому навантаженні. Вона безпосередньо впливає на:

- тривалість автономної роботи системи;
- економічну доцільність та вартість рішення;
- сферу застосування;
- термін служби батареї.
- Ємність вимірюється в амперах-годинах (А·год).

Щоб розрахувати ємність акумуляторів для резервування теплового насоса в приватному будинку, використовується стандартний алгоритм. Він базується на трьох ключових показниках: сумарному навантаженні, необхідному часі автономності та коефіцієнті корисної дії (ККД) інвертора.

Формула для розрахунку має вигляд:

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

$$C_{\text{АБ_заг.}} = \frac{\sum P_{\text{ТН}} \cdot t}{U \cdot k}, \quad (2.14)$$

де:

$C_{\text{АБ_заг.}}$ – загальна ємність акумуляторних батарей, А·год.;

$P_{\text{заг}}$ – загальну електрична потужність системи опалення приватного будинку на базі теплового насоса, Вт;

t – час роботи акумуляторних батарей, год.;

k – коефіцієнт, який відображає, яка частина ємності акумуляторних батарей використовується;

U – напруга акумуляторних батарей, В.

Коефіцієнт k , що компенсує неповний заряд батареї, зазвичай приймають рівним: $k = 0,95$.

З огляду на номінальну потужність теплового насоса $P = 11,06$ кВт, цільовий час автономної роботи $t = 5$ год. та напругу системи $U = 24$ В, визначену параметрами інвертора, розрахунок набуває такого вигляду:

$$C_{\text{АБ заг.}} = \frac{11,06 \cdot 10^3 \cdot 5}{24 \cdot 0,95} = 2425 \text{ А·год.}$$

На українському ринку представлений широкий асортимент акумуляторних батарей у різних цінових категоріях, що залежать від їхньої ємності та технології. Для приватного будинку з тепловим насосом ключову роль відіграє не лише компактність, а й надійність та тривалість автономної роботи. Тепловий насос є потужним споживачем, тому доцільно обирати акумуляторні батареї з великою ємністю, щоб забезпечити стабільне резервне живлення всієї системи. Чим більша ємність – тим менше модулів потрібно для складання батарейного масиву, а отже, простіше монтаж і обслуговування. Водночас слід враховувати, що зі збільшенням ємності зростає і вартість акумуляторів.

Для забезпечення енергопотреб приватного домоволодіння можна обрати один із декількох типів акумуляторів, кожен з яких має свої особливості. Найбільш доступним варіантом є необслуговувані та безпечні AGM акумулятори зі свинцево-кислотною основою, проте вони поступаються іншим моделям за тривалістю експлуатації. Більш стійкими до вібрацій та механічних навантажень є гелеві батареї (GEL), де електроліт перебуває у в'язкому стані, що підвищує їхню надійність. Водночас найсучаснішим та найбільш ефективним рішенням вважаються літій-залізо-

фосфатні акумулятори (LiFePO_4), які завдяки стабільності, мінімальному саморозряду та винятковому ресурсу роботи є ідеальним вибором для систем резервного живлення, особливо при використанні енергоємного обладнання на кшталт теплових насосів.

Оптимальним рішенням для даного проєкту є встановлення літій-залізо-фосфатних акумуляторів (LiFePO_4) від виробника LiFeR з номінальною ємністю 220 А·год та напругою 24 В (див. рисунок 2.9). При середній вартості одного модуля близько 32 230 грн, необхідна сумарна ємність системи (зокрема 2425 А·год) досягається шляхом паралельного з'єднання декількох таких одиниць. Така конфігурація дозволяє сформувати потужний і компактний енергоблок, що гарантує стабільну роботу теплового насоса та критично важливої побутової техніки під час аварійних відключень.



Рисунок 2.9 – Акумуляторна батарея LiFeR, тип LifeP04
24 В / 220 А·год

Далі розрахуємо необхідну кількість акумуляторних батарей обраної моделі за допомогою формули:

$$n_{\text{АБ}} = \frac{C_{\text{АБ заг.}}}{C_{\text{АБ}}} , \quad (2.15)$$

де:

$n_{\text{АБ}}$ – кількість акумуляторних батарей, шт.;

$C_{\text{АБ заг.}}$ – загальна ємність акумуляторних батарей, А·год;

$C_{\text{АБ}}$ – ємність однієї обраної моделі акумуляторної батареї, А·год.

Отримаємо, що:

$$n_{\text{АБ}} = \frac{2425}{220} = 11 \text{ шт.}$$

2.8 Вибір пристрою автоматичного ввімкнення резерву

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.018.ПЗ

Аркуш

Система автоматичного введення резерву (АВР) призначена для безперебійного живлення об'єкта шляхом автоматичного перемикавання навантаження на альтернативне джерело енергії у разі відхилення параметрів основної мережі від норми. Логіка роботи пристрою базується на постійному моніторингу вхідної напруги блоком керування, який при виявленні несправностей ініціює команду на перемикавання комутаційних апаратів.

Залежно від складності системи, керування може здійснюватися за допомогою релейної логіки або програмованих контролерів, а як силова частина використовуються магнітні контактори, тиристорні ключі або автоматичні вимикачі з мотор-приводом. Ключовою особливістю надійного АВР є наявність подвійного блокування – електричного та механічного, що фізично унеможливорює небезпечне зустрічне ввімкнення двох джерел одночасно.

При виборі конкретного обладнання для приватного будинку з інтегрованою сонячною станцією необхідно враховувати генерацію фотоелектричних модулів. Оскільки сумарна потужність встановлених панелей становить 5,04 кВт (8 х 630 Вт), система автоматизації має бути розрахована на відповідні струмові навантаження. З огляду на технічні вимоги та потужність теплового насоса, оптимальним вибором є пристрій Schneider Electric EasyPact ATS, який забезпечує гарантовану комутацію між загальною мережею та резервною системою живлення. Його зовнішній вигляд показано на рисунку 2.10, а в таблиці 2.3 наведено основні технічні характеристики.



Рисунок 2.10 – Пристрій автоматичного введення резерву Schneider Electric EasyPact ATS

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики пристрою автоматичного введення резерву Schneider Electric EasyPact ATS

Номінальний струм:	від 15 А до 400 А (залежно від моделі)
Номінальна напруга:	220/230 В (однофазні) або 400/415 В (трифазні)
Кількість полюсів:	3 або 4 (для трифазних систем)
Тип комутації:	автоматичні вимикачі EasyPact CVS/MVS з моторизованим приводом
Час перемикання:	кілька секунд (залежно від конфігурації)
Захист:	від перевантаження та короткого замикання
Блокування:	електричне та механічне для запобігання одночасному включенню джерел

2.9 Обґрунтування вибору частотного перетворювача для керування тепловим насосом

Для забезпечення енергоефективної роботи теплового насоса потужністю близько 11 - 12 кВт та мінімізації пускових навантажень на електричну мережу приватного будинку, проектом передбачено використання частотного перетворювача. Враховуючи трифазну структуру живлення компресора теплового насоса (400 В), обрана модель повинна мати

відповідний номінальний струм із запасом 15–20% для стабільної роботи у режимах максимального навантаження.

У ході аналізу сучасних рішень для систем опалення, до встановлення пропонується частотний перетворювач Danfoss VLT HVAC Drive FC 102 потужністю 15 кВт (див. рисунок 2.11). Даний вибір зумовлений наступними технічними перевагами:

- спеціалізований алгоритм керування: мМодель FC 102 розроблена безпосередньо для приводів компресорів та насосів, що дозволяє автоматично оптимізувати енергоспоживання (функція AEO) та знизити експлуатаційні витрати на 15 – 25%;
- захисні функції: вбудований моніторинг стану системи запобігає пошкодженню компресора при критичних змінах тиску або витоку холодоагенту, а також забезпечує плавний пуск, що значно подовжує механічний ресурс обладнання;
- електромагнітна сумісність: наявність вбудованих фільтрів радіоперешкод (RFI) класу A1/B забезпечує коректну роботу побутової електроніки в будинку, мінімізуючи вплив гармонійних спотворень на внутрішню мережу.

Як альтернативне рішення було розглянуто серію Schneider Electric Altivar Process ATV630, яка вирізняється розвиненими можливостями мережевої інтеграції та вбудованими протоколами диспетчеризації (Modbus TCP). Проте, враховуючи пріоритет надійності в роботі з холодильними циклами, саме серія VLT HVAC Drive є найбільш доцільною для реалізації автономної системи теплозабезпечення.

Використання обраного перетворювача частоти дозволяє не лише стабілізувати температуру в приміщеннях завдяки точному регулюванню обертів компресора, а й забезпечити сталий контроль і віддалений моніторинг ключових параметрів роботи обладнання. Висока точність налаштування частоти обертання двигуна сприяє оптимізації

термодинамічних процесів у системі опалення та підвищує загальну надійність експлуатації теплового насоса.



Рисунок 2.11 – Частотний перетворювач Danfoss VLT HVAC Drive FC 102

3 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЄКТУ

3.1 Визначення капітальних витрат на реалізацію системи опалення тепловим насосом

У цьому дипломному проєкті була розроблена система електричного					ДП.141.042.018.ПЗ				
Зм.	Арк.	№ Док.	Підпис	Дата	опіву приватного господарства на основі теплового насосу з резервним				
Розробк.	Арк.	№ Док.	Підпис	Дата	живленням від сонячних панелей. Тому завдання, яке полягає в даному				
Перевірк.	Арк.	№ Док.	Підпис	Дата	розділі, де визначити капітальні та експлуатаційні витрати на впровадження				
					3 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ				
Н. Контр.	Арк.	№ Док.	Підпис	Дата	ПРОЄКТУ				
Затв.	Арк.	№ Док.	Підпис	Дата	ДП.141.042.018.ПЗ ЖАТФК, Гр. Е-42				
					Аркуш				
					50				

даної системи, а також розрахувати термін її окупності. Крім того, потрібно оцінити економічну вигідність цієї системи.

Оцінка вартості обладнання, яке буде використовуватися в системі, є важливою. Також слід врахувати витрати на обслуговування елементів системи протягом усього терміну її експлуатації (15 років) і витрати на заміну елементів. Оскільки наша система забезпечена резервним живленням, заміна акумуляторних батарей буде проводитися через 10 років роботи системи. Витрати на обслуговування елементів системи приймаються у розмірі 1% від вартості обладнання.

Під час аналізу кошторису, першочергово слід визначити загальну річну вартість системи (Total Annualized Cost, TAC) за таким принципом:

$$TAC = \frac{TLCC}{CPWF}, \quad (3.1)$$

де:

TLCC (Total Life Cycle Cost) – сукупна вартість системи за весь період її експлуатації;

CPWF (Cumulative Present Worth Factor) – комбінований фактор фактичної вартості.

У таблиці 3.1 наведені всі капітальні витрати на реалізацію розробленої системи в рамках цього дипломного проєкту.

Таблиця 3.1 – Капітальні витрати проєкту

№	Назва технічних матеріалів	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
ТЕПЛОВА СИСТЕМА				
1	Тепловий насос NIBE F1145 12 кВт 400В	1	185000 грн	185000 грн
Всього по системі:			185000 грн.	
	СИСТЕМА РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ			
1	Сонячна панель Longi Solar типу JA Solar JAM72D42 630 Вт	8 шт.	6500 грн	52000 грн
2	Акумуляторна батарея LiFeR, тип LifeP04 24 В / 220 А·год	11 шт.	32230 грн	354530 грн
3	Гібридний інвертор Must PV19-6048 EXP	1 шт.	45000 грн	45000 грн
4	Пристрій автоматичного введення резерву Schneider Electric EasyPact ATS	1 шт.	18000 грн	18000 грн
5	Частотний перетворювач Danfoss VLT HVAC Drive FC 102	1шт	28351 грн	28351 грн
Всього по системі:			497881 грн	
Всього загальна вартість:			682881 грн	

Капітальні вкладення – це фінансові ресурси, що використовуються для створення та придбання основних засобів і нематеріальних активів, які підлягають амортизації. Капітальні вкладення є необхідними для впровадження запропонованої системи та є одним із найважливіших показників, які використовуються для економічної оцінки ефективності системи.

Розрахунок вартості монтажних та налагоджувальних робіт здійснюємо за формулою:

$$K_{\text{МН}} = \sum (C_i \cdot a \cdot t_i) \cdot K_{\text{Д}} \cdot K_{\text{СМ}} \cdot K_{\text{ПР}}, \quad (3.2)$$

де:

C_i – кількість працівників i -го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт;

a – годинна тарифна ставка працівників i -го розряду, грн;

t_i – час, потрібний для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, год.;

$K_{\text{Д}} = 1,1 \dots 1,5$ – коефіцієнт, що враховує рівень додаткових виплат;

$K_{\text{СМ}} = 1,22$ – коефіцієнт, що враховує внески на соціальні заходи;

$K_{\text{ПР}} = 1,1 \dots 1,5$ – коефіцієнт, що враховує додаткові витрати на виконання монтажних (налагоджувальних) робіт.

Вартість монтажно-налагоджувальних робіт для теплового насоса та резервного джерела живлення визначається множенням базових показників на коефіцієнти складності. У реальних умовах Житомира подібні послуги надають компанії, що спеціалізуються на теплових насосах та системах опалення. Згідно з актуальними розцінками, монтаж котла потужністю до 55 кВт коштує 4500 – 6900 грн, встановлення батареї: 1000 – 1800 грн/шт., прокладання поліпропіленових труб: 50 – 100 грн/м.пог, а монтаж колектора – близько 1430 грн/шт. Транспортні витрати залежать від перевізника та маси обладнання, наприклад, доставка шести вантажних місць загальною масою до 5000 кг може становити близько 5500 грн. Таким чином, використання реальних тарифів дозволяє сформулювати практичну оцінку капітальних вкладень у систему автономного тепlopостачання.

$$K_{\text{МН ТН}} = (4 \cdot 80 \cdot 10) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,5 = 6\,441,6 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{МН РЖ}} = (2 \cdot 100 \cdot 10) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,5 = 4026 \text{ грн.}$$

Визначимо капітальні витрати на системи опалення тепловим насосом та систему резервного живлення за допомогою наступної формули:

$$K = K_{\text{ОБ}} + K_{\text{ТР}} + K_{\text{МН}}, \quad (3.3)$$

де:

K_{OB} – вартість обладнання для зведення витрат (без ПДВ), грн.;

K_{TP} – транспортно-заготівельні та складські витрати, грн.;

K_{MH} – витрати на монтаж та налагодження обладнання, грн.

Отримаємо, що:

$$K_{(TH)} = 185000 + 5500 + 6400 = 196900 \text{ грн};$$

$$K_{(PJ)} = 497881 + 5500 + 4000 = 507381 \text{ грн};$$

$$K_{(TH+PJ)} = K_{TH} + K_{PJ} = 196900 + 507381 = 704281 \text{ грн}.$$

Капітальні витрати на опалення тепловим насосом та її резервне живлення становлять 704281 грн.

3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на впровадження розробленої системи

Експлуатаційні витрати – це поточні витрати на функціонування та обслуговування об'єкта проектування протягом певного періоду, виражені у грошовій формі. До основних статей експлуатаційних витрат на електротехнічне обладнання належать: амортизаційні відрахування (C_a); вартість споживаної електроенергії (C_e); основна й додаткова заробітна плата обслуговуючого персоналу та внески на соціальні заходи (C_3); витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт обладнання (C_T); інші витрати ($C_{ін}$). Таким чином, річні експлуатаційні витрати об'єкта проектування становлять:

$$C = C_a + C_e + C_3 + C_T + C_{ін} . \quad (3.4)$$

У даному проекті система теплового насоса та резервного живлення є повністю автономними і не потребують постійної присутності оператора. Планові роботи з обслуговування виконуватиме власник домогосподарства, тому статті витрат C_3 та $C_{ін}$ приймаються рівними нулю. Амортизаційні відрахування розраховуються виходячи з терміну служби обладнання: для теплового насоса він становить 15 років, а для резервного живлення – 10 років (через необхідність періодичної заміни акумуляторних батарей). При використанні прямолінійного методу норма амортизації залишається сталою протягом усього періоду експлуатації, її можна розрахувати за виразом:

$$H_a = \frac{K}{K \cdot T_n} \cdot 100\% , \quad (3.5)$$

де:

T_n – період якісного використання системи (амортизаційний період), років;
 K – капітальні витрати на розроблену систему, грн.

Отримаємо, що:

$$H_{a(TH)} = \frac{196900}{196900 \cdot 15} \cdot 100\% = 6,7\% .$$

$$H_{a(PJ)} = \frac{507381}{507381 \cdot 10} \cdot 100\% = 10\% .$$

$$H_{a(TH+PJ)} = \frac{704281}{704281 \cdot 12,5} \cdot 100\% = 8\% .$$

Річні амортизаційні відрахування для системи опалення приватного домогосподарства з тепловим насосом та резервним живленням визначаються за формулою, що враховує капітальні витрати та термін експлуатації обладнання. Такий підхід дозволяє рівномірно розподілити вартість системи протягом усього періоду її використання. Ми будемо розраховувати за допомогою наступної формули:

$$C_a = \frac{K \cdot H_a}{100} , \quad (3.6)$$

де:

H_a – норма амортизації, %;

K – капітальні витрати на розроблену систему, грн.

Будемо мати, що:

$$C_{a(TH)} = \frac{196900 \cdot 6,7}{100} = 13192,3 \text{ грн} ;$$

$$C_{a(PJ)} = \frac{507381 \cdot 10}{100} = 50738,1 \text{ грн} ;$$

$$C_{a(TH+PJ)} = \frac{704281 \cdot 8}{100} = 56342,48 \text{ грн} .$$

Окрім амортизації, необхідно врахувати витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт. До цієї статті належать витрати на матеріали, запасні частини та роботи з обслуговування. Для спрощення розрахунків приймається, що річні витрати на технічне обслуговування та ремонт становлять 1% від загальної суми капітальних витрат. Це дозволяє сформулювати реалістичну оцінку експлуатаційних витрат системи теплового насоса та резервного живлення у приватному домогосподарстві:

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$(3.7)$$

Отримаємо:

$$C_{T(TH)} = 0,01 \cdot 196900 = 1969 \text{ грн.};$$

$$C_{T(PЖ)} = 0,01 \cdot 507381 = 5074 \text{ грн.};$$

$$C_{T(TH+PЖ)} = 0,01 \cdot 704281 = 7043 \text{ грн.}$$

Розрахунок річних експлуатаційних витрат для об'єкта проектування здійснюється за формулою 3.4, вони становлять:

$$C_{(TH)} = 13192,3 + 0 + 0 + 1969 = 15161,3 \text{ грн.};$$

$$C_{(PЖ)} = 50738,1 + 0 + 0 + 5074 = 55812,1 \text{ грн.};$$

$$C_{(TH+PЖ)} = 56342,48 + 0 + 0 + 7043 = 63386 \text{ грн.}$$

3.3 Розрахунок терміну окупності розробленої системи інфрачервоного електричного обігріву

Загальна електрична потужність розробленої в даному дипломному проєкті системи теплопостачання приватного будинку становить приблизно 11,06 кВт. Це означає, що за одну годину роботи система споживає близько 11,06 кВт·год електричної енергії.

Тривалість роботи системи протягом доби залежить від теплотехнічних характеристик будівлі, рівня її утеплення, а також від застосування автоматичних систем регулювання температури. У середньому система може функціонувати від 4 до 10 годин на добу, що дозволяє підтримувати необхідний температурний режим у приміщенні.

При цьому передбачається, що будинок має достатній рівень теплоізоляції, оскільки ефективне утеплення огорожувальних конструкцій є одним із ключових факторів зменшення енергоспоживання та підвищення енергоефективності будь-якої системи опалення.

Отже, визначимо місячні витрати на електроенергію, необхідну для роботи розробленої системи опалення приватного будинку.

$$M_{\text{ТН с.о.}} = P_{\text{заг.}} \cdot t \cdot n_{\text{днів}} \cdot E_{\text{ТН о.п.}}, \quad (3.8)$$

де:

$M_{\text{ТН со}}$ – місячні витрати на електроенергію, необхідну для роботи

розробленої системи опалення приватного будинку, грн;

$P_{\text{заг.}}$ – загальна електрична потужність обладнання системи теплопостачання, кВт;

t – середня тривалість роботи системи опалення протягом доби, год./добу;

$n_{\text{в.заг.}}$ – кількість днів роботи системи протягом місяця (для розрахунків приймається 30 днів);

$E_{\text{тн о.п.}}$ – тариф на електричну енергію, що споживається системою теплопостачання. Станом на сьогодні він становить 4,32 грн за 1 кВт·год.

Матимемо, що:

$$M_{\text{тн с.о.}} = 11,06 \cdot 6 \cdot 30 \cdot 4,32 = 8600,25 \text{ грн.}$$

Структура резервного енергозабезпечення розробленої системи теплопостачання приватного будинку має автономно-мережевий характер. Це означає, що вироблена сонячними панелями електроенергія використовується насамперед для живлення теплового насоса та інших елементів системи опалення. Частина отриманої електроенергії може спрямовуватися на заряджання акумуляторних батарей, які забезпечують резервне живлення у разі відсутності електроенергії в мережі. У випадку утворення надлишку виробленої електроенергії вона може бути передана до загальної електромережі.

Згідно із Законом України №514-VIII від 04.06.2015р. та постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, встановлено ставки так званого «зеленого» тарифу для електроенергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії. Відповідно до цих нормативних документів, ставка «зеленого» тарифу у визначений період становить 0,163 євро за 1 кВт·год, що приблизно дорівнює 6,81 грн за 1 кВт·год.

Для оцінки ефективності роботи системи альтернативного енергозабезпечення необхідно визначити річний обсяг виробництва електричної енергії сонячною електростанцією, який розраховується за відповідною формулою.

$$W = P_{\text{СП}} \cdot N_{\text{СП}} \cdot n_{\text{днів}} \cdot n_{\text{світл.год.}} \quad (3.9)$$

де:

W – річний обсяг виробництва електричної енергії системою резервного енергозабезпечення на основі сонячних панелей, кВт·год;

$N_{\text{СП}}$ – кількість сонячних панелей типу JAM72D42 630 Вт компанії-виробника Longi Solar, шт;

$n_{\text{днів}}$ – кількість днів в році, шт.;

$P_{\text{СП}}$ – потужність однієї сонячної панелі JA Solar JAM72D42 630 Вт компанії-виробника Longi Solar, кВт;

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

$n_{\text{світл.год.}}$ – середня тривалість світлового дня, протягом якого відбувається генерація електроенергії сонячними панелями, год./добу (у розрахунках приймається 8–18 год. залежно від пори року).

Будемо мати, що:

$$W = 630 \cdot 8 \cdot 365 \cdot 12 = 22075200 \text{ Вт} = 22075,2 \text{ кВт.}$$

Таким чином, на основі отриманих розрахунків можна визначити річний обсяг виробництва електричної енергії сонячною електростанцією, а також оцінити економічну ефективність використання системи альтернативного енергозабезпечення для живлення теплового насоса та інших електричних споживачів у приватному будинку:

$$Y_{\text{розробленої системи}} = 6,81 \text{ грн} \cdot W - n_{\text{місяців}} \cdot M_{\text{ТН с.о.}}, \quad (3.10)$$

де:

$Y_{\text{розробленої системи}}$ – щорічний дохід від експлуатації розробленої системи приватного господарства з резервним живленням від сонячних панелей, грн.;
 $n_{\text{місяців}}$ – період опалювального сезону (кількість місяців), шт.

Отримаємо:

$$Y_{\text{розробленої системи}} = 6,81 \text{ грн} \cdot 22075,2 - 6 \cdot 8 \cdot 600,25 = 98777,11 \text{ грн.}$$

Для розрахунку терміну окупності розробленої системи скористаємось виразом:

$$T_{(\text{ТН+РЖ})} = \frac{K}{Y_{\text{розробленої системи}}}, \quad (3.11)$$

Матимемо, що:

$$T_{\text{резервне живлення}} = \frac{704281}{98777,11}$$

4 ОХОРОНА ПРАЦІ					ДП.141.042.018.ПЗ		
Зм.	Арк.	4	Додаток	до проекту	Додаток до проекту		
Розробив	Зайцев Б. Р.				Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір	Антипчук Б.О.				У	60	70
4 ОХОРОНА ПРАЦІ					ДП.141.042.018.ПЗ ЖАТФК, Гр. Е-42		
Н. Контр.	Антипчук Б.О.				Аркуші		
Зам.	Арк.	Гнатюк О.Ф.	Підпис	Дата	59		

Експлуатація комплексної енергетичної системи, що об'єднує тепловий насос, сонячні панелі та акумуляторні батареї, пов'язана з низкою специфічних техногенних ризиків, які підлягають суворій класифікації згідно з нормами ДСТУ. Ключовим фактором небезпеки є робота сонячних масивів, що генерують постійний струм високої напруги (у діапазоні 400 – 800 В). На відміну від змінного струму, постійний схильний до утворення стійкої електричної дуги, яку вкрай важко загасити; це створює критичні ризики не лише для життя персоналу через ураження струмом, а й для цілісності об'єкта через високу ймовірність займання при найменшому погіршенні контактів. Паралельно з цим, функціонування потужних інверторів супроводжується виникненням інтенсивних електромагнітних полів, що вимагає чіткого зонування території для запобігання негативному впливу випромінювання на здоров'я людей.

Не менш складний сегмент ризиків зосереджений навколо роботи теплового насоса, де поєднуються баричні, хімічні та фізичні загрози. Обладнання функціонує під екстремальним тиском до 25 – 30 Бар, що у разі розриву трубопроводів може призвести до важкого механічного травмування. До того ж, використання холодоагентів (фреонів) у закритому контурі несе хімічну небезпеку: при розгерметизації газ здатний витіснити кисень із приміщення, спричиняючи отруєння або задуху. Робота компресорного вузла також є джерелом постійного низькочастотного шуму та вібрації, які при тривалому впливі провокують розлади нервової системи та професійну втому.

Окрему увагу слід приділити системам накопичення енергії. Сучасні літієві акумулятори (Li-ion та LiFePO₄) при механічних пошкодженнях, дефектах конструкції або порушенні режимів заряду схильні до так званого «термічного розгону». Ця ланцюгова хімічна реакція супроводжується миттєвим виділенням величезної кількості теплової енергії та токсичних

газів, причому таку пожежу майже неможливо ліквідувати стандартними засобами пожежогасіння. Таким чином, лише системний підхід до безпеки, що враховує електротехнічні, термодинамічні та хімічні властивості всіх компонентів, дозволяє мінімізувати ймовірність аварійних ситуацій під час експлуатації такої складної інженерної мережі.

4.2 Технічні заходи безпеки при експлуатації розробленої системи

Для забезпечення надійної експлуатації та нівелювання потенційних загроз впроваджується комплексна багаторівнева система безпеки, яка охоплює електричний, атмосферний та гідравлічний захист обладнання. Ключовим елементом є створення розгалуженої системи заземлення та зрівнювання потенціалів, що передбачає об'єднання всіх металевих конструкцій об'єкта – від опорних рам сонячних панелей та корпусів теплових насосів до металевих баків-акумуляторів – у єдиний замкнений контур. Це дозволяє усунути різницю напруг між окремими елементами системи, виключаючи ризик виникнення небезпечних струмів через тіло людини при випадковому контакті. Оскільки сонячні масиви зазвичай розташовані на відкритих ділянках або дахах будівель і є потенційними цілями для грозових розрядів, критично важливим є облаштування активного блискавкозахисту. Він доповнюється встановленням пристроїв захисту від імпульсних перенапруг (ПЗІП), які миттєво відводять надлишкову енергію в землю, захищаючи чутливу мікропроцесорну автоматику та інвертори від вигорання під час атмосферних розрядів чи стрибків напруги в мережі.

Важливу роль у системі електробезпеки відіграє захисна автоматика, зокрема пристрої захисного вимкнення (ПЗВ) та диференційні автомати. Ці пристрої здійснюють безперервний моніторинг струмів витоку: у разі найменшого пошкодження ізоляції кабелю чи обмотки двигуна система миттєво знеструмлює аварійну ділянку, що запобігає як ураженню персоналу, так і виникненню пожежі. Паралельно з електричною безпекою реалізується багаторівневий захист гідравлічної частини теплового насоса.

Для запобігання критичному зростанню тиску, що виникає внаслідок термічного розширення теплоносія під час нагрівання, у систему обов'язково інтегруються розширювальні баки відповідного об'єму. Вони працюють у парі з дублюючими запобіжними клапанами, які здійснюють аварійне скидання надлишку рідини у разі виходу робочих параметрів за межі допустимих норм, забезпечуючи тим самим цілісність трубопроводів та теплообмінних вузлів. Такий інтегрований підхід дозволяє створити стійку до зовнішніх та внутрішніх факторів інженерну мережу, де кожен рівень захисту компенсує відповідні специфічні ризики.

4.3 Пожежна безпека при експлуатації розробленої системи

З огляду на надзвичайно високу енергоємність розробленої нами автономної системи опалення з резервним живленням від сонячних панелей, стратегія пожежної безпеки базується на комплексному поєднанні конструктивних рішень, інженерних систем життєзабезпечення та суворого дотримання регламентів пожежогасіння. Першочерговим превентивним заходом є впровадження спеціальних конструктивних стандартів монтажу, де особлива увага приділяється трасам постійного струму (DC). Оскільки сонячні панелі генерують високу напругу, всі кабельні лінії від фотоелектричного поля до інверторного обладнання повинні прокладатися виключно в негорючих металевих лотках, сталевих трубах або спеціалізованих гофротрубах із маркуванням «НГ», що мають властивість самозатухання. Такий підхід локалізує можливе коротке замикання всередині вогнетривкої оболонки та перешкоджає поширенню полум'я по конструкціях будівлі.

Не менш критичним аспектом є організація мікроклімату в технічних приміщеннях, де розташовані блоки акумуляторних батарей. Процеси заряду та розряду неминуче супроводжуються виділенням теплової енергії, а у випадку використання певних типів накопичувачів, як-от свинцево-кислотних, – ще й виділенням вибухонебезпечного водню. Для запобігання

утворенню небезпечних концентрацій газів та критичному перегріву комірок АКБ, приміщення має бути обладнане системою примусової припливно-втяжної вентиляції або забезпечене вискоєфективним природним повітрообміном, що гарантує безперервне відведення надлишкового тепла та хімічних сполук.

На завершальному рівні безпеки передбачається оснащення об'єкта первинними засобами пожежогасіння, які відповідають специфіці електроустановок. Для ліквідації займань у таких системах дозволяється використовувати лише вуглекислотні або порошкові вогнегасники (класів А, В, С, Е), які здатні ефективно пригнічувати полум'я, не пошкоджуючи при цьому чутливу електроніку та не створюючи загрози для рятувальників. Важливо суворо дотримуватися правила, згідно з яким використання води або піни для гасіння електроустановок, що перебувають під напругою, категорично заборонено через високу електропровідність рідини, що може призвести до миттєвого ураження персоналу електричним струмом та масштабного короткого замикання в системі.

4.4 Вимоги до монтажу та експлуатації розробленої системи

Безпека під час проведення монтажних та сервісних робіт забезпечується через суворе дотримання комплексних регламентів, що охоплюють професійну підготовку, технічні засоби захисту та адаптацію до зовнішніх умов. Насамперед на рівні кадрового допуску встановлюється жорсткий кваліфікаційний бар'єр: до будь-яких операцій з енергосистемою залучаються лише особи, які пройшли спеціалізоване навчання та офіційно підтвердили групу з електробезпеки не нижче III, що є обов'язковою вимогою для роботи з установками під напругою до 1000 В. Крім фахових знань, персонал зобов'язаний використовувати повний спектр засобів індивідуального захисту, адаптованих до конкретних зон ризику. У безпосередній близькості до інверторного обладнання критично важливим є використання діелектричних килимків та калош, що розривають електричний

ланцюг у разі витоку струму, тоді як загальний захист забезпечується сертифікованими касками та спецодягом з антистатичних тканин, які нівелюють вплив статичної електрики на чутливі мікропроцесори.

Процес встановлення компонентів системи на дахах чи фасадах класифікується як робота на висоті, що вимагає обов'язкового застосування сертифікованих страхувальних систем, таких як запобіжні пояси, троси та надійні точки анкерного кріплення. При цьому регламенти суворо забороняють проведення будь-яких висотних маніпуляцій у несприятливих метеорологічних умовах: під час опадів, ожеледиці або при сильних поривах вітру, що перевищують 15 м/с, оскільки такі чинники критично підвищують імовірність травматизму. Важливу роль у запобіганні аваріям відіграє візуальна ідентифікація загроз за стандартами ДСТУ EN ISO 7010. Особливу специфіку має маркування кабельних ліній постійного струму, які обов'язково оснащуються попереджувальними мітками про наявність напруги у світловий час доби. Це зумовлено технічною особливістю сонячних панелей, які неможливо миттєво «вимкнути» або знеструмити, поки на їхню поверхню потрапляє сонячне світло, що створює постійну приховану загрозу для фахівця навіть при відключенні загальних автоматів живлення.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломного проєкту було розроблено та обґрунтовано систему автономного теплопостачання приватного будинку на базі геотермального теплового насоса з інтегрованою системою резервного живлення від сонячної електростанції.

У ході роботи проведено порівняльний аналіз сучасних методів опалення, який підтвердив, що використання теплових насосів є найбільш

енергоефективним та екологічно безпечним рішенням, оскільки дозволяє

отримувати до 4 кВт теплової енергії на кожну спожиту кВт·годину

Перевір Антупчук Б.О.

4 ВИСНОВКИ

ДП.141.042.018.ПЗ ЖАТФК, Гр. Е-42

Затверд. Арк. Гнатюк О.Ф. Підпис Дата

електрики. На основі теплотехнічного розрахунку об'єкта було визначено сумарні тепловтрати будівлі, що становлять 11,06 кВт, що стало базою для підбору основного обладнання.

Для реалізації проєкту обрано геотермальний тепловий насос NIBE F1145, який забезпечує стабільну теплопродуктивність незалежно від зовнішніх погодних умов завдяки використанню низькопотенційного тепла ґрунту. З метою забезпечення енергонезалежності системи в умовах нестабільного централізованого електропостачання, запропоновано рішення з використанням сонячних панелей загальною потужністю 5 кВт та блоку акумуляторних батарей. Це дозволяє системі підтримувати критичне функціонування опалення під час аварійних відключень мережі.

Економічний аналіз показав, що попри значні початкові капіталовкладення (704281 грн), проєкт є доцільним завдяки низьким експлуатаційним витратам та економії на енергоносіях. Розрахунковий термін окупності системи становить близько 7 років, що є позитивним показником для об'єктів відновлюваної енергетики.

Впровадження розробленої системи дозволяє не лише досягти високого рівня комфорту та автономності житла, а й зробити вагомий внесок у декарбонізацію енергетики та раціональне використання природних ресурсів. Всі технічні рішення відповідають чинним нормам з охорони праці та техніки безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Альтернативні джерела енергії та технології їх використання : підручник / В. В. Клименко, В. П. Солдатенко, С. П. Плешков [та ін.] ; за ред. В. В. Клименка. Кропивницький : Ексклюзив-Систем, 2023. – 268 с.
2. Балансова надійність електричної мережі з фотоелектричними станціями :

		монографія / Н Д	Лежнюк, В. О. Комар, С. В. Кравчук та ін. Вінниця :	ДП.141.042.018.ПЗ		
Зм..	Арк.	Вінницький нац. техн. ун-т, 2018. 136 с.				
Розробив	Зайцев Б. Р.			СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ		
Перевір	Антипчук Б.О.					
Н. Контр.	Антипчук Б.О.					
Затв.	Гнатюк О.Ф.					
				Літ.	Арк.	Аркушів
				У	67	70
				ЖАТФК, Гр. Е-42		

3. Батрак Л. М., Ромашко В. Я. Регулювальні характеристики зарядного пристрою акумулятора сонячної батареї / Л. М. Батрак, В. Я. Ромашко // Мікросхеми, електроніка та акустика. 2019. Т. 24, № 4. С. 25-31.
4. Гаєвський О. Ю. Система вимірювання параметрів фотоелектричних модулів в реальних умовах експлуатації / О. Ю. Гаєвський, В. Ю. Іванчук, І. О. Корнієнко // Відновлювана енергетика. 2019. № 2. С. 32-39.
5. Гаєвський О. Ю. Фотоенергетика. Ч. І. Сонячна радіація і фотоелектричні модулі [Електронний ресурс] : підручник / О. Ю. Гаєвський. Київ : КПІ імені Ігоря Сікорського, 2023. 150 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/11874d49-250c-45c6-84a2-203c546e3104/content>
6. Теплові насоси в Україні. Будова та принцип роботи теплових насосів. https://heatpump.net.ua/?gad_source=1&gad_campaignid=23635953324&gclid=EAIaIQobChMIgICcjInykwMVVkGRBR0jXi_bEAAAYASAAEgJec_D_BwE
7. Теплові насоси для опалення будинку під ключ. https://teplopolis.ua/?gad_source=1&gad_campaignid=23020167245&gclid=EA
8. Комбіновані фотоенергетичні системи : монографія / Р. В. Зайцев, Г. С. Хрипунов, М. В. Кіріченко, А. В. Меріуц ; Нац. техн. ун-т "Харківський політехнічний інститут". Харків : ФОП Бровін О. В., 2020. 323 с.
9. Монтаж теплового насосу : https://сахара.ua/?gad_source=1&gad_campaignid
10. Сегеда М. С. Нетрадиційні та відновлювальні джерела електроенергії : навч. посібник / М. С. Сегеда, М. Й. Олійник, О. Б. Дудурич. Львів : Львівська політехніка, 2019. 204 с.
11. Як вибрати тепловий насос? URL: <https://polcity.com.ua/ua/blog-news/kak-vybrat-infrakrasnyj-teplyj-pol>

ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

Відділення " Інженерна інфраструктура та комп'ютерні науки "
Кафедра "Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка"
галузь знань 14 "Електрична інженерія"
спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"
освітньо-професійний ступінь: фаховий молодший бакалавр

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедру
Інна НЕЗДВЕЦЬКА

“ ” 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

Зайцеву Богдану Руслановичу

- 1.Тема дипломного проєкту “ Автономна теплова система з резервним живленням від сонячної електростанції для приватного домогосподарства ” та керівник дипломного проєкту Антипчук Богдан Олександрович, затверджені наказом навчального закладу від 06 листопада 2025 року, №433-Н.
2. Строк подання студентом проєкту “26” червня 2026 року.
3. Вихідні дані до роботи: схема планування та зонування житлового приватного домогосподарства.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
 - Вступ;
 - Огляд сучасних автономних теплових систем;
 - Автономна теплова система для приватного домогосподарства з резервним живленням від сонячних панелей;
 - Економічна ефективність проєкту;
 - Охорона праці;
 - Висновки.
5. Перелік візуального та графічного матеріалу:
 - Схема електрична структурна. Автономна теплова система з резервним живленням від сонячної електростанції для приватного домогосподарства

- Схема електрична принципова. Автономна теплова система з резервним живленням від сонячної електростанції для приватного домогосподарства

6. Консультанти розділів проєкту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Вступ	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	06 листопада 2025 року.	
Розділ 1	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	06 листопада 2025 року.	
Розділ 2	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	06 листопада 2025 року.	
Розділ 3	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	06 листопада 2025 року.	
Розділ 4	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	06 листопада 2025 року.	
Висновки	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	06 листопада 2025 року.	
ГЧ та технічна документація.	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	06 листопада 2025 року.	

7. Дата видачі завдання “06” листопада 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
1.	Вступ	06.11.2025р.	
2.	Розділ 1	20.11.2025р.	
3.	Розділ 2	04.12.2025р.	
4.	Розділ 3	18.12.2025р.	
5.	Розділ 4	20.12.2025р.	
6.	Висновки	05.03.2026р.	
7.	Графічна частина та технічна документація	15.04.2026р.	

Студент: _____ Богдан ЗАЙЦЕВ

Керівник проєкту: _____ Богдан АНТИПЧУК

“ Автономна теплова система з резервним живленням від сонячної
електростанції для приватного домогосподарства”

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт складається з 70 листів пояснювальної записки, яка включає чотири розділи та графічну частину виконану на 2 листах формату А1 креслярського паперу.

В першому розділі проведено порівняльний аналіз різних видів опалення (газове, твердопаливне, електричне). Доведено переваги теплових насосів як найбільш економічного та екологічного рішення. Описано типи теплових насосів та принцип роботи їх ключового елемента – теплообмінника.

У другому розділі виконано детальний теплотехнічний розрахунок втрат через стіни, вікна та двері для кожної кімнати будинку. На основі отриманої потреби в 11,06 кВт обрано геотермальний тепловий насос. Розраховано та підібрано необхідне обладнання для реалізації системи резервного живлення.

У третьому розділі проведено розрахунок капітальних витрат на обладнання та монтаж. Визначено експлуатаційні витрати та термін окупності розробленої системи.

У четвертому розділі проаналізовано характерні ризики, зокрема роботу з високою напругою постійного струму в колах сонячних панелей, шумове навантаження від компресора та функціонування контуру теплового насоса під високим тиском. Розроблено комплекс заходів безпеки, що включає дотримання правил експлуатації під тиском та вимог пожежної безпеки під час роботи з електроустановками.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ОГЛЯД СУЧАСНИХ АВТОНОМНИХ ТЕПЛОВИХ СИСТЕМ	10
1.1 Класифікація основних видів опалення	10
1.2 Традиційні системи опалення	10
1.3 Основні типи теплових насосів	14
2 АВТОНОМНА ТЕПЛОВА СИСТЕМА ДЛЯ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА З РЕЗЕРВНИМ ЖИВЛЕННЯМ ВІД СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ	19
2.1 Розрахунок тепловтрат та потужності автономної системи опалення будинку	19
2.2 Вибір електричного теплового насоса	30
2.3 Вибір схеми впровадження системи резервного живлення	32
2.4 Визначення загального тижневого електроспоживання автономної теплової системи	35
2.5 Розрахунок кількості та вибір типу сонячних панелей	36
2.6 Розрахунок інвертора та вибір його типу	40
2.7 Розрахунок та вибір типу акумуляторних батарей	43
2.8 Вибір пристрою автоматичного ввімкнення резерву	47
2.9 Обґрунтування вибору частотного перетворювача для керування тепловим насосом	48
3 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЄКТУ	51
3.1 Визначення капітальних витрат на реалізацію системи опалення тепловим насосом	51
3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на впровадження розробленої системи	53

					<i>ДП.141.042.018.ПЗ</i>		
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Зайцев Б.Р.				ЗМІСТ		
Перевір	Антипчук Б.О.						
Н. Контр.	Антипчук Б.О.						
Затв.	Гнатюк О.Ф.				ЖАТФК, Гр. Е-42		
						Літ.	Арк.
						У	6
							Аркушів
							70

3.3 Розрахунок терміну окупності розробленої системи інфрачервоного електричного обігріву	56
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	60
4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів розробленої системи	60
4.2 Технічні заходи безпеки при експлуатації розробленої системи	61
4.3 Пожежна безпека при експлуатації розробленої системи	62
4.4 Вимоги до монтажу та експлуатації розробленої системи	49
ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	67
ДОДАТКИ	69

ВСТУП

В умовах сьогодення для України особливої ваги набуває питання забезпечення приватних домогосподарств автономним та стабільним теплопостачанням. Часті перебої з електроенергією, перевантаження енергомереж та ризики зупинки побутових систем у зимовий період створюють загрозу комфортному й безпечному проживанню населення. Додатково, зростання тарифів на енергоносії, нестабільність електропостачання та необхідність скорочення викидів парникових газів стимулюють пошук енергоефективних рішень, що дозволяють зменшити залежність від централізованих систем.

Одним із перспективних шляхів вирішення цих викликів є використання автономних теплових систем із резервним живленням від сонячних електростанцій. Поєднання сонячних панелей, акумуляторних батарей та теплових накопичувачів забезпечує не лише зниження залежності від зовнішньої мережі, а й оптимізацію витрат на опалення та гаряче водопостачання. Дослідження свідчать, що інтегровані системи на базі PV-станцій значно підвищують надійність теплопостачання, покращують енергоефективність будинку та гарантують стабільну роботу навіть під час аварійних чи планових відключень електроенергії.

З огляду на ці фактори, аналіз можливостей, переваг, обмежень та економічної ефективності автономних теплових систем із резервним живленням від сонячних електростанцій є актуальним і необхідним. Отримані висновки можуть стати основою для модернізації приватних будівель, підвищення енергетичної незалежності домогосподарств та впровадження практичних рішень, що відповідають сучасним викликам у сфері енергетичної безпеки.

					ДП.141.042.018.ПЗ					
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата						
Розробив	Зайцев Б. Р.				ВСТУП			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір	Антипчук Б.О.							У	8	70
								ЖАТФК, Гр. Е-42		
Н. Контр.	Антипчук Б.О.									
Затв.	Гнатюк О.Ф.									

Даний дипломний проєкт спрямований на проєктування та техніко-економічну оцінку автономної теплової системи з резервним живленням від сонячної електростанції для приватного житла.

Основне завдання дипломного проєкту:

- проаналізувати сучасні технології фотоелектричної генерації (PV) та визначити їхній потенціал для забезпечення теплових навантажень приватного домогосподарства;
- дослідити можливості використання теплових насосів як основного елемента автономної теплової системи та його взаємодію з резервним живленням від сонячної електростанції;
- оцінити варіанти накопичення енергії (електричні акумулятори та теплові баки) та визначити їхню роль у забезпеченні стабільності та резервного живлення системи;
- розробити робочу схему інтеграції фотоелектричної станції, інвертора, акумуляторної батареї та теплового насоса в єдину систему теплопостачання;
- виконати розрахунок потужності теплової системи на базі електричного теплового насоса у відповідності до кліматичних потреб;
- провести техніко-економічну оцінку системи, включно з аналізом терміну окупності, рівня енергозбереження та надійності роботи.

Об'єкт дослідження дипломного проєкту є приватне домогосподарство з типовими показниками споживання електричної енергії та теплової енергії, що характеризує середні потреби житлового будинку в умовах помірного клімату.

Предметом дослідження проєкту є інтегрована система «сонячна електростанція, акумулятор, тепловий насос» для автономного та резервного теплопостачання приватного домогосподарства.

1 ОГЛЯД СУЧАСНИХ АВТОНОМНИХ ТЕПЛОВИХ СИСТЕМ

1.1 Класифікація автономних систем опалення

Автономні опалювальні системи являють собою технічні рішення для теплозабезпечення будівель без підключення до централізованих мереж. Поділ таких систем здійснюється за джерелом енергії, принципом роботи та ступенем автоматизації.

До найпоширеніших класів автономних систем належать:

- газові автономні системи опалення;
- твердопаливні системи опалення;
- електричні системи опалення;
- системи на основі теплових насосів;
- гібридні автономні системи.

Газові автономні системи опалення (див. рисунок 1.1) працюють на природному або зрідженому газі. Вони характеризуються високим коефіцієнтом корисної дії (92 – 95%), відносно низькою вартістю енергії та можливістю автономної роботи при використанні балонів чи газгольдерів. Для їх експлуатації необхідні вентиляція, димохід та регулярне технічне обслуговування.



Рисунок 1.1 – Газова автономна система опалення

					ДП.141.042.018.ПЗ				
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата					
Розробив	Зайцев Б. Р.				1 ОГЛЯД СУЧАСНИХ АВТОНОМНИХ ТЕПЛОВИХ СИСТЕМ				
Перевір	Антипчук Б.О.								
Н. Контр.	Антипчук Б.О.								
Затв.	Гнатюк О.Ф.								
					Літ.		Арк.	Аркушів	
					У		10	70	
					ЖАТФК, Гр. Е-42				

Твердопаливні системи (див. рисунок 1.2) застосовують дрова, пелети, брикети чи вугілля. Вони можуть бути класичними, піролізними або автоматизованими. Недоліки полягають у необхідності зберігання палива та ручному обслуговуванні, окрім автоматичних моделей.



Рисунок 1.2 – Твердопаливний котел опалення

Електричні системи опалення (див рисунок 1.3) включають електрокотли, конвектори, теплі підлоги, індукційні та електродні котли. Вони вирізняються простотою експлуатації та відсутністю потреби у димоході, проте характеризуються найвищою вартістю виробленого тепла (кВт·год) без використання відновлюваних джерел енергії.



а)



б)



в)

Рисунок 1.3 – Електричні системи опалення: а) – електрокотел; б) – конвектор; в) – тепла підлога

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата

Опалювальні системи на основі теплових насосів (див. рисунок 1.4) працюють за рахунок низькопотенційної енергії середовища. Вони є економними завдяки високому коефіцієнту перетворення (2,5 – 4,5), який визначає, скільки теплової енергії система виробляє на кожну одиницю спожитої електроенергії та показує його ефективність, однак вимагають значних капіталовкладень на старті.

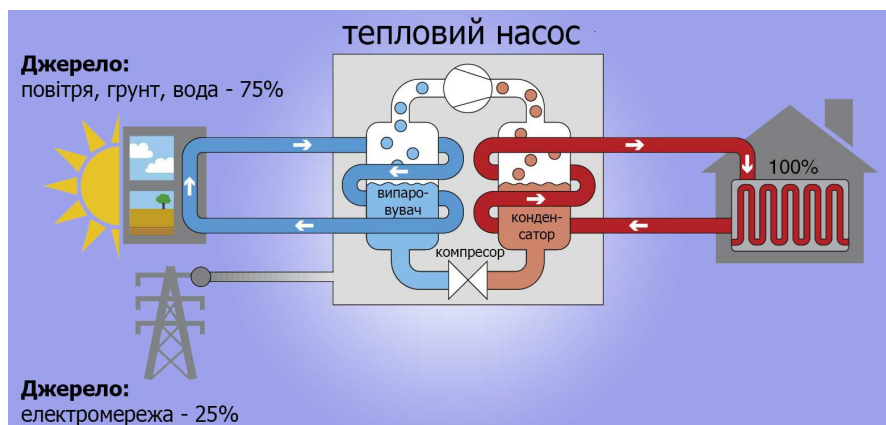


Рисунок 1.4 – Система опалення на основі теплового насоса

Гібридні автономні системи поєднують кілька джерел енергії, наприклад: електрокотел із сонячними панелями та тепловим насосом; твердопаливний котел з електрокотлом; або газову установку з фотоелектричною системою. Такі рішення є найбільш гнучкими та сприяють зниженню витрат на експлуатацію.

1.2 Порівняння джерел тепла: газ, тверде паливо, електрика, теплові насоси

Оцінювання джерел тепла здійснюється за кількома критеріями: економічність, екологічність, рівень автономності, надійність та зручність у використанні.

Газ має ККД: 90–95%. Переваги його використання: відносно низька ціна тепла, автоматизація, тривалий термін служби. До його основних

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата

ДП.141.042.018.ПЗ

Архив

недоліків відносять: залежність від газових мереж або газгольдера, ризику аварійності, потреба у дозволах та регулярному обслуговуванні.

Тверде паливо має ККД: 75 – 90% (до 92% для піролізних котлів). Переваги використання твердого палива: доступність, низька вартість тепла, енергонезалежність. До недоліків відносять: ручне завантаження, потреба складування, значне забруднення довкілля.

Електроенергія має ККД: 99%. До її основних переваг належать: простота, автоматизація, безпечність, відсутність димоходу. Основні ж недоліки її використання: найвища вартість тепла при тарифах 3 – 5 грн/кВт·год, критична залежність від стабільності електромереж.

Теплові насоси – лідер серед систем опалення. Вони мають COP рівний значенню 2,5 – 4,5 (тобто на кожен 1 кВт електроенергії виробляється 2,5 – 4,5 кВт тепла).

Основні переваги використання теплових насосів:

- найвищий рівень економічності: витрати на тепло у кілька разів нижчі, ніж при використанні електричних котлів;
- екологічність: відсутність шкідливих викидів, мінімальний вплив на довкілля;
- автоматизація та комфорт: система працює без ручного втручання, забезпечуючи стабільний мікроклімат;
- надійність: сучасні моделі адаптовані до різних кліматичних умов, а при інтеграції з фотоелектричними станціями – майже повна автономність;
- зручність: не потребують складування палива, димоходів чи спеціальних дозволів.

До основних недоліків використання теплових насосів відносять високу вартість установки та залежність від електроенергії. Проте ці фактори компенсуються довготривалою економією та можливістю поєднання з сонячними панелями, що практично зводить витрати до мінімуму.

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата

ДП.141.042.018.ПЗ

Архив

Серед усіх джерел тепла саме теплові насоси є найбільш збалансованим і перспективним рішенням для приватних домогосподарств. Вони поєднують економічність, екологічність, автономність та комфорт, залишаючи газ, тверде паливо й класичну електрику далеко позаду. Найефективніша стратегія – гібридна система з тепловим насосом та фотоелектричною станцією, яка дозволяє отримати майже безкоштовне тепло й повну незалежність від традиційних енергоресурсів.

1.3 Основні типи теплових насосів та їх переваги. Теплові насоси: принципи роботи основні типи, переваги та недоліки

1.3.1 Основні види теплових насосів

Теплові насоси – це сучасні та високоефективні системи опалення, які переносять теплову енергію з навколишнього середовища (повітря, ґрунту чи води) у приміщення. Вони забезпечують значну економію електроенергії та дозволяють отримати тепло без спалювання палива.

Теплові насоси можна поділити за кількома ознаками:

- за джерелом тепла: повітря, ґрунт, підземні або поверхневі води;
- за конструкцією: моноблокові та спліт-системи;
- за функціональністю: опалення, охолодження, гаряче водопостачання;
- за принципом регулювання: інверторні та неінверторні моделі.

1.3.2 Роль теплообмінника у роботі теплових насосів

Теплообмінник (див. рисунок 1.5) є ключовим елементом теплового насоса, адже саме він забезпечує передачу теплової енергії від зовнішнього джерела (повітря, ґрунт, вода) до робочого середовища – холодоагенту, а далі від холодоагенту до системи опалення будинку. Без ефективного

теплообмінника функціонування насоса неможливе, оскільки він виступає «посередником» між зовнішнім середовищем та внутрішньою системою.

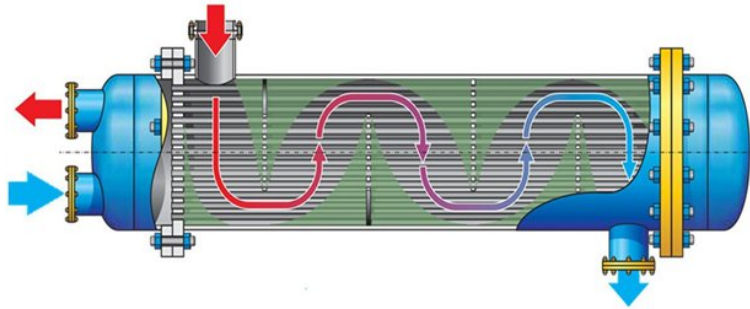


Рисунок 1.5 – Загальний вигляд теплообмінника теплового насосу

До основних функцій теплообмінника належать:

- забір тепла з довкілля – у випарнику теплообмінник передає енергію від ґрунту, води чи повітря до холодоагенту, який випаровується при низькій температурі;
- передача тепла в систему опалення – у конденсаторі теплообмінник віддає тепло від стисненого холодоагенту до води чи повітря, що циркулює в системі опалення;
- підвищення ефективності процесу – якість теплообмінника визначає коефіцієнт перетворення (COP) теплового насоса: чим ефективніше передається тепло, тим менше витрачається електроенергії;
- стабільність та надійність роботи – надійний теплообмінник мінімізує втрати енергії, запобігає перегріву чи замерзанню та забезпечує стабільну роботу навіть у складних кліматичних умовах.

Існує три основні типи теплообмінників, які можуть бути використані в теплових насосах:

- випарник – здійснює забір тепла з навколишнього середовища;
- конденсатор – передає тепло в систему опалення;
- рекуперативний теплообмінник – використовує відпрацьоване тепло для підвищення загальної ефективності системи.

Теплообмінник можна вважати «серцем» теплового насоса, адже він визначає його продуктивність, економічність та довговічність. Завдяки теплообміннику тепла енергія переноситься з холодного середовища до теплого, забезпечуючи комфорт у будинку при мінімальних витратах електроенергії.

1.3.3 Повітряні теплові насоси

Одним із основних типів повітряних теплових насосів є насос типу «повітря-повітря». Вони працюють за принципом кондиціонера з функцією нагріву: тепло з зовнішнього повітря передається у приміщення через внутрішні блоки (див. рис. 1.6).

Перевагами таких теплових насосів є: швидкий монтаж, можливість охолодження, оперативна зміна температури.

Їх основні недоліки: не нагрівають воду, ефективні лише у кімнатах з внутрішніми блоками.

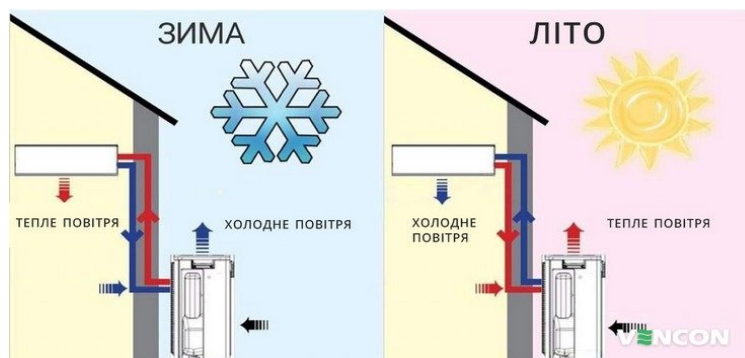


Рисунок 1.6 – Схематичне зображення системи теплового насоса типу «повітря-повітря»

Наступним типом повітряних теплових насосів є насоси типу «повітря-вода». Такі насоси передають тепло від зовнішнього повітря воді, яка циркулює у системі опалення (радіатори, тепла підлога, бойлер). Схематичне зображення системи такого насоса зображено на рисунку 1.7.

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата



Рисунок 1.7 – Схематичне зображення системи теплового насосу типу «повітря-вода»

До основних переваг теплових насосів даного типу належать: простіший монтаж порівняно з геотермальними системами, сумісність зі стандартними мережами тепlopостачання, а також наявність функції охолодження.

Недоліками теплових насосів типу «повітря-вода» є: зниження ефективності при морозах, бажана буферна ємність для стабільності.

1.3.4 Водяні та геотермальні теплові насоси

Теплові насоси типу «вода-вода» використовують тепло підземних або поверхневих вод, температура яких залишається стабільною протягом року. Їх схематичне зображення подано на рисунку 1.8.

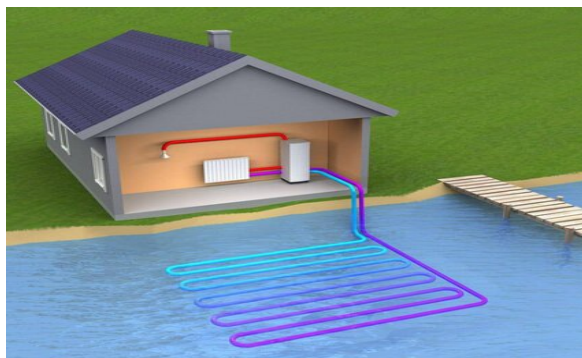


Рисунок 1.8 – Схематичне зображення системи теплового насосу типу «вода-вода»

Перевагами теплових насосів типу «вода-вода» є: високий COP, незалежність від погодних умов. Основними ж недоліками за часту є: потреба у свердловинах та дозволах, а також дороговартісне обслуговування.

Теплові насоси типу «ґрунт-вода» (геотермальні), характеризуються тим, що основним джерелом тепла при їх роботі є ґрунт, де температура стабільна на глибині понад 5 м. Трубопроводи для реалізації системи опалення на базі таких насосів можуть бути горизонтальними або вертикальними.

Перевагами теплових насосів типу «ґрунт-вода»: найвища сезонна ефективність, стабільність роботи, довговічність.

Недоліки теплових насосів типу «ґрунт-вода»: складний і дорогий монтаж, потреба у площі чи бурових роботах.

На рисунку 1.9 показано схематичне зображення системи теплового насосу типу «ґрунт-вода».

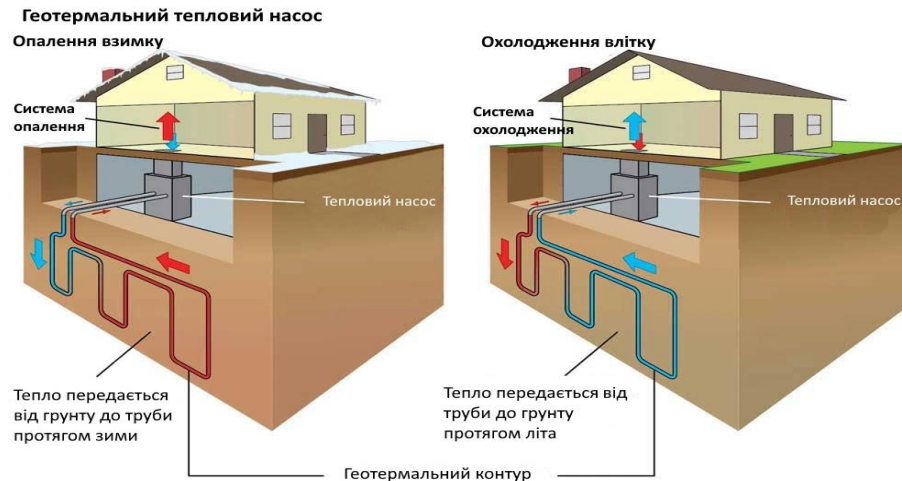


Рисунок 1.9 – Схематичне зображення системи теплового насосу типу «ґрунт-вода»

2 АВТОНОМНА ТЕПЛОВА СИСТЕМА ДЛЯ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА З РЕЗЕРВНИМ ЖИВЛЕННЯМ ВІД СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

2.1 Розрахунок тепловтрат та потужності автономної системи опалення будинку

Процес обчислення сумарного обсягу теплової енергії, необхідної для забезпечення комфортного мікроклімату в приватному будинку, незмінно бере свій початок із ґрунтового визначення його фактичних теплових втрат. Саме цей фундаментальний показник є визначальним чинником, що безпосередньо впливає на вибір оптимального джерела тепла, специфікацію необхідного обладнання, загальну встановлену потужність майбутньої системи опалення, а також на обсяг фінансових інвестицій, необхідних для її професійного монтажу та подальшої експлуатації. Хоча базові розрахунки тепловтрат схожі для всіх систем, використання теплового насоса має свою специфіку. Він найбільш ефективний у низькотемпературному режимі, що значно знижує витрати порівняно з традиційними котлами. Головне – правильно розрахувати потужність, щоб насос працював оптимально, забезпечуючи стабільне тепло при мінімальному навантаженні.

Проектування автономної теплової системи на базі теплового насоса починається з аналізу стін, даху та вікон для розрахунку реальних тепловтрат. Це дозволяє визначити точну потужність обладнання, враховуючи лише житлові кімнати. Веранди, балкони та комори до розрахунку не включаються. Такий підхід забезпечує роботу електричного теплонасоса в економічному режимі, гарантуючи стабільне тепло при мінімальних витратах.

					ДП.141.042.018.ПЗ					
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	2 АВТОНОМНА ТЕПЛОВА СИСТЕМА ДЛЯ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА З РЕЗЕРВНИМ ЖИВЛЕННЯМ ВІД СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ			Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив	Зайцев Б. Р.							у	19	70
Перевір	Антипчук Б.О.							ЖАТФК, Гр. Е-42		
Н. Контр.	Антипчук Б.О.									
Затв.	Гнатюк О.Ф.									

На рисунку 2.1 зображено схематичний план приватного будинку, а в таблиці 2.1 наведено основні вихідні дані для проведення розрахунків тепловтрат та визначення електричної потужності теплового насоса автономної теплової системи опалення.

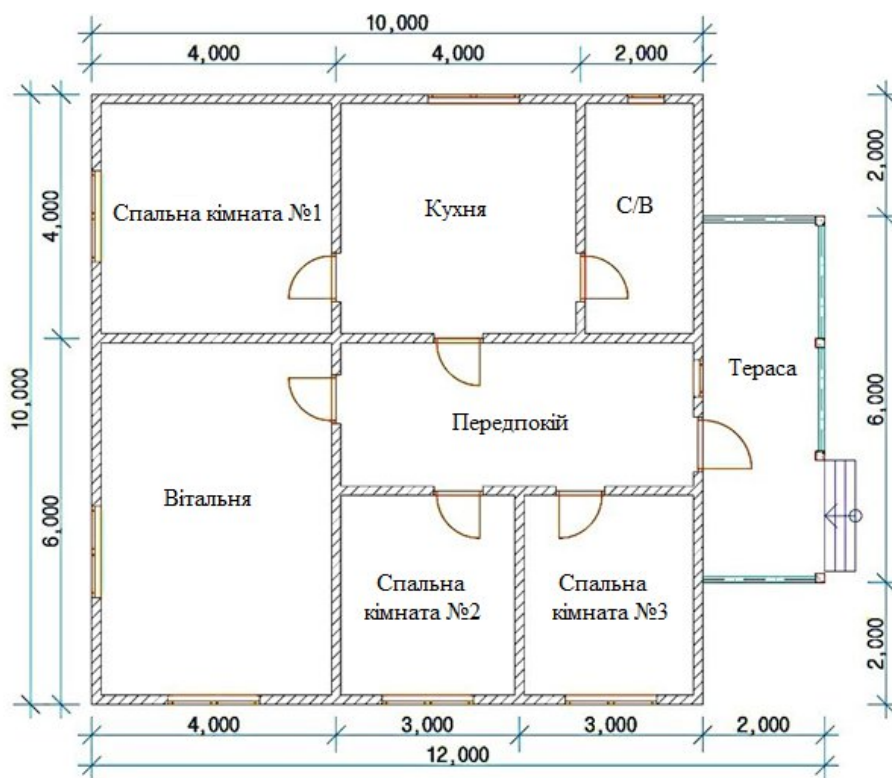


Рисунок 2.1 – Схема планування та зонування житлового будинку

Таблиця 2.1 – Вихідні дані квартирного приміщення

№	Найменування величини	Позначення	Значення	Одиниці виміру
1	2	3	4	5
Передпокій				
1	Площа приміщення	S	12	м ²
2	Висота приміщення	h	2,5	м
3	Розрахункова температура в приміщенні	t _в	20	С ⁰
4	Розрахункова температура ззовні в зимовий період	t _н	-15	С ⁰
5	Загальна площа стін, яка контактує з зовн. повітрям	A _к	4.5	м ²
6	Площа вікон(1,46м x 1,42м)	S _в	2,0732	м ²
7	Площа дверей (0,9м x 2м)	S _д	9	м ²
8	Характеристика підлоги	бетон		

Продовження таблиці 2.1

№	Найменування величини	Позначення	Значення	Одиниці виміру
1	2	3	4	5
Ванна кімната				
1	Площа приміщення	S	8	м ²
2	Висота	h	2,5	м
3	Розрахункова температура в приміщенні	t _в	20	С ⁰
4	Розрахункова температура ззовні в зимовий період	t _н	-15	С ⁰
5	Загальна площа стін, яка контактує з зовн. повітрям	A _к	15	м ²
6	Площа вікон (1,46м x 1,42м)	S _w	2,0732	м ²
7	Площа дверей (0,9м x 2м)	S _d	1,8	м ²
8	Характеристика підлоги	бетон		
Вітальня				
1	Площа приміщення	S	24	м ²
2	Висота	h	2,5	м
3	Розрахункова температура в приміщенні	t _в	20	С ⁰
4	Розрахункова температура ззовні в зимовий період	t _н	-15	С ⁰
5	Загальна площа стін, яка контактує з зовн. повітрям	A _к	25	м ²
6	Площа вікон (2,92м x 1,42м)	S _w	8,2928	м ²
7	Площа дверей (0,9м x 2м)	S _d	1,8	м ²
8	Характеристика підлоги	бетон		
Спальна кімната №1				
1	Площа приміщення	S	16	м ²
2	Висота	h	2,5	м
3	Розрахункова температура в приміщенні	t _в	20	С ⁰
4	Розрахункова температура ззовні в зимовий період	t _н	-15	С ⁰
5	Загальна площа стін, яка контактує з зовн. повітрям	A _к	20	м ²
6	Площа вікон (2,92м x 1,42м)	S _w	4,1464	м ²
7	Площа дверей (0,9м x 2м)	S _d	1,8	м ²
8	Характеристика підлоги	бетон		
Кухня				
1	Площа приміщення	S	16	м ²
2	Висота	h	2,5	м
3	Розрахункова температура в приміщенні	t _в	20	С ⁰
4	Розрахункова температура ззовні в зимовий період	t _н	-15	С ⁰

Продовження таблиці 2.1

№	Найменування величини	Позначення	Значення	Одиниці виміру
1	2	3	4	5
5	Загальна площа стін, яка контактує з зовн. повітрям	A_k	10	m^2
6	Площа вікон (2,92м x 1,42м)	s_w	4,1464	m^2
7	Площа дверей (0,9м x 2м)	s_d	5,4	m^2
8	Характеристика підлоги	бетон		
Спальня кімната №2				
1	Площа приміщення	S	12	m^2
2	Висота приміщення	h	12	м
3	Розрахункова температура в приміщенні	t_b	2,5	C^0
4	Розрахункова температура ззовні в зимовий період	t_n	20	C^0
5	Загальна площа стін, яка контактує з зовн. повітрям	A_k	7,5	m^2
6	Площа вікон (2,92м x 1,42м)	s_w	4,1464	m^2
7	Площа дверей (0,9м x 2м)	s_d	1,8	m^2
8	Характеристика підлоги	бетон		
Спальня кімната №3				
1	Площа приміщення	S	12	m^2
2	Висота приміщення	h	2,5	м
3	Розрахункова температура в приміщенні	t_b	20	C^0
4	Розрахункова температура ззовні в зимовий період	t_n	-15	C^0
5	Загальна площа стін, яка контактує з зовн. повітрям	A_k	17,5	m^2
6	Площа вікон(1,46м x 1,42м)	s_w	4,1464	m^2
7	Площа дверей (0,9м x 2м)	s_d	1,8	m^2
8	Характеристика підлоги	бетон		

Розпочнемо теплотехнічний розрахунок приміщень приватного житлового будинку, визначивши на першому етапі втрати теплової енергії через огорожувальні конструкції кожного з них. Дані теплотехнічні втрати визначаються за формулою:

$$Q_a = \left(\left(\sum \frac{A_k}{R_k} \right) \cdot (t_b - t_n) \cdot \left(1 + \sum b \right) \cdot n \cdot 10^{-3}, \quad (2.1) \right.$$

де:

A_k – сумарна площа огорожувальних конструкцій приміщення житлового будинку, що контактують із зовнішнім повітрям, м²;

R_k – опір теплопередачі відповідної огорожувальної конструкції, який згідно з [5] приймається рівним 1,8 м²·°С/Вт;

t_v – розрахункова температура внутрішнього повітря приміщення, °С;

t_n – розрахункова температура зовнішнього повітря в зимовий період, °С;

$\sum b$ – коефіцієнт додаткових теплових втрат, який відповідно до [5] (його приймається рівним значенню 0,05);

n – коригувальний коефіцієнт, що враховує умови експлуатації будівлі та згідно з [5] дорівнює 0,8.

На основі вихідних даних отримаємо такі значення теплових втрат через огорожувальні конструкції приміщень приватного будинку:

$$Q_{a(\text{передпокій})} = \frac{4,5}{1,8} \cdot (20 - (-15)) \cdot (1 + 0,05) \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,0735 \text{ кВт};$$

$$Q_{a(\text{ванна кімн.})} = \frac{15}{1,8} \cdot (20 - (-15)) \cdot (1 + 0,05) \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,245 \text{ кВт};$$

$$Q_{a(\text{зал})} = \frac{25}{1,8} \cdot (20 - (-15)) \cdot (1 + 0,05) \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,4083 \text{ кВт};$$

$$Q_{a(\text{спальня1})} = \frac{20}{1,8} \cdot (20 - (-15)) \cdot (1 + 0,05) \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,326 \text{ кВт};$$

$$Q_{a(\text{кухня})} = \frac{10}{1,8} \cdot (20 - (-15)) \cdot (1 + 0,05) \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,163 \text{ кВт};$$

$$Q_{a(\text{спальня2})} = \frac{7,5}{1,8} \cdot (20 - (-15)) \cdot (1 + 0,05) \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,1225 \text{ кВт}.$$

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		23

$$Q_{a(\text{спальня3})} = \frac{17,5}{1,8} \cdot (20 - (-15)) \cdot (1 + 0,05) \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,2858 \text{ кВт.}$$

Наступним етапом визначимо теплові втрати на нагрівання вентиляційного повітря в приміщеннях приватного житлового будинку, які обчислюються за формулою:

$$Q_{B1} = 0,337 \cdot S \cdot h \cdot (t_v - t_n) \cdot K \cdot 10^{-3}, \quad (2.2)$$

де:

S – площа приміщення, м²;

h – висота приміщення, м;

K – кратність повітрообміну, год⁻¹.

Оскільки висота всіх приміщень приватного будинку становить 2,5 м, а кратність повітрообміну відповідно до [5] приймається рівною 2 год⁻¹, то отримаємо такі значення:

$$Q_{B1(\text{передпокій})} = 0,337 \cdot 12 \cdot 2,5 \cdot (20 - (-15)) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,7077 \text{ кВт};$$

$$Q_{B1(\text{ванна кімн.})} = 0,337 \cdot 8 \cdot 2,5 \cdot (20 - (-15)) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,4718 \text{ кВт};$$

$$Q_{B1(\text{зал})} = 0,337 \cdot 24 \cdot 2,5 \cdot (20 - (-15)) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 1,4154 \text{ кВт};$$

$$Q_{B1(\text{спальня1})} = 0,337 \cdot 16 \cdot 2,5 \cdot (20 - (-15)) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,9436 \text{ кВт};$$

$$Q_{B1(\text{кухня})} = 0,337 \cdot 16 \cdot 2,5 \cdot (20 - (-15)) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,9436 \text{ кВт};$$

$$Q_{B1(\text{спальня2})} = 0,337 \cdot 12 \cdot 2,5 \cdot (20 - (-15)) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,7077 \text{ кВт.}$$

$$Q_{B1(\text{спальня3})} = 0,337 \cdot 12 \cdot 2,5 \cdot (20 - (-15)) \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0,7077 \text{ кВт.}$$

Аналогічно визначаються теплові втрати на нагрівання зовнішнього повітря, що надходить у приміщення через дверні прорізи, за формулою:

$$Q_{B2} = 0,7 \cdot B \cdot (h + 0,8 \cdot p) \cdot (t_v - t_n) \cdot 10^{-3}, \quad (2.3)$$

де:

B – кількість дверних проходів або дверей в приміщенні (див. рис. 2.1);

p – кількість осіб, які знаходяться в приміщенні.

При цьому враховується, що приватний житловий будинок розрахований на постійне проживання сім'ї з трьох осіб. Відповідно кількість мешканців приймається:

- для спалень – 2 особи;
- для вітальні та кухні – 3 особи;
- для допоміжних приміщень – 1 особа.

Отже враховуючи вище зазначені особливості, отримаємо такі результати розрахунку за формулою 2.3:

$$Q_{B2 \text{ (передпокій)}} = 0,7 \cdot 5 \cdot (2,5 + 0,8 \cdot 6) \cdot (20 - (-15)) \cdot 10^{-3} = 0,8942 \text{ кВт;}$$

$$Q_{B2 \text{ (ванна кімн.)}} = 0,7 \cdot 1 \cdot (2,5 + 0,8 \cdot 1) \cdot (20 - (-15)) \cdot 10^{-3} = 0,0808 \text{ кВт;}$$

$$Q_{B2 \text{ (зал)}} = 0,7 \cdot 1 \cdot (2,5 + 0,8 \cdot 6) \cdot (20 - (-15)) \cdot 10^{-3} = 0,1788 \text{ кВт;}$$

$$Q_{B2 \text{ (спальня1)}} = 0,7 \cdot 1 \cdot (2,5 + 0,8 \cdot 2) \cdot (20 - (-15)) \cdot 10^{-3} = 0,1004 \text{ кВт;}$$

$$Q_{B2 \text{ (кухня)}} = 0,7 \cdot 3 \cdot (2,5 + 0,8 \cdot 6) \cdot (20 - (-15)) \cdot 10^{-3} = 0,5365 \text{ кВт};$$

$$Q_{B2 \text{ (спальня2)}} = 0,7 \cdot 1 \cdot (2,5 + 0,8 \cdot 2) \cdot (20 - (-15)) \cdot 10^{-3} = 0,1004 \text{ кВт}.$$

$$Q_{B2 \text{ (спальня3)}} = 0,7 \cdot 1 \cdot (2,5 + 0,8 \cdot 2) \cdot (20 - (-15)) \cdot 10^{-3} = 0,1004 \text{ кВт}.$$

Розрахункові теплові втрати кожного приміщення приватного житлового будинку визначаються за формулою:

$$Q_1 = Q_a + Q_{B1} + Q_{B2}, \quad (2.4)$$

де:

Q_a – втрати теплової енергії через огорожувальні конструкції кімнати квартирного приміщення, кВт;

Q_{B1} – теплові втрати на нагрівання вентиляційного повітря кімнати квартирного приміщення, кВт;

Q_{B2} – теплові втрати на нагрівання зовнішнього повітря, яке надходить в кімнату квартирного приміщення через дверні проходи, кВт.

Підставивши у формулу 2.4 отримані результати розрахунків по формулам 2.1, 2.2 та 2.3, будемо мати:

$$Q_1 \text{ (передпокій)} = 0,0735 + 0,7077 + 0,8942 = 1,6754 \text{ кВт};$$

$$Q_1 \text{ (ванна кімн.)} = 0,245 + 0,4718 + 0,0808 = 0,7976 \text{ кВт};$$

$$Q_1 \text{ (зал)} = 0,4083 + 1,4154 + 0,1788 = 2,0025 \text{ кВт};$$

$$Q_1 \text{ (спальня1)} = 0,326 + 0,9436 + 0,1004 = 1,37 \text{ кВт};$$

$$Q_1 \text{ (кухня)} = 0,163 + 0,9436 + 0,5365 = 1,6431 \text{ кВт};$$

$$Q_{1 \text{ (спальня2)}} = 0,1225 + 0,7077 + 0,1004 = 0,9306 \text{ кВт.}$$

$$Q_{1 \text{ (спальня3)}} = 0,2858 + 0,7077 + 0,1004 = 1,0939 \text{ кВт.}$$

Далі визначається теплова потужність, що надходить від внутрішніх джерел тепла (освітлення та людей) за формулою:

$$Q_{\text{тп}} = 0,01 \cdot S, \quad (2.5)$$

де:

$Q_{\text{тп}}$ – потужність теплового потоку (кВт);

S – загальна площа приміщення (м²).

Підставивши у формулу 2.5 вихідні дані із таблиці 2.1 стосовно загальної площі кожної із кімнат приватного будинку будемо мати:

$$Q_{\text{тп (передпокій)}} = 0,01 \cdot 12 = 0,12 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{тп (ванна кімн.)}} = 0,01 \cdot 8 = 0,08 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{тп (зал)}} = 0,01 \cdot 24 = 0,24 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{тп (спальня1)}} = 0,01 \cdot 16 = 0,16 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{тп (кухня)}} = 0,01 \cdot 16 = 0,16 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{тп (спальня2)}} = 0,01 \cdot 12 = 0,12 \text{ кВт.}$$

$$Q_{\text{тп (спальня3)}} = 0,01 \cdot 12 = 0,12 \text{ кВт.}$$

Враховуючи результати отримані за формулами 2.4 та 2.5, визначимо сумарні теплові втрати кожної із кімнат:

$$Q = Q_1 - Q_{\text{тп}} \cdot \quad (2.6)$$

Таким чином, за виразом 2.6 отримаємо наступні результати:

$$Q_{\text{(передпокій)}} = 1,6754 - 0,12 = 1,5554 \text{ кВт;}$$

$$Q_{\text{(ванна кімн.)}} = 0,7976 - 0,08 = 0,7176 \text{ кВт;}$$

$$Q_{\text{(зал)}} = 2,0025 - 0,24 = 1,7625 \text{ кВт;}$$

$$Q_{\text{(спальня1)}} = 1,37 - 0,16 = 1,21 \text{ кВт;}$$

$$Q_{\text{(кухня)}} = 1,6431 - 0,16 = 1,4831 \text{ кВт;}$$

$$Q_{\text{(спальня2)}} = 0,9306 - 0,12 = 0,8106 \text{ кВт.}$$

$$Q_{\text{(спальня3)}} = 1,0939 - 0,12 = 0,9739 \text{ кВт.}$$

Наступним кроком визначимо необхідну потужність автономної системи опалення для кожної кімнати P , спираючись на результати розрахунків за формулою 2.6. Оскільки обігрів забезпечує електричний тепловий насос, ці показники дозволять точно підібрати параметри теплообмінників або контурів для кожної зони. Це гарантує, що система працюватиме в енергоефективному режимі, підтримуючи комфортну

температуру при мінімальному навантаженні на компресор. Формула за якою розрахуємо електричну потужність наведена нижче:

$$P \geq 1,3 \cdot Q . \quad (2.7)$$

Отримаємо наступні результати розрахунку:

$$P_{\text{(передпокій)}} \geq 1,3 \cdot 1,5554 \geq 2,0220 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{(ванна кімн.)}} \geq 1,3 \cdot 0,7176 \geq 0,9328 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{(зал)}} \geq 1,3 \cdot 1,7625 \geq 2,2912 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{(спальня1)}} \geq 1,3 \cdot 1,21 \geq 1,573 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{(кухня)}} \geq 1,3 \cdot 1,4831 \geq 1,9280 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{(спальня2)}} \geq 1,3 \cdot 0,8106 \geq 1,0537 \text{ кВт}.$$

$$P_{\text{(спальня3)}} \geq 1,3 \cdot 0,9739 \geq 1,2660 \text{ кВт}.$$

Загальну електрична потужність автономної системи опалення приватного будинку на базі електричного теплонасоса визначимо за формулою:

$$P_{\text{заг}} = \sum P_i , \quad (2.8)$$

де:

P_i – електрична потужність системи опалення конкретної кімнати у приватному будинку, кВт.

Отже в результаті отримаємо:

$$P_{\text{заг}} = 2,022 + 0,9328 + 2,2912 + 1,573 + 1,928 + 1,0537 + 1,266 = 11,06 \text{ кВт}.$$

2.2 Вибір електричного теплового насоса

Розрахунок необхідної теплової енергії для сучасного будинку є багатограним процесом, що базується на детальному аналізі теплових втрат через огорожувальні конструкції (стіни, покрівлю, фундамент, вікна та двері), а також враховує інфільтрацію повітря та вентиляційні навантаження. Саме цей показник є фундаментом для проектування: він визначає вибір джерела тепла, конфігурацію обладнання, гідравлічні параметри системи опалення та, зрештою, термін окупності інвестицій.

Відповідно до проведених теплотехнічних розрахунків, пікова потреба об'єкта у тепловій енергії становить 11,06 кВт, що зумовило необхідність детального порівняння двох технологічних рішень потужністю 12 кВт: системи «повітря–вода» від Mitsubishi Electric та геотермального насоса NIBE.

Повітряний тепловий насос Mitsubishi Electric Ecodan серії Power Inverter приваблює своєю гнучкістю та відносно низькою початковою вартістю, яка становить близько 301964 грн, а також можливістю швидкого монтажу без проведення масштабних земельних робіт. Проте, попри високий середньорічний коефіцієнт ефективності (COP 4,4), продуктивність цієї системи прямо залежить від температури зовнішнього повітря, що призводить до падіння ефективності до показників 1,5 – 2,0 під час сильних

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		30

морозів та вимагає підключення електричних ТЕНів після перетину точки бівалентності в -15°C . Додатково експлуатація такої системи пов'язана з певним шумом зовнішнього блоку та необхідністю регулярних циклів розморожування випарника, що є критичним для вологого клімату Житомирщини.

На противагу цьому, геотермальна система NIBE F1145, хоча й коштує близько 330000 грн без урахування витрат на буріння 200 – 240 метрів свердловин, пропонує безкомпромісну стабільність завдяки використанню тепла надр із незмінною температурою близько $+7...+10^{\circ}\text{C}$. Це забезпечує стабільно високий COP понад 5,0 незалежно від лютої холоднечі на вулиці, дозволяючи системі видавати необхідні 11,06 кВт тепла без перевантаження електромережі додатковими нагрівачами.

Остаточним обґрунтуванням вибору системи NIBE стала її довговічність, адже ґрунтовий контур розрахований на понад 50 років служби, а відсутність зовнішнього обладнання гарантує повну акустичну тишу та захист від корозії. З урахуванням можливості майже безкоштовного пасивного охолодження будинку в літній період та найнижчих у класі експлуатаційних витрат, геотермальний насос визначено як найбільш раціональну інвестицію, яка повністю окупає вищу стартову вартість протягом перших 5 – 7 років експлуатації, забезпечуючи при цьому вищий рівень енергетичної безпеки та комфорту.

Зовнішній вигляд обраного теплового насоса NIBE F1145 поєднує в собі лаконічність та функціональність. Пристрій виконаний у форматі моноблока, що за своїми габаритами та естетикою нагадує сучасну холодильну шафу в мінімалістичному скандинавському стилі (див. рисунок 2.2). Ергономічний корпус дозволяє обладнанню гармонійно вписатися в інтер'єр будь-якого приміщення — від спеціалізованої котельні до звичайної кухні чи передпокою.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд обраної моделі електричного теплового насосу NIBE F1145

Ключовою перевагою є те, що всі робочі вузли, зокрема компресор із багат шаровою звукоізоляцією, приховані всередині конструкції. Це повністю звільняє фасад будинку від громіздких зовнішніх блоків і забезпечує абсолютну тишу зовні. Для комфортної експлуатації на лицьовій панелі передбачено інтуїтивно зрозумілий кольоровий дисплей, який дозволяє легко контролювати параметри системи та керувати температурним режимом у реальному часі.

2.3 Вибір схеми впровадження системи резервного живлення

У межах дипломного проєкту розглядається рішення щодо інтеграції сонячної електростанції для забезпечення резервного живлення системи опалення з тепловим насосом. Для генерації енергії передбачено встановлення фотоелектричних панелей, які, залежно від архітектури будинку та рівня сонячного випромінювання, будуть розміщені на покрівлі або фасадних конструкціях. Такий підхід дозволить підтримувати автономну роботу опалювального обладнання та підвищити загальну енергонезалежність об'єкта.

Для реалізації резервного живлення автономної теплової системи доцільно розглянути два основних варіанти побудови сонячної електростанції:

- мережева система;
- автономно-мережева (гібридна) система.

Кожен із зазначених варіантів має свої технічні особливості, переваги та обмеження, тому потребує детального аналізу з точки зору ефективності використання в умовах приватного домогосподарства.

Мережева сонячна електростанція (див. рисунок 2.3) передбачає підключення до загальної електромережі. За наявності достатньої кількості сонячних панелей частина електроспоживання теплової системи (циркуляційні насоси, автоматика, елементи керування) може забезпечуватися за рахунок виробленої сонячної енергії. Така система зазвичай складається з фотоелектричних модулів, інвертора, кабельних ліній, монтажної конструкції та електричного навантаження.

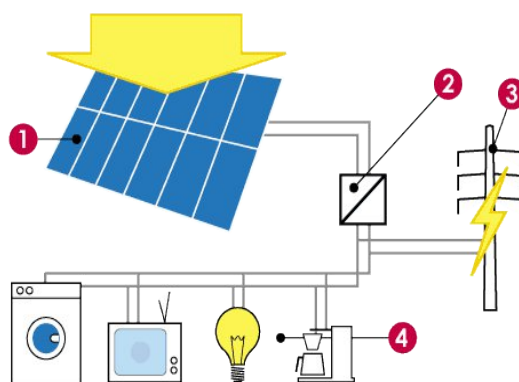


Рисунок 2.3 – Мережева система резервного живлення: 1 – сонячні панелі, 2 – інвертор, 3 – мережа, 4 – електричне навантаження

Вироблена електроенергія використовується безпосередньо для живлення теплової системи або передається до загальної мережі. У періоди, коли генерація недостатня (наприклад, у нічний час або за несприятливих погодних умов), необхідна електроенергія автоматично надходить із мережі.

Якщо ж виробіток перевищує споживання, надлишок може передаватися до мережі.

Таким чином, у мережевому варіанті електромережа виконує функцію резервного джерела живлення. Однак відсутність акумуляторних батарей обмежує можливість повноцінної автономної роботи під час аварійного відключення електроенергії, що знижує рівень енергетичної незалежності приватного домогосподарства.

На рисунку 2.4 представлена автономно-мережева резервна сонячна система живлення. Її зазвичай використовують у місцях, де є підключення до мережі централізованого електропостачання, але сама мережа є ненадійною.

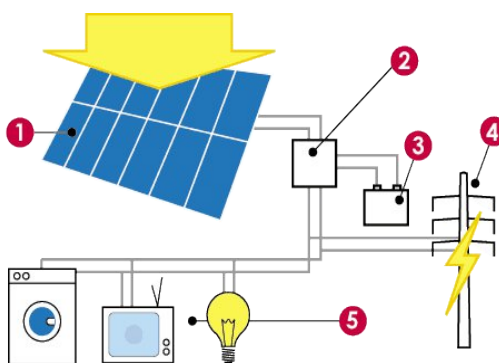


Рисунок 2.4 – Автономно-мережева система: 1– сонячні панелі, 2 – контролер заряду акумуляторних батарей + інвертор, 3 – акумуляторні батареї, 4 – мережа, 5 – електричне навантаження

У межах нашого проєкту автономно-мережева система може забезпечувати електроживлення у разі зникнення напруги в основній електромережі. Потужність фотоелектричної установки визначається з урахуванням потреб теплової системи, обсягу критичного навантаження та тривалості можливих відключень електроенергії.

Автономно-мережева (гібридна) система резервного електропостачання має такі переваги:

- максимальне використання електроенергії, виробленої сонячними модулями;

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата

- стійкість до аварійних або планових відключень централізованої мережі;
- можливість економії коштів завдяки передачі надлишкової «зеленої» електроенергії в мережу;
- підвищена надійність електропостачання приватного будинку.

Отже, обидва варіанти – мережева та автономно-мережева система, можуть застосовуватися для резервного живлення теплової системи. Проте для приватного домогосподарства доцільніше обрати автономно-мережеве рішення. Наявність акумуляторних батарей дає змогу накопичувати електроенергію та забезпечувати стабільну роботу системи опалення незалежно від часу доби, пори року чи наявності сонячного випромінювання в конкретний момент.

2.4 Визначення загального тижневого електроспоживання автономної теплової системи

Проектування резервного живлення для автономної теплової системи починається з аналізу енергоспоживання електричного теплового насоса. На першому етапі визначається загальна встановлена потужність агрегату, яка має забезпечити покриття сумарних тепловтрат усіх приміщень. Розрахунок базується на номінальній електричній потужності обраної моделі насоса, що згідно з формулою (2.8) та технічними характеристиками становить 11,06 кВт. Це значення є ключовим для підбору параметрів сонячної електростанції та об'єму акумуляторних батарей.

Електрична потужність системи обігріву на основі теплового насосу, яку вона споживає за тиждень визначається за допомогою формули:

$$P_{\text{сп_тиж.}} = n_{\text{рд}} \cdot n_{\text{рг/доба}} \cdot \sum P_{\text{ТН}}, \quad (2.9)$$

де:

$P_{\text{сп_тиж.}}$ – тижневе електроспоживання автономної теплової системи приватного домогосподарства на базі теплового насоса, кВт·год;

$\sum P_{\text{ТН}}$ – електрична потужність споживання теплового насоса, кВт;

$n_{\text{рд}}$ – кількість днів роботи системи протягом тижня, днів;

$n_{\text{рг/доба}}$ – середня кількість годин роботи теплового насоса протягом доби, год.

Отже за виразом 2.9 матимемо, що:

$$P_{\text{сп_тиж.}} = 7 \cdot 10 \cdot 11,06 = 774,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

2.5 Розрахунок кількості та вибір типу сонячних панелей

На сучасному ринку відновлюваної енергетики України домінують монокристалічні та полікристалічні фотоелектричні модулі. З огляду на значне енергоспоживання системи опалення на базі теплового насоса, вибір технології є визначальним для стабільності енергопостачання. Найбільш раціональним рішенням для цього проєкту є використання монокристалічних сонячних панелей (див. рисунок 2.5), що зумовлено їхніми техніко-експлуатаційними характеристиками.

Завдяки застосуванню високочистого кремнію, монокристалічні модулі мають вищий коефіцієнт корисної дії (ККД), що забезпечує максимальну продуктивність на одиницю площі. Це дозволяє компактно розмістити необхідну потужність на обмеженому просторі даху, зберігаючи зони для технічного обслуговування. Особливо важливою для роботи теплового насоса в опалювальний період є здатність таких панелей ефективно генерувати енергію за умов низької інсоляції та хмарної погоди.

Попри вищу початкову вартість порівняно з полікристалічними аналогами, монокристалічна технологія вирізняється тривалим терміном

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата		36

експлуатації (25 – 30 років) та мінімальною щорічною деградацією потужності (близько 0,5%). У довгостроковій перспективі такі інвестиції є цілком обґрунтованими, оскільки вони дозволяють максимізувати власну генерацію та забезпечити енергетичну стійкість об'єкта з високими потребами в теплі.

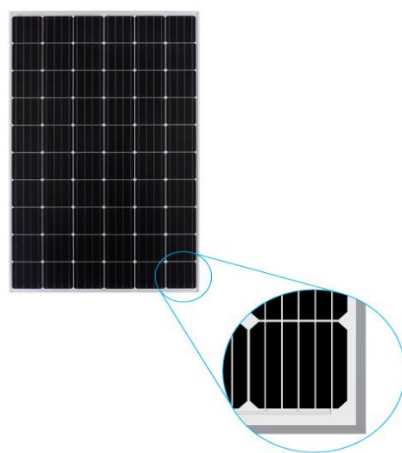


Рисунок 2.5 – Монокристалічна сонячна панель

З метою порівняльного аналізу на рисунку 2.6 продемонстровано зовнішній вигляд полікристалічного фотомодуля. Головною візуальною відмінністю таких панелей є чітко виражена квадратна або прямокутна форма комірок, що контрастує із заокругленими кутами монокристалічних елементів.

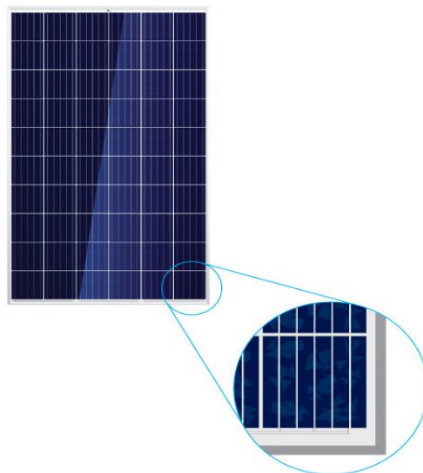


Рисунок 2.6 – Полікристалічна сонячна панель

При проектуванні системи живлення для енергоємного теплового насоса важливо враховувати, що полікристалічні модулі суттєво поступаються монокристалічним за низкою технічних показників. Зокрема, їхня продуктивність нижча на 15 – 20%, а діапазон коефіцієнта корисної дії (ККД) становить лише 12 – 22% проти 18 – 40% у монокристалічних аналогів. Через нижчу питому потужність розгортання полікристалічної системи для генерації необхідних 774,2 кВт·год на тиждень потребуватиме значно більшої площі на даху будівлі, що є критичним обмеженням для даного об'єкта.

Попри те, що ключовою перевагою полікристалічної технології залишається її доступна ціна, у межах цього дипломного проєкту такий вибір є недоцільним, оскільки пріоритетним завданням є стабільне резервне живлення компресора теплового насоса за умов обмеженої площі покрівлі, використання менш ефективних панелей не дозволить повною мірою реалізувати потенціал автономності та надійності системи опалення.

Визначивши оптимальний тип сонячних панелей, перейдемо до розрахунку їхньої кількості, необхідної для функціонування системи резервного живлення. Першим етапом обчислень стане встановлення сумарної потужності фотоелектричної установки, яка потрібна для забезпечення однієї години безперебійної роботи електричного теплового насоса:

$$P_{1\text{год}} = \frac{P_{\text{сп_тиж.}}}{168}, \quad (2.10)$$

де:

$P_{\text{сп_тиж.}}$ – тижневе електроспоживання автономної теплової системи приватного домогосподарства на базі теплового насоса, кВт·год;

$P_{1\text{год}}$ – потужність сонячних панелей системи резервного живлення на одну годину роботи, кВт.

Отримаємо, що:

$$P_{1\text{год}} = \frac{774,2}{168} = 4,6 \text{ кВт} .$$

Для забезпечення розрахункової потужності автономної системи теплопостачання, що становить приблизно 4,6 кВт, оптимальним рішенням є вибір фотоелектричних модулів із високими показниками одиничної потужності. Використання високопродуктивних панелей дозволяє мінімізувати їхню загальну кількість, що не лише спрощує монтаж, а й забезпечує суттєву економію корисної площі на даху чи фасаді будівлі.

Серед представлених компаній-виробників сонячних панелей на ринку України оберемо монокристалічну сонячну панель компанії JA Solar модель JAM72D42 потужністю 630 Вт зовнішній вигляд якої, показано на рисунку 2.7.

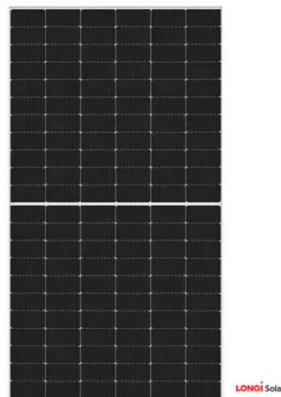


Рисунок 2.7 – Сонячна панель JA Solar JAM72D42 630 Вт

Тепер визначимо необхідну кількість сонячних панелей для реалізації системи резервного живлення за формулою:

$$N_{\text{СП}} = \frac{P_{1\text{год}}}{P_{\text{СП}}} , \quad (2.11)$$

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата

ДП.141.042.018.ПЗ

Архив

де:

$N_{СП}$ – кількість сонячних панелей, шт;

$P_{СП}$ – потужність однієї сонячної панелі, кВт.

В результаті отримаємо:

$$N_{СП} = \frac{4,6 \cdot 10^3}{630} = 7,3 \text{ шт.}$$

На основі отриманих результатів ми бачимо, що нам потрібно більше семи сонячних панелей. Отже, остаточне рішення щодо необхідної кількості панелей приймаємо рівним $N_{СП} = 8$ шт.

2.6 Розрахунок інвертора та вибір його типу

Інвертори – це напівпровідникові пристрої, які перетворюють електроенергію постійного струму (від акумуляторних батарей чи сонячних панелей) у змінний струм, необхідний для живлення побутових споживачів. У приватних будинках основними споживачами є обладнання, що працює від напруги 230 В, а у випадку теплових насосів та потужних систем – також від 400 В.

Сучасне інверторне обладнання класифікується за трьома основними категоріями: мережеві пристрої, що функціонують синхронно з централізованою мережею та мають суворі вимоги до якості сигналу; автономні моделі, які працюють від акумуляторних батарей і допускають гнучкіші параметри напруги; та гібридні рішення, що об'єднують можливості обох типів, що є найбільш ефективним для приватного сектору.

Для систем автономного типу критичне значення має вибір вхідної напруги (від 12 В до 120 В і вище), оскільки її підвищення спрощує архітектуру приладу та збільшує його коефіцієнт корисної дії. При цьому

важливо, щоб високий рівень ККД зберігався навіть за умов низького навантаження, що не перевищує номінальні показники. У свою чергу, мережеві інвертори працюють з високою вхідною напругою та обов'язково комплектуються MPPT-контролерами для максимального вилучення енергії з фотомодулів.

У даному проєкті для забезпечення надійної роботи теплового насоса найбільш доцільним є встановлення саме гібридного інвертора. Таке обладнання дозволяє одночасно підтримувати працездатність опалювальної системи від акумуляторів під час аварійних відключень та працювати в паралелі з основною мережею, оптимізуючи використання сонячної генерації.

Для коректного підбору конкретної моделі інвертора необхідно врахувати два ключові чинники: розрахункову енергію постійного струму з поправкою на технічні втрати пристрою, а також номінальну потужність, яка повинна безперешкодно покривати пікові пускові та робочі навантаження теплового насоса разом із іншими побутовими споживачами.

Отже визначимо необхідну енергію постійного струму інвертора для його правильного вибору:

$$E_{\text{інверт.}} = k \cdot P_{\text{сп_тиж.}} \quad (2.12)$$

де:

$E_{\text{інверт.}}$ – енергія постійного струму інвертора, кВт·год;

k – коефіцієнт втрат потужності інвертора, який приймають рівний значенню: $k = 1,2$;

$P_{\text{сп_тиж.}}$ – тижнева потужність споживання системи електричного обігріву, кВт·год.

Отримаємо:

$$E_{\text{інверт.}} = 1,2 \cdot 774,2 = 929,04 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Далі визначимо необхідну потужність самого інвертора:

$$P_{\text{інверт.}} = 2 \cdot \frac{E_{\text{інверт.}}}{n_{\text{рг/доба}} \cdot n_{\text{рд.інв.}}}, \quad (2.13)$$

де:

$P_{\text{інверт.}}$ – потужність інвертора, кВт;

$n_{\text{рг/доба}}$ – кількість робочих годин на добу інвертора, год.;

$n_{\text{рд.інв.}}$ – кількість робочих днів інвертора на тиждень.

Через те, що схема системи резервного живлення буде автономно-мережева, то інвертор при повній зарядці акумуляторних батарей все одно буде працювати, перетворюючи надлишкову вироблену електроенергію з подальшою передачею її до основної мережі, це означає, що $n_{\text{рг/доба}}$ інвертора має становити 24 год., а кількість робочих днів інвертора $n_{\text{рд.інв.}} = 7$ днів.

Тоді за виразом 2.13 матимемо:

$$P_{\text{інверт.}} = 2 \cdot \frac{929,04}{24 \cdot 7} = 11,1 \text{ кВт} \approx 12 \text{ кВт}$$

Отже, з урахуванням вищезазначених результатів розрахунків, доцільно вибрати гібридний трифазний інвертор Must PV19-6048 EXP (див. рис. 2.8). В таблиці 2.2 наведено основні технічні характеристики обраної моделі інвертора.

Слід зазначити, що обрана модель інвертора має вбудований контролер заряду та розряду акумуляторних батарей. Це є важливим аспектом, адже завдяки такій інтеграції система резервного живлення стає компактнішою та

простішою в експлуатації. Для приватного будинку з тепловим насосом компактність і надійність обладнання мають особливе значення.



Рисунок 2.8 – Гібридний інвертор Must PV19-6048 EXP

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики інвертора Must PV19-6048 EXP

Номінальна потужність	12000 Вт (12 кВт)
Вхідна напруга постійного струму	48 В
Максимальний зарядний струм MPPT	120 А
Діапазон вхідної напруги PV	120–450 В
Тип інвертора	Гібридний (автономний + мережевий)
Форма вихідної напруги	Чиста синусоїда
Номінальна вихідна напруга	220/230 В (однофазна)
Частота вихідного сигналу	50/60 Гц
ККД інвертора	до 93–95 %
Перемикання на акумулятори	Так
Режими роботи	Автономний, паралельний з мережею, резервний
Інтерфейси	RS-232, USB, Wi-Fi (опційно)

2.7 Розрахунок та вибір типу акумуляторних батарей

Акумуляторні батареї – це багаторазові джерела електричної енергії, які після заряджання здатні забезпечувати роботу системи протягом певного часу, визначеного виробником.

Основним параметром є ємність акумулятора, яка визначає тривалість автономної роботи при заданому навантаженні. Вона безпосередньо впливає на:

- тривалість автономної роботи системи;
- економічну доцільність та вартість рішення;
- сферу застосування;
- термін служби батареї.
- Ємність вимірюється в амперах-годинах (А·год).

Щоб розрахувати ємність акумуляторів для резервування теплового насоса в приватному будинку, використовується стандартний алгоритм. Він базується на трьох ключових показниках: сумарному навантаженні, необхідному часі автономності та коефіцієнті корисної дії (ККД) інвертора.

Формула для розрахунку має вигляд:

$$C_{\text{АБ_заг.}} = \frac{\sum P_{\text{ТН}} \cdot t}{U \cdot k}, \quad (2.14)$$

де:

$C_{\text{АБ_заг.}}$ – загальна ємність акумуляторних батарей, А·год.;

$P_{\text{заг}}$ – загальну електрична потужність системи опалення приватного будинку на базі теплового насоса, Вт;

t – час роботи акумуляторних батарей, год.;

k – коефіцієнт, який відображає, яка частина ємності акумуляторних батарей використовується;

U – напруга акумуляторних батарей, В.

Коефіцієнт k , що компенсує неповний заряд батареї, зазвичай приймають рівним: $k = 0,95$.

З огляду на номінальну потужність теплового насоса $P = 11,06$ кВт, цільовий час автономної роботи $t = 5$ год. та напругу системи $U = 24$ В, визначену параметрами інвертора, розрахунок набуває такого вигляду:

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$$C_{AB \text{ заг.}} = \frac{11,06 \cdot 10^3 \cdot 5}{24 \cdot 0,95} = 2425 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

На українському ринку представлений широкий асортимент акумуляторних батарей у різних цінових категоріях, що залежать від їхньої ємності та технології. Для приватного будинку з тепловим насосом ключову роль відіграє не лише компактність, а й надійність та тривалість автономної роботи. Тепловий насос є потужним споживачем, тому доцільно обирати акумуляторні батареї з великою ємністю, щоб забезпечити стабільне резервне живлення всієї системи. Чим більша ємність – тим менше модулів потрібно для складання батарейного масиву, а отже, простіше монтаж і обслуговування. Водночас слід враховувати, що зі збільшенням ємності зростає і вартість акумуляторів.

Для забезпечення енергопотреб приватного домоволодіння можна обрати один із декількох типів акумуляторів, кожен з яких має свої особливості. Найбільш доступним варіантом є необслуговувані та безпечні AGM акумулятори зі свинцево-кислотою основою, проте вони поступаються іншим моделям за тривалістю експлуатації. Більш стійкими до вібрацій та механічних навантажень є гелеві батареї (GEL), де електроліт перебуває у в'язкому стані, що підвищує їхню надійність. Водночас найсучаснішим та найбільш ефективним рішенням вважаються літій-залізо-фосфатні акумулятори (LiFePO₄), які завдяки стабільності, мінімальному саморозряду та винятковому ресурсу роботи є ідеальним вибором для систем резервного живлення, особливо при використанні енергоємного обладнання на кшталт теплових насосів.

Оптимальним рішенням для даного проєкту є встановлення літій-залізо-фосфатних акумуляторів (LiFePO₄) від виробника LiFeR з номінальною ємністю 220 А·год та напругою 24 В (див. рисунок 2.9). При

середній вартості одного модуля близько 32 230 грн, необхідна сумарна ємність системи (зокрема 2425 А·год) досягається шляхом паралельного з'єднання декількох таких одиниць. Така конфігурація дозволяє сформувати потужний і компактний енергоблок, що гарантує стабільну роботу теплового насоса та критично важливої побутової техніки під час аварійних відключень.



Рисунок 2.9 – Акумуляторна батарея LiFeR, тип LifeP04
24 В / 220 А·год

Далі розрахуємо необхідну кількість акумуляторних батарей обраної моделі за допомогою формули:

$$n_{AB} = \frac{C_{AB \text{ заг.}}}{C_{AB}} , \quad (2.15)$$

де:

n_{AB} – кількість акумуляторних батарей, шт.;

$C_{AB \text{ заг.}}$ – загальна ємність акумуляторних батарей, А·год;

C_{AB} – ємність однієї обраної моделі акумуляторної батареї, А·год.

Отримаємо, що:

$$n_{AB} = \frac{2425}{220} = 11 \text{ шт.}$$

2.8 Вибір пристрою автоматичного ввімкнення резерву

Система автоматичного введення резерву (АВР) призначена для безперебійного живлення об'єкта шляхом автоматичного перемикавання навантаження на альтернативне джерело енергії у разі відхилення параметрів основної мережі від норми. Логіка роботи пристрою базується на постійному моніторингу вхідної напруги блоком керування, який при виявленні несправностей ініціює команду на перемикавання комутаційних апаратів.

Залежно від складності системи, керування може здійснюватися за допомогою релейної логіки або програмованих контролерів, а як силова частина використовуються магнітні контактори, тиристорні ключі або автоматичні вимикачі з мотор-приводом. Ключовою особливістю надійного АВР є наявність подвійного блокування – електричного та механічного, що фізично унеможлиблює небезпечне зустрічне ввімкнення двох джерел одночасно.

При виборі конкретного обладнання для приватного будинку з інтегрованою сонячною станцією необхідно враховувати генерацію фотоелектричних модулів. Оскільки сумарна потужність встановлених панелей становить 5,04 кВт (8 х 630 Вт), система автоматизації має бути розрахована на відповідні струмові навантаження. З огляду на технічні вимоги та потужність теплового насоса, оптимальним вибором є пристрій Schneider Electric EasyPact ATS, який забезпечує гарантовану комутацію між загальною мережею та резервною системою живлення. Його зовнішній вигляд показано на рисунку 2.10, а в таблиці 2.3 наведено основні технічні характеристики.



Рисунок 2.10 – Пристрій автоматичного введення резерву Schneider Electric EasyPact ATS

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики пристрою автоматичного введення резерву Schneider Electric EasyPact ATS

Номінальний струм:	від 15 А до 400 А (залежно від моделі)
Номінальна напруга:	220/230 В (однофазні) або 400/415 В (трифазні)
Кількість полюсів:	3 або 4 (для трифазних систем)
Тип комутації:	автоматичні вимикачі EasyPact CVS/MVS з моторизованим приводом
Час перемикання:	кілька секунд (залежно від конфігурації)
Захист:	від перевантаження та короткого замикання
Блокування:	електричне та механічне для запобігання одночасному включенню джерел

2.9 Обґрунтування вибору частотного перетворювача для керування тепловим насосом

Для забезпечення енергоефективної роботи теплового насоса потужністю близько 11 - 12 кВт та мінімізації пускових навантажень на електричну мережу приватного будинку, проектом передбачено використання частотного перетворювача. Враховуючи трифазну структуру

живлення компресора теплового насоса (400 В), обрана модель повинна мати відповідний номінальний струм із запасом 15–20% для стабільної роботи у режимах максимального навантаження.

У ході аналізу сучасних рішень для систем опалення, до встановлення пропонується частотний перетворювач Danfoss VLT HVAC Drive FC 102 потужністю 15 кВт (див. рисунок 2.11). Даний вибір зумовлений наступними технічними перевагами:

- спеціалізований алгоритм керування: модель FC 102 розроблена безпосередньо для приводів компресорів та насосів, що дозволяє автоматично оптимізувати енергоспоживання (функція AEO) та знизити експлуатаційні витрати на 15 – 25%;
- захисні функції: вбудований моніторинг стану системи запобігає пошкодженню компресора при критичних змінах тиску або витoku холодоагенту, а також забезпечує плавний пуск, що значно подовжує механічний ресурс обладнання;
- електромагнітна сумісність: наявність вбудованих фільтрів радіоперешкод (RFI) класу A1/B забезпечує коректну роботу побутової електроніки в будинку, мінімізуючи вплив гармонійних спотворень на внутрішню мережу.

Як альтернативне рішення було розглянуто серію Schneider Electric Altivar Process ATV630, яка вирізняється розвиненими можливостями мережевої інтеграції та вбудованими протоколами диспетчеризації (Modbus TCP). Проте, враховуючи пріоритет надійності в роботі з холодильними циклами, саме серія VLT HVAC Drive є найбільш доцільною для реалізації автономної системи теплозабезпечення.

Використання обраного перетворювача частоти дозволяє не лише стабілізувати температуру в приміщеннях завдяки точному регулюванню обертів компресора, а й забезпечити сталий контроль і віддалений моніторинг ключових параметрів роботи обладнання. Висока точність налаштування частоти обертання двигуна сприяє оптимізації

термодинамічних процесів у системі опалення та підвищує загальну надійність експлуатації теплового насоса.



Рисунок 2.11 – Частотний перетворювач Danfoss VLT HVAC Drive FC 102

3 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЄКТУ

3.1 Визначення капітальних витрат на реалізацію системи опалення тепловим насосом

У цьому дипломному проєкті була розроблена система електричного обігріву приватного господарства на основі теплового насосу з резервним живленням від сонячних панелей. Тому завдання, яке полягає в даному розділі – це визначити капітальні та експлуатаційні витрати на впровадження даної системи, а також розрахувати термін її окупності. Крім того, потрібно оцінити економічну вигідність цієї системи.

Оцінка вартості обладнання, яке буде використовуватися в системі, є важливою. Також слід врахувати витрати на обслуговування елементів системи протягом усього терміну її експлуатації (15 років) і витрати на заміну елементів. Оскільки наша система забезпечена резервним живленням, заміна акумуляторних батарей буде проводитися через 10 років роботи системи. Витрати на обслуговування елементів системи приймаються у розмірі 1% від вартості обладнання.

Під час аналізу кошторису, першочергово слід визначити загальну річну вартість системи (Total Annualized Cost, TAC) за таким принципом:

$$TAC = \frac{TLCC}{CPWF}, \quad (3.1)$$

де:

TLCC (Total Life Cycle Cost) – сукупна вартість системи за весь період її експлуатації;

CPWF (Cumulative Present Worth Factor) – комбінований фактор фактичної вартості.

					ДП.141.042.018.ПЗ		
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Зайцев Б. Р.				3 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЄКТУ		
Перевір	Антипчук Б.О.						
Н. Контр.	Антипчук Б.О.						
Затв.	Гнатюк О.Ф.						
						Літ.	Арк.
						У	51
						Аркушів	
						70	
						ЖАТФК, Гр. Е-42	

У таблиці 3.1 наведені всі капітальні витрати на реалізацію розробленої системи в рамках цього дипломного проєкту.

Таблиця 3.1 – Капітальні витрати проєкту

№	Назва технічних матеріалів	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
ТЕПЛОВА СИСТЕМА				
1	Тепловий насос NIBE F1145 12 кВт 400В	1	185000 грн	185000 грн
Всього по системі:			185000 грн.	
	СИСТЕМА РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ			
1	Сонячна панель Longi Solar типу JA Solar JAM72D42 630 Вт	8 шт.	6500 грн	52000 грн
2	Акумуляторна батарея LiFeR, тип LifeP04 24 В / 220 А·год	11 шт.	32230 грн	354530 грн
3	Гібридний інвертор Must PV19-6048 EXP	1 шт.	45000 грн	45000 грн
4	Пристрій автоматичного введення резерву Schneider Electric EasyPact ATS	1 шт.	18000 грн	18000 грн
5	Частотний перетворювач Danfoss VLT HVAC Drive FC 102	1шт	28351 грн	28351 грн
Всього по системі:			497881 грн	
Всього загальна вартість:			682881 грн	

Капітальні вкладення – це фінансові ресурси, що використовуються для створення та придбання основних засобів і нематеріальних активів, які підлягають амортизації. Капітальні вкладення є необхідними для впровадження запропонованої системи та є одним із найважливіших показників, які використовуються для економічної оцінки ефективності системи.

Розрахунок вартості монтажних та налагоджувальних робіт здійснюємо за формулою:

$$K_{MH} = \sum (C_i \cdot a \cdot t_i) \cdot K_D \cdot K_{CM} \cdot K_{ПР} , \quad (3.2)$$

де:

$Ч_i$ – кількість працівників i -го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт;

a – годинна тарифна ставка працівників i -го розряду, грн;

t_i – час, потрібний для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, год.;

$K_D = 1,1 \dots 1,5$ – коефіцієнт, що враховує рівень додаткових виплат;

$K_{CM} = 1,22$ – коефіцієнт, що враховує внески на соціальні заходи;

$K_{ПР} = 1,1 \dots 1,5$ – коефіцієнт, що враховує додаткові витрати на виконання монтажних (налагоджувальних) робіт.

Вартість монтажно-налагоджувальних робіт для теплового насоса та резервного джерела живлення визначається множенням базових показників на коефіцієнти складності. У реальних умовах Житомира подібні послуги надають компанії, що спеціалізуються на теплових насосах та системах опалення. Згідно з актуальними розцінками, монтаж котла потужністю до 55 кВт коштує 4500 – 6900 грн, встановлення батареї: 1000 – 1800 грн/шт., прокладання поліпропіленових труб: 50 – 100 грн/м.пог, а монтаж колектора – близько 1430 грн/шт. Транспортні витрати залежать від перевізника та маси обладнання, наприклад, доставка шести вантажних місць загальною масою до 5000 кг може становити близько 5500 грн. Таким чином, використання реальних тарифів дозволяє сформувати практичну оцінку капітальних вкладень у систему автономного теплопостачання.

$$K_{MН TH} = (4 \cdot 80 \cdot 10) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,5 = 6\,441,6 \text{ грн.}$$

$$K_{MН РЖ} = (2 \cdot 100 \cdot 10) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,5 = 4026 \text{ грн.}$$

Визначимо капітальні витрати на системи отоплення тепловим насосом та систему резервного живлення за допомогою наступної формули:

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

$$K = K_{OB} + K_{TP} + K_{MH} , \quad (3.3)$$

де:

K_{OB} – вартість обладнання для зведення витрат (без ПДВ), грн.;

K_{TP} – транспортно-заготівельні та складські витрати, грн.;

K_{MH} – витрати на монтаж та налагодження обладнання, грн.

Отримаємо, що:

$$K_{(TH)} = 185000 + 5500 + 6400 = 196900 \text{ грн.};$$

$$K_{(PЖ)} = 497881 + 5500 + 4000 = 507381 \text{ грн.};$$

$$K_{(TH+PЖ)} = K_{TH} + K_{PЖ} = 196900 + 507381 = 704281 \text{ грн.}$$

Капітальні витрати на опалення тепловим насосом та її резервне живлення становлять 704281 грн.

3.2 Розрахунок експлуатаційних витрат на впровадження розробленої системи

Експлуатаційні витрати – це поточні витрати на функціонування та обслуговування об'єкта проектування протягом певного періоду, виражені у грошовій формі. До основних статей експлуатаційних витрат на електротехнічне обладнання належать: амортизаційні відрахування (C_a); вартість споживаної електроенергії (C_e); основна й додаткова заробітна плата обслуговуючого персоналу та внески на соціальні заходи (C_3); витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт обладнання (C_T); інші витрати ($C_{ін}$). Таким чином, річні експлуатаційні витрати об'єкта проектування становлять:

$$C = C_a + C_e + C_3 + C_T + C_{ін} . \quad (3.4)$$

У даному проекті система теплового насоса та резервного живлення є повністю автономними і не потребують постійної присутності оператора. Планові роботи з обслуговування виконуватиме власник домогосподарства, тому статті витрат C_3 та $C_{ін}$ приймаються рівними нулю. Амортизаційні відрахування розраховуються виходячи з терміну служби обладнання: для теплового насоса він становить 15 років, а для резервного живлення – 10 років (через необхідність періодичної заміни акумуляторних батарей). При використанні прямолінійного методу норма амортизації залишається сталою протягом усього періоду експлуатації, її можна розрахувати за виразом:

$$H_a = \frac{K}{K \cdot T_n} \cdot 100\% , \quad (3.5)$$

де:

T_n – період якісного використання системи (амортизаційний період), років;

K – капітальні витрати на розроблену систему, грн.

Отримаємо, що:

$$H_{a(TH)} = \frac{196900}{196900 \cdot 15} \cdot 100\% = 6,7 \% .$$

$$H_{a(PЖ)} = \frac{507381}{507381 \cdot 10} \cdot 100\% = 10 \% .$$

$$H_{a(TH+PЖ)} = \frac{704281}{704281 \cdot 12,5} \cdot 100\% = 8 \% .$$

Річні амортизаційні відрахування для системи опалення приватного домогосподарства з тепловим насосом та резервним живленням визначаються за формулою, що враховує капітальні витрати та термін

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

експлуатації обладнання. Такий підхід дозволяє рівномірно розподілити вартість системи протягом усього періоду її використання. Ми будемо розраховувати за допомогою наступної формули:

$$C_a = \frac{K \cdot H_a}{100}, \quad (3.6)$$

де:

H_a – норма амортизації, %;

K – капітальні витрати на розроблену систему, грн.

Будемо мати, що:

$$C_{a_{(ТН)}} = \frac{196900 \cdot 6,7}{100} = 13192,3 \text{ грн};$$

$$C_{a_{(РЖ)}} = \frac{507381 \cdot 10}{100} = 50738,1 \text{ грн};$$

$$C_{a_{(ТН+РЖ)}} = \frac{704281 \cdot 8}{100} = 56342,48 \text{ грн}.$$

Окрім амортизації, необхідно врахувати витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт. До цієї статті належать витрати на матеріали, запасні частини та роботи з обслуговування. Для спрощення розрахунків приймається, що річні витрати на технічне обслуговування та ремонт становлять 1% від загальної суми капітальних витрат. Це дозволяє сформувати реалістичну оцінку експлуатаційних витрат системи теплового насоса та резервного живлення у приватному домогосподарстві:

$$C_T = 0,01 \cdot K. \quad (3.7)$$

Отримаємо:

$$C_{T(TH)} = 0,01 \cdot 196900 = 1969 \text{ грн.};$$

$$C_{T(PЖ)} = 0,01 \cdot 507381 = 5074 \text{ грн.};$$

$$C_{T(TH+PЖ)} = 0,01 \cdot 704281 = 7043 \text{ грн.}$$

Розрахунок річних експлуатаційних витрат для об'єкта проектування здійснюється за формулою 3.4, вони становлять:

$$C_{(TH)} = 13192,3 + 0 + 0 + 1969 = 15161,3 \text{ грн.};$$

$$C_{(PЖ)} = 50738,1 + 0 + 0 + 5074 = 55812,1 \text{ грн.};$$

$$C_{(TH+PЖ)} = 56342,48 + 0 + 0 + 7043 = 63386 \text{ грн.}$$

3.3 Розрахунок терміну окупності розробленої системи інфрачервоного електричного обігріву

Загальна електрична потужність розробленої в даному дипломному проєкті системи теплопостачання приватного будинку становить приблизно 11,06 кВт. Це означає, що за одну годину роботи система споживає близько 11,06 кВт·год електричної енергії.

Тривалість роботи системи протягом доби залежить від теплотехнічних характеристик будівлі, рівня її утеплення, а також від застосування автоматичних систем регулювання температури. У середньому система може функціонувати від 4 до 10 годин на добу, що дозволяє підтримувати необхідний температурний режим у приміщенні.

При цьому передбачається, що будинок має достатній рівень теплоізоляції, оскільки ефективне утеплення огорожувальних конструкцій є одним із ключових факторів зменшення енергоспоживання та підвищення енергоефективності будь-якої системи опалення.

Отже, визначимо місячні витрати на електроенергію, необхідну для роботи розробленої системи опалення приватного будинку.

$$M_{\text{ТН с.о.}} = P_{\text{заг.}} \cdot t \cdot n_{\text{днів}} \cdot E_{\text{ТН о.п.}} , \quad (3.8)$$

де:

$M_{\text{ТН с.о.}}$ – місячні витрати на електроенергію, необхідну для роботи розробленої системи опалення приватного будинку, грн;

$P_{\text{заг.}}$ – загальна електрична потужність обладнання системи теплопостачання, кВт;

t – середня тривалість роботи системи опалення протягом доби, год./добу;

$n_{\text{в.заг.}}$ – кількість днів роботи системи протягом місяця (для розрахунків приймається 30 днів);

$E_{\text{ТН о.п.}}$ – тариф на електричну енергію, що споживається системою теплопостачання. Станом на сьогодні він становить 4,32 грн за 1 кВт·год.

Матимемо, що:

$$M_{\text{ТН с.о.}} = 11,06 \cdot 6 \cdot 30 \cdot 4,32 = 8600,25 \text{ грн.}$$

Структура резервного енергозабезпечення розробленої системи теплопостачання приватного будинку має автономно-мережевий характер. Це означає, що вироблена сонячними панелями електроенергія використовується насамперед для живлення теплового насоса та інших елементів системи опалення. Частина отриманої електроенергії може спрямовуватися на заряджання акумуляторних батарей, які забезпечують резервне живлення у разі відсутності електроенергії в мережі. У випадку утворення надлишку виробленої електроенергії вона може бути передана до загальної електромережі.

Згідно із Законом України №514-VIII від 04.06.2015р. та постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, встановлено ставки так званого «зеленого» тарифу для електроенергії, виробленої з відновлюваних джерел енергії. Відповідно до цих нормативних документів, ставка «зеленого» тарифу у визначений період становить 0,163 євро за 1 кВт·год, що приблизно дорівнює 6,81 грн за 1 кВт·год.

Для оцінки ефективності роботи системи альтернативного енергозабезпечення необхідно визначити річний обсяг виробництва електричної енергії сонячною електростанцією, який розраховується за відповідною формулою.

$$W = P_{\text{СП}} \cdot N_{\text{СП}} \cdot n_{\text{днів}} \cdot n_{\text{світл.год.}} \quad (3.9)$$

де:

W – річний обсяг виробництва електричної енергії системою резервного енергозабезпечення на основі сонячних панелей, кВт·год;

$N_{\text{СП}}$ – кількість сонячних панелей типу JAM72D42 630 Вт компанії-виробника Longi Solar, шт;

$n_{\text{днів}}$ – кількість днів в році, шт.;

$P_{\text{СП}}$ – потужність однієї сонячної панелі JA Solar JAM72D42 630 Вт компанії-виробника Longi Solar, кВт;

$n_{\text{світл.год.}}$ – середня тривалість світлового дня, протягом якого відбувається генерація електроенергії сонячними панелями, год./добу (у розрахунках приймається 8–18 год. залежно від пори року).

Будемо мати, що:

$$W = 630 \cdot 8 \cdot 365 \cdot 12 = 22075200 \text{ Вт} = 22075,2 \text{ кВт}.$$

Таким чином, на основі отриманих розрахунків можна визначити річний обсяг виробництва електричної енергії сонячною електростанцією, а також оцінити економічну ефективність використання системи альтернативного енергозабезпечення для живлення теплового насоса та інших електричних споживачів у приватному будинку:

$$Y_{\text{розробленої системи}} = 6,81 \text{ грн} \cdot W - n_{\text{місяців}} \cdot M_{\text{ТН с.о.}}, \quad (3.10)$$

де:

$Y_{\text{розробленої системи}}$ – щорічний дохід від експлуатації розробленої системи приватного господарства з резервним живлення від сонячних панелей, грн.;
 $n_{\text{місяців}}$ – період опалювального сезону (кількість місяців), шт.

Отримаємо:

$$Y_{\text{розробленої системи}} = 6,81 \text{ грн} \cdot 22075.2 - 6 \cdot 8600,25 = 98777,11 \text{ грн.}$$

Для розрахунку терміну окупності розробленої системи скористаємось виразом:

$$T_{(\text{ТН}+\text{РЖ})} = \frac{K}{Y_{\text{розробленої системи}}}, \quad (3.11)$$

Матимемо, що:

$$T_{\text{резервне живлення}} = \frac{704281}{98777,11}$$

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

		4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів розробленої системи			ДП.141.042.018.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Зайцев Б. Р.				Літ.	Арк.
Перевір		Антипчук Б.О.				у	60
							70
					4 ОХОРОНА ПРАЦІ		Аркуш
Н. Контр.		Антипчук Б.О.			ДП.141.042.018.ПЗ ЖАТФК, Гр. Е-4		2
Затв.	Арк.	Гнатюк О.Ф.	Підпис	Дата			59

Експлуатація комплексної енергетичної системи, що об'єднує тепловий насос, сонячні панелі та акумуляторні батареї, пов'язана з низкою специфічних техногенних ризиків, які підлягають суворій класифікації згідно з нормами ДСТУ. Ключовим фактором небезпеки є робота сонячних масивів, що генерують постійний струм високої напруги (у діапазоні 400 – 800 В). На відміну від змінного струму, постійний схильний до утворення стійкої електричної дуги, яку вкрай важко загасити; це створює критичні ризики не лише для життя персоналу через ураження струмом, а й для цілісності об'єкта через високу ймовірність займання при найменшому погіршенні контактів. Паралельно з цим, функціонування потужних інверторів супроводжується виникненням інтенсивних електромагнітних полів, що вимагає чіткого зонування території для запобігання негативному впливу випромінювання на здоров'я людей.

Не менш складний сегмент ризиків зосереджений навколо роботи теплового насоса, де поєднуються баричні, хімічні та фізичні загрози. Обладнання функціонує під екстремальним тиском до 25 – 30 Бар, що у разі розриву трубопроводів може призвести до важкого механічного травмування. До того ж, використання холодоагентів (фреонів) у закритому контурі несе хімічну небезпеку: при розгерметизації газ здатний витіснити кисень із приміщення, спричиняючи отруєння або задиху. Робота компресорного вузла також є джерелом постійного низькочастотного шуму та вібрації, які при тривалому впливі провокують розлади нервової системи та професійну втому.

Окрему увагу слід приділити системам накопичення енергії. Сучасні літієві акумулятори (Li-ion та LiFePO₄) при механічних пошкодженнях, дефектах конструкції або порушенні режимів заряду схильні до так званого «термічного розгону». Ця ланцюгова хімічна реакція супроводжується миттєвим виділенням величезної кількості теплової енергії та токсичних

газів, причому таку пожежу майже неможливо ліквідувати стандартними засобами пожежогасіння. Таким чином, лише системний підхід до безпеки, що враховує електротехнічні, термодинамічні та хімічні властивості всіх компонентів, дозволяє мінімізувати ймовірність аварійних ситуацій під час експлуатації такої складної інженерної мережі.

4.2 Технічні заходи безпеки при експлуатації розробленої системи

Для забезпечення надійної експлуатації та нівелювання потенційних загроз впроваджується комплексна багаторівнева система безпеки, яка охоплює електричний, атмосферний та гідравлічний захист обладнання. Ключовим елементом є створення розгалуженої системи заземлення та зрівнювання потенціалів, що передбачає об'єднання всіх металевих конструкцій об'єкта – від опорних рам сонячних панелей та корпусів теплових насосів до металевих баків-акумуляторів – у єдиний замкнений контур. Це дозволяє усунути різницю напруг між окремими елементами системи, виключаючи ризик виникнення небезпечних струмів через тіло людини при випадковому контакті. Оскільки сонячні масиви зазвичай розташовані на відкритих ділянках або дахах будівель і є потенційними цілями для грозових розрядів, критично важливим є облаштування активного блискавкозахисту. Він доповнюється встановленням пристроїв захисту від імпульсних перенапруг (ПЗІП), які миттєво відводять надлишкову енергію в землю, захищаючи чутливу мікропроцесорну автоматику та інвертори від вигорання під час атмосферних розрядів чи стрибків напруги в мережі.

Важливу роль у системі електробезпеки відіграє захисна автоматика, зокрема пристрої захисного вимкнення (ПЗВ) та диференційні автомати. Ці пристрої здійснюють безперервний моніторинг струмів витоку: у разі найменшого пошкодження ізоляції кабелю чи обмотки двигуна система миттєво знеструмлює аварійну ділянку, що запобігає як ураженню персоналу, так і виникненню пожежі. Паралельно з електричною безпекою

реалізується багаторівневий захист гідравлічної частини теплового насоса. Для запобігання критичному зростанню тиску, що виникає внаслідок термічного розширення теплоносія під час нагрівання, у систему обов'язково інтегруються розширювальні баки відповідного об'єму. Вони працюють у парі з дублюючими запобіжними клапанами, які здійснюють аварійне скидання надлишку рідини у разі виходу робочих параметрів за межі допустимих норм, забезпечуючи тим самим цілісність трубопроводів та теплообмінних вузлів. Такий інтегрований підхід дозволяє створити стійку до зовнішніх та внутрішніх факторів інженерну мережу, де кожен рівень захисту компенсує відповідні специфічні ризики.

4.3 Пожежна безпека при експлуатації розробленої системи

З огляду на надзвичайно високу енергоємність розробленої нами автономної системи опалення з резервним живленням від сонячних панелей, стратегія пожежної безпеки базується на комплексному поєднанні конструктивних рішень, інженерних систем життєзабезпечення та суворого дотримання регламентів пожежогасіння. Першочерговим превентивним заходом є впровадження спеціальних конструктивних стандартів монтажу, де особлива увага приділяється трасам постійного струму (DC). Оскільки сонячні панелі генерують високу напругу, всі кабельні лінії від фотоелектричного поля до інверторного обладнання повинні прокладатися виключно в негорючих металевих лотках, сталевих трубах або спеціалізованих гофротрубах із маркуванням «НГ», що мають властивість самозатухання. Такий підхід локалізує можливе коротке замикання всередині вогнетривкої оболонки та перешкоджає поширенню полум'я по конструкціях будівлі.

Не менш критичним аспектом є організація мікроклімату в технічних приміщеннях, де розташовані блоки акумуляторних батарей. Процеси заряду та розряду неминуче супроводжуються виділенням теплової енергії, а у

випадку використання певних типів накопичувачів, як-от свинцево-кислотних, – ще й виділенням вибухонебезпечного водню. Для запобігання утворенню небезпечних концентрацій газів та критичному перегріву комірок АКБ, приміщення має бути обладнане системою примусової припливно-витяжної вентиляції або забезпечене високоефективним природним повітрообміном, що гарантує безперервне відведення надлишкового тепла та хімічних сполук.

На завершальному рівні безпеки передбачається оснащення об'єкта первинними засобами пожежогасіння, які відповідають специфіці електроустановок. Для ліквідації займань у таких системах дозволяється використовувати лише вуглекислотні або порошкові вогнегасники (класів А, В, С, Е), які здатні ефективно пригнічувати полум'я, не пошкоджуючи при цьому чутливу електроніку та не створюючи загрози для рятувальників. Важливо суворо дотримуватися правила, згідно з яким використання води або піни для гасіння електроустановок, що перебувають під напругою, категорично заборонено через високу електропровідність рідини, що може призвести до миттєвого ураження персоналу електричним струмом та масштабного короткого замикання в системі.

4.4 Вимоги до монтажу та експлуатації розробленої системи

Безпека під час проведення монтажних та сервісних робіт забезпечується через суворе дотримання комплексних регламентів, що охоплюють професійну підготовку, технічні засоби захисту та адаптацію до зовнішніх умов. Насамперед на рівні кадрового допуску встановлюється жорсткий кваліфікаційний бар'єр: до будь-яких операцій з енергосистемою залучаються лише особи, які пройшли спеціалізоване навчання та офіційно підтвердили групу з електробезпеки не нижче III, що є обов'язковою вимогою для роботи з установками під напругою до 1000 В. Крім фахових знань, персонал зобов'язаний використовувати повний спектр засобів

індивідуального захисту, адаптованих до конкретних зон ризику. У безпосередній близькості до інверторного обладнання критично важливим є використання діелектричних килимків та калош, що розривають електричний ланцюг у разі витоку струму, тоді як загальний захист забезпечується сертифікованими касками та спецодягом з антистатичних тканин, які нівелюють вплив статичної електрики на чутливі мікропроцесори.

Процес встановлення компонентів системи на дахах чи фасадах класифікується як робота на висоті, що вимагає обов'язкового застосування сертифікованих страхувальних систем, таких як запобіжні пояси, троси та надійні точки анкерного кріплення. При цьому регламенти суворо забороняють проведення будь-яких висотних маніпуляцій у несприятливих метеорологічних умовах: під час опадів, ожеледиці або при сильних поривах вітру, що перевищують 15 м/с, оскільки такі чинники критично підвищують імовірність травматизму. Важливу роль у запобіганні аваріям відіграє візуальна ідентифікація загроз за стандартами ДСТУ EN ISO 7010. Особливу специфіку має маркування кабельних ліній постійного струму, які обов'язково оснащуються попереджувальними мітками про наявність напруги у світловий час доби. Це зумовлено технічною особливістю сонячних панелей, які неможливо миттєво «вимкнути» або знеструмити, поки на їхню поверхню потрапляє сонячне світло, що створює постійну приховану загрозу для фахівця навіть при відключенні загальних автоматів живлення.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломного проєкту було розроблено та

обґрунтовано систему автономного теплопостачання приватного будинку на					ДП.141.042.018.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	базі геотермального теплового насоса з інтегрованою системою резервного		
Розробив		Зайцев Б. Р.			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Живлення від сонячної електростанції.			У	65	70
4 ВИСНОВКИ					ДП.141.042.018.ПЗ ЖАТФК, Гр. Е-42		
Н. Контр.		Антипчук Б.О.			64		
Затв.	Арк.	Гнатюк О.Ф.	Підпис	Дата			

У ході роботи проведено порівняльний аналіз сучасних методів опалення, який підтвердив, що використання теплових насосів є найбільш енергоефективним та екологічно безпечним рішенням, оскільки дозволяє отримувати до 4 кВт теплової енергії на кожен спожиту кВт-годину електрики. На основі теплотехнічного розрахунку об'єкта було визначено сумарні тепловтрати будівлі, що становлять 11,06 кВт, що стало базою для підбору основного обладнання.

Для реалізації проєкту обрано геотермальний тепловий насос NIBE F1145, який забезпечує стабільну теплопродуктивність незалежно від зовнішніх погодних умов завдяки використанню низькопотенційного тепла ґрунту. З метою забезпечення енергонезалежності системи в умовах нестабільного централізованого електропостачання, запропоновано рішення з використанням сонячних панелей загальною потужністю 5 кВт та блоку акумуляторних батарей. Це дозволяє системі підтримувати критичне функціонування опалення під час аварійних відключень мережі.

Економічний аналіз показав, що попри значні початкові капіталовкладення (704281 грн), проєкт є доцільним завдяки низьким експлуатаційним витратам та економії на енергоносіях. Розрахунковий термін окупності системи становить близько 7 років, що є позитивним показником для об'єктів відновлюваної енергетики.

Впровадження розробленої системи дозволяє не лише досягти високого рівня комфорту та автономності житла, а й зробити вагомий внесок у декарбонізацію енергетики та раціональне використання природних ресурсів. Всі технічні рішення відповідають чинним нормам з охорони праці та техніки безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Альтернативні джерела енергії та технології їх використання : підручник / В. В. Клименко, В. П. Солдатенко, С. П. Плешков [та ін.] ; за ред. В. В.

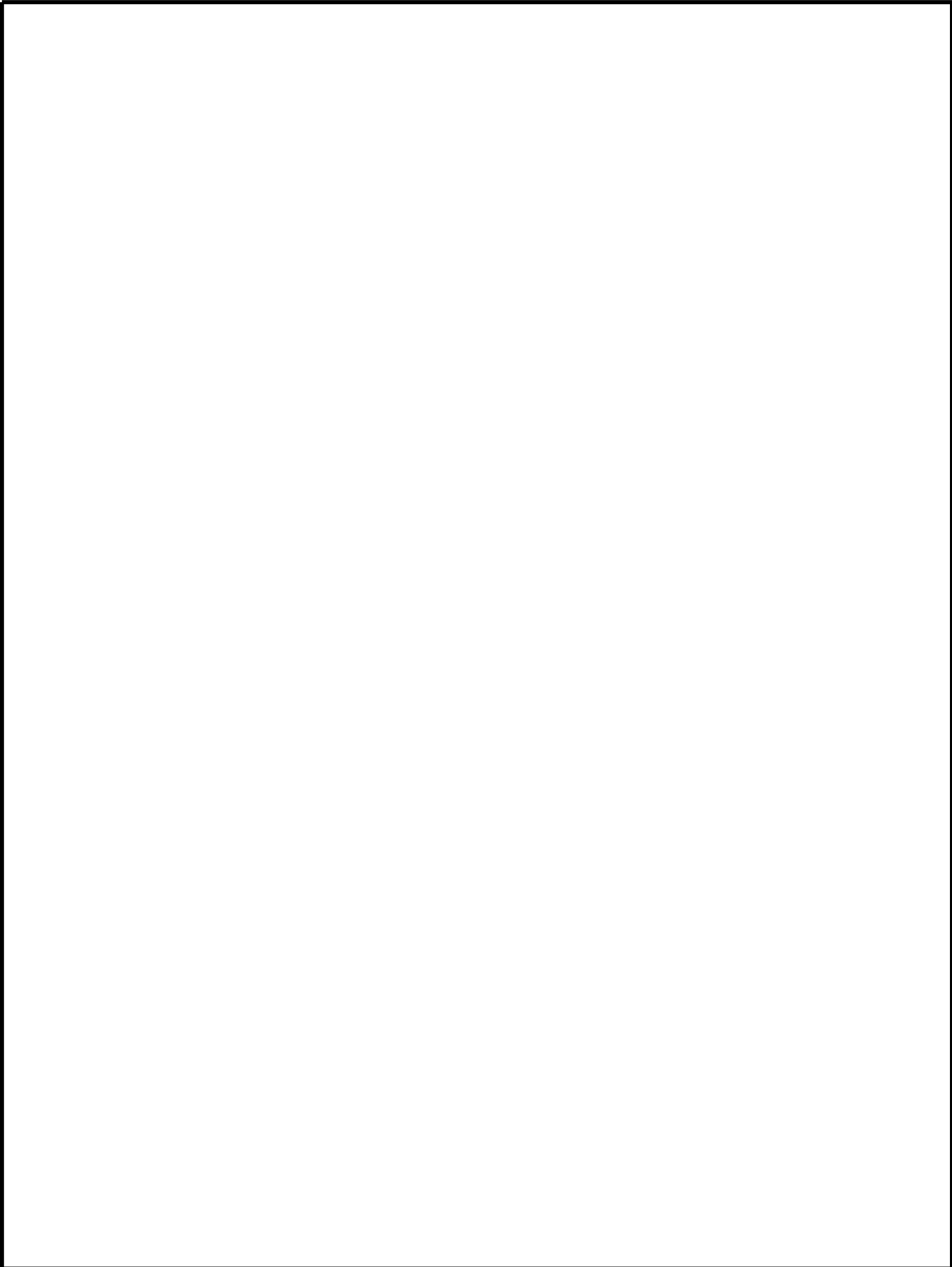
		Клименка. Кропивницький : Ексклюзив-Систем, 2023. – 268 с.			
					ДП.141.042.018.ПЗ
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	2. Балансова надійність електричної мережі з фотоелектричними станціями :
Розробив	Зайцев Б.Р.	Монографія	/ П.Д. Лежнюк, В. О. Комар, С. В. Кравчук та ін.	Лист	Арк.
Перевір	Антипчук Б.О.			у	Виниці
					67 70
Н. Контр.	Антипчук Б.О.				
Затв.	Гнатюк О.Ф.				
					СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ
					ЖАТФК, Гр. Е-42

Вінницький нац. техн. ун-т, 2018. 136 с.

3. Батрак Л. М., Ромашко В. Я. Регульовальні характеристики зарядного пристрою акумулятора сонячної батареї / Л. М. Батрак, В. Я. Ромашко // Мікросхеми, електроніка та акустика. 2019. Т. 24, № 4. С. 25-31.
4. Гаєвський О. Ю. Система вимірювання параметрів фотоелектричних модулів в реальних умовах експлуатації / О. Ю. Гаєвський, В. Ю. Іванчук, І. О. Корнієнко // Відновлювана енергетика. 2019. № 2. С. 32-39.
5. Гаєвський О. Ю. Фотоенергетика. Ч. І. Сонячна радіація і фотоелектричні модулі [Електронний ресурс] : підручник / О. Ю. Гаєвський. Київ : КПІ імені Ігоря Сікорського, 2023. 150 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/11874d49-250c-45c6-84a2-203c546e3104/content>
6. Теплові насоси в Україні. Будова та принцип роботи теплових насосів. https://heatpump.net.ua/?gad_source=1&gad_campaignid=23635953324&gclid=EAIaIQobChMIgICcjInykwMVVkGRBR0jXi_bEAAAYASAAEgJec_D_BwE
7. Теплові насоси для опалення будинку під ключ. https://tepolopolis.ua/?gad_source=1&gad_campaignid=23020167245&gclid=EA
8. Комбіновані фотоенергетичні системи : монографія / Р. В. Зайцев, Г. С. Хрипунов, М. В. Кіріченко, А. В. Меріуц ; Нац. техн. ун-т "Харківський політехнічний інститут". Харків : ФОП Бровін О. В., 2020. 323 с.
9. Монтаж теплового насосу : https://сахара.ua/?gad_source=1&gad_campaignid
10. Сегеда М. С. Нетрадиційні та відновлювальні джерела електроенергії : навч. посібник / М. С. Сегеда, М. Й. Олійник, О. Б. Дудурич. Львів : Львівська політехніка, 2019. 204 с.
11. Як вибрати тепловий насос? URL: <https://polcity.com.ua/ua/blog-news/kak-vybrat-infrakrasnyj-teplyj-pol>

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

<i>Познач.</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кіл.</i>	<i>Примітка</i>
	<i>НАПІВПРОВІДНИКОВІ ЕЛЕМЕНТИ</i>		
<i>VT1-VT3</i>	<i>IRFZ44N</i>	<i>3</i>	
<i>VD1</i>	<i>10A10</i>	<i>1</i>	
<i>VD6-VD9</i>	<i>1N5408</i>	<i>4</i>	
<i>VD10-VD15</i>	<i>1N4148</i>	<i>5</i>	
<i>LED1, LED2</i>	<i>EL5 мм</i>	<i>2</i>	
	<i>Інтегральні схеми</i>		
<i>IC1</i>	<i>L7805CV</i>	<i>1</i>	
<i>IC2</i>	<i>NE555P</i>	<i>1</i>	
<i>IC3</i>	<i>UC3842</i>	<i>1</i>	
	<i>РЕЗИСТОРИ</i>		
<i>R1, R2</i>	<i>3,3 кОм</i>	<i>2</i>	
<i>R3, R4, R10</i>	<i>10 кОм</i>	<i>3</i>	
<i>R5, R6</i>	<i>3,3 кОм</i>	<i>2</i>	
<i>R7, R12</i>	<i>1 кОм</i>	<i>2</i>	
<i>R8, R9</i>	<i>6 кОм</i>	<i>2</i>	
<i>R11</i>	<i>12 кОм</i>	<i>1</i>	
<i>R13, R14</i>	<i>4 кОм</i>	<i>2</i>	
<i>R15 - R18</i>	<i>1,6 кОм</i>	<i>4</i>	
<i>R21, R22</i>	<i>100 Ом</i>	<i>2</i>	
<i>R19, R20</i>	<i>20 кОм</i>	<i>2</i>	
<i>R23</i>	<i>7,5 кОм</i>	<i>1</i>	
	<i>Елементи автоматики</i>		
<i>QF1-QF4</i>	<i>BA47-29</i>	<i>4</i>	
<i>KM1, KM2</i>	<i>ПМЕ-111</i>	<i>2</i>	
	<i>КОНДЕНСАТОРИ</i>		
<i>C1, C2</i>	<i>470μF</i>	<i>2</i>	<i>Електролітичний</i>
<i>C5, C7</i>	<i>10nF</i>	<i>2</i>	<i>Керамічний</i>



					ДП.141.042.018.ПЗ						
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	Перелік елементів. Схема електрична принципова. Автономна теплова система з резервним живленням від сонячної електростанції для приватного домогосподарства. (ДОДАТОК А)	Літ.		Арк.		Аркушів	
Розробив	Зайцев Б.Р.					У		69		70	
Перевір	Антипчук Б.О.					ЖАТФК, Гр. Е-42					
Н. Контр.	Антипчук Б.О.										
Затв.	Гнатюк О.Ф.										

[illegible]

