

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
інженерії енергосистем
(назва кафедри)

Є.О.Антипов

_____ (підпис)

„_____” _____ 2025р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Розробка системи енергопостачання енергозберігаючого фермерського будинку з використанням теплових насосів

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»

02.03 – КР. 2024 «С» 2024.11.12 005 ПЗ

Гарант освітньої програми

канд. техн. наук, доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (Підпис)

О.В. Шеліманова
(ПІБ)

Керівник

докт. техн. наук, професор
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (Підпис)

В.Г. Горобець
(ПІБ)

Виконав

_____ (Підпис)

А.Г. Кобзін
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

інженерії енергосистем

(назва кафедри)

Є.О.Антипов

_____ (підпис)

„_____” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Кобзіну Андрію Геннадійовичу

Спеціальність (напрямок підготовки): 144 "Теплоенергетика"

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи:

Розробка системи енергопостачання енергозберігаючого фермерського будинку
з використанням теплових насосів

затверджена наказом ректора НУБіП України від "12" 11. 2024 р. №2024«С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру "01 " _____ червня _____ 2025 р.

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: _____

Перелік питань, які потрібно вирішити: _____

1. Провести огляд існуючих рішень у галузі енергозбереження
2. Розрахувати тепловтрати та теплонадходження у будівлю
3. Здійснити проектування системи енергопостачання з використанням відновлюваних джерел енергії
4. Оцінити її економічну, екологічну та соціальну ефективність

Перелік додаткових матеріалів: презентація,

Дата видачі завдання: "14" 11. 2024 р

Керівник

докт. техн. наук, професор

(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (Підпис)

В.Г. Горобець

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____

(Підпис)

А.Г. Кобзін

(ПІБ студента)

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАНЬ.....	7
1.1 Мета дослідження.....	7
1.2 Об'єкт дослідження.....	7
1.3 Предмет дослідження.....	7
1.4 Завдання на дослідження.....	8
РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄТКА ТА ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ.....	9
2.1. Загальна характеристика будинку.	9
2.2 Матеріали використані при будівництві та аналіз конструктивних рішень.	10
2.3 Особливості проектування енергоефективних будівель.....	12
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ РІШЕНЬ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖННЯ ТА ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	15
3.1 Втрати теплоти через огорожувальні конструкції.	15
3.2 Розрахунок теплових втрат огорожувальних конструкцій.	18
3.3 Проектування системи вентиляції у будинку та розрахунок втрат теплоти через неї.	21
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВИХ НАДХОДЖЕНЬ В БУДІВЛЮ ТА СИСТЕМИ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	27
4.1 Надходження теплоти від людей.....	27
4.2 Теплонадходження теплоти від електричних приладів.....	28
4.3 Розрахунок необхідної потужності системи ГВП та її споживання електроенергії.....	30
РОЗДІЛ 5. ВИБІР ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОТИ ДЛЯ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ТА ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	32
5.1 Типи теплових насосів і принцип роботи.....	32
5.2 Ефективність теплових насосів (COP) і залежність від температури....	33
5.3 Оптимальний вибір для Півдня України (м. Ізмаїл).....	35
5.4 Вибір буферного бака.....	37

	4
5.5 Вибір резервного джерела теплоти.....	39
5.6 Вибір джерела теплоти для гарячого водопостачання	40
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ СИСТЕМИ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ПІДБІР СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ЙОГО ПОКРИТТЯ	42
6.1 Розрахунок електроспоживання бойлера.....	42
6.2 Підбір сонячних панелей для покриття електроспоживання джерелом тепла 43	
6.3 Розрахунок площі для встановлення сонячної електростанції.....	44
РОЗДІЛ 7. ЕКСПЛУАТАЦІЯ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	45
7.1 Загальні положення	45
7.2 Експлуатація системи опалення.....	45
7.3 Експлуатація вентиляційного устаткування.....	47
7.4 Експлуатація електричного бойлера для гарячого водопостачання	48
ВИСНОВКИ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	51

ВСТУП

Енергоефективність є важливим напрямом сучасної людської цивілізації. Енергоефективність дозволить людству зробити великий крок до максимальної екологічності як світового співтовариства так і кожної родини. В XXI столітті енергоефективність перетворилась в життєву необхідність. Сьогодні енергоефективність дозволяє жити економно. На відміну від енергозбереження, головним чином спрямованого на зменшення енергоспоживання, енергоефективність – доцільне (ефективне) витрачання енергії.

Енергоефективність – ефективне (розсудливе, доцільне) використання енергетичних запасів. Це застосування меншої кількості енерг для підтримання того ж рівня енергетичного забезпечення будівель або технологічних процесів на виробництві

Енергоефективний дім – це споруда з оптимальним мікрокліматом при низькому рівні енергоспоживання. Завдяки конструкції та інженерному обладнанню такий дім дозволяє зменшити використання енергії до 90% в порівнянні зі старими спорудами. У зв'язку з швидкими темпами виснаження природних енергоресурсів та постійним ростом цін на їх використання концепція енергоефективного будинку набирає все більшої популярності в розвинених країнах світу.

В 80-х роках спеціалісти Міжнародної енергетичної конференції ООН ініціювали ідею щодо проектування «пасивних будинків», що будуть максимально незалежними від зовнішніх енергоресурсів та дружніми до природного середовища. Енергоефективні будинки можуть бути як такі, що споживають на 50% менше енергії, ніж стандартні будівлі, так і такими, що генерують енергію. Відмінна теплоізоляція, інноваційний продуманий дизайн та використання відновлюваних джерел енергії дозволяють таким будинкам продавати залишки енергії енергетичним компаніям.

Для сучасного комунального господарства енергозбереження це найпрогресивніший шлях подальшого розвитку. Так як сучасна економіка в епоху високого рівня конкуренції не може дозволити такого високого рівня

енергоємності як в промисловому секторі так і комунальному господарстві. Стандарти енергоємності ХХ століття сьогодні є шляхом до банкрутства та дефіциту домашнього бюджету. Тому сьогодні енергоефективність є необхідним механізмом виживання кожного окремого домогосподарства.

Сьогодні на житловий сектор припадає майже 40% річного світового споживання первинних енергоресурсів і приблизно така ж частка світових викидів вуглекислого газу. Прийнято міжнародний стандарт ISO 50001, який регулює в тому числі енергоефективність. У загальному обсязі кінцевого споживання енергії в державах ЄС частка промисловості становить 28,8%, частка транспорту – 31%, сфери послуг – 47%. З урахуванням того, що близько 1/3 обсягу енергоспоживання витрачається на житловий сектор, у 2024 році була прийнята Директива Європейського Союзу щодо енергетичної ефективності будівель в якій сформульовані вимоги до будівель з нульовими викидами.

Директивою передбачається, що загальне річне споживання первинної енергії новою або відремонтованою будівлею з нульовими викидами повинно повністю покриватись на основі:

- енергії з відновлюваних джерел, виробленої на місці,
- відновлюваної енергії, що надається спільнотою відновлюваних джерел енергії, або
- відновлюваної енергії та відпрацьованого тепла від ефективної системи централізованого опалення та охолодження

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАВДАНЬ

1.1. Мета дослідження

Мета даної дипломної роботи полягає у розробці ефективної системи енергопостачання для будинку із застосуванням енергозберігаючих технологій. Для досягнення цієї мети необхідно провести огляд існуючих рішень у галузі енергозбереження, здійснити проектування системи енергопостачання з використанням відновлюваних джерел енергії та оцінити її економічну, екологічну та соціальну ефективність.

1.2. Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є будинок, як звичайний елемент сільської місцевості, який потребує стабільності та ефективності в системі енергопостачання. Головний акцент зосереджено на забезпеченні енергетичних потреб будинку, зокрема електропостачанні, опаленні та вентиляції.

1.3. Предмет дослідження

Предметом дослідження є система енергопостачання будинку, яка ґрунтується на використанні енергозберігаючих технологій та на відновлювальних джерелах енергії. Іншими словами нам потрібно спроектувати та виконати оцінку ефективності різних складових системи, таких як джерела енергії, системи накопичення та розподілення енергії, а також використати технології оптимізації споживання енергії

1.4. Завдання на дослідження

Для виконання мети дослідження необхідно поставити такі основні завдання:

1. Необхідно провести аналіз існуючих рішень у галузі енергозбереження.

Потрібно провести аналіз новітніх технологій та методів енергозбереження передових компаній, які в подальшому використовуються у будівництві та експлуатації господарств. Головний акцент слід зробити на відновлювальних джерелах енергії, таких як теплові насоси, вітрові генератори та сонячні панелі, також приділити увагу системам утеплення, вентиляції з рекуперацією тепла та іншим енергоефективним рішенням.

2. Спроекувати систему енергопостачання для будинку.

Необхідно сформуванати обґрунтовану концепцію енергозабезпечення будинку, яка відзначатиметься високою ефективністю та стабільністю роботи. Це передбачає аналіз і підбір найдоцільніших джерел енергії з подальшим їх поєднанням у єдину систему. Окрім цього, слід розробити стратегію скорочення енергоспоживання шляхом впровадження сучасних технологій енергозбереження.

3. Провести аналіз продуктивності системи

Після розробки системи енергопостачання необхідно оцінити її ефективність за кількома критеріями: економія, екологія та енергетична стабільність. Це включає розрахунок вартості впровадження системи, аналіз економії енергоресурсів, зниження викидів парникових газів та визначення окупності проекту.

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄТКА ТА ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ

2.1. Загальна характеристика будинку

Об'єктом дослідження є будинок, як звичайний елемент сільського господарства, який потребує стабільності та ефективності в системі енергопостачання. Будинок – житлове приміщення. Основний акцент при проектуванні цього будинку зроблено на забезпеченні його енергетичних потреб, а саме: опалення, вентиляція та електропостачання з використанням енергозберігаючих технологій.

Енергоефективний будинок – це будівля, яка забезпечує оптимальний мікроклімат для мешканців при мінімально необхідному рівні енергоспоживання. Іншими словами, такий дім споживає якнайменше енергії для опалення, охолодження та інших потреб, водночас підтримуючи комфортну температуру, вологість та якість повітря всередині приміщень. Характерні ознаки такого будинку – дуже низькі тепловтрати через огороджувальні конструкції та інженерні системи, а також раціональне використання отриманої енергії.

Існують міжнародні й національні стандарти, що визначають, при яких показниках енергоспоживання або тепловтрат будинок можна вважати енергоефективним. У європейській практиці прийнято класифікувати будівлі за питомими річними витратами енергії на опалення: наприклад, «низькоенергетичні» будинки споживають близько 60 кВт·год/м² на рік, а пасивні будинки – лише приблизно 15 кВт·год/м² на рік. Останній показник (≈ 15 кВт·год/м²·рік) часто наводиться як критерій ультраефективного будинку, оскільки відповідає стандарту Passive House. В Україні енергоефективність будівель регламентується, зокрема, вимогами до теплотехнічних показників огороджувальних конструкцій. Нові норми (ДБН В.2.6-31:2021) встановлюють мінімально допустимий опір теплопередачі: наприклад, для південного регіону

(Одеська область належить до теплої зони II) зовнішні стіни повинні мати $R \geq 3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, а покрівлі – $R \geq 5,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Досягнення або перевищення таких нормативних значень підтверджує, що теплові втрати будівлі дуже малі і відповідають високому класу енергоефективності.

2.2. Матеріали використані при будівництві та аналіз конструктивних рішень.

Будинок має два надземні поверхи. Загальна площа становить близько 190 м^2 , з них приблизно 100 м^2 припадає на перший поверх і 90 м^2 – на другий. На першому поверсі розміщено, серед іншого, вітальню і кухню, тому тут передбачено три великі вікна розміром приблизно $1,98 \times 1,60 \text{ м}$ кожне (площа скління кожного $\sim 3,17 \text{ м}^2$). Також на першому рівні є входні двері розміром $2,05 \times 0,86 \text{ м}$ (площа близько $1,763 \text{ м}^2$) - для виходу назовні.

Другий поверх має дещо меншу площу і включає спальні кімнати; там передбачено чотири вікна аналогічного розміру для природного освітлення. Великі площі скління з одного боку забезпечують добрий денне світло та пасивне нагрівання від сонця, а з іншого – висувають підвищені вимоги до теплоізоляційних характеристик цих вікон, щоб знизити втрати тепла через них. В цілому співвідношення площі вікон до підлоги в будинку підібране оптимально, аби балансувати між енергозбереженням і достатнім освітленням.

Конструкція зовнішніх огорожувальних елементів будинку (стіни, перекриття, дах) виконана з урахуванням сучасних вимог енергоефективності. Зовнішні стіни мають високий термічний опір: у проекті прийнято значення, не нижчі за нормативні $R = 3,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ для даного регіону .

Це досягнуто за рахунок застосування ефективних стінових матеріалів та додаткового утеплення. Стіни містять утеплювач товщиною 15-20 см, що відповідає рекомендаціям для південної зони України . Покрівля також добре утеплена, забезпечуючи опір теплопередачі $\sim 5,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ згідно з нормами . Покрівля виконана за схемою:

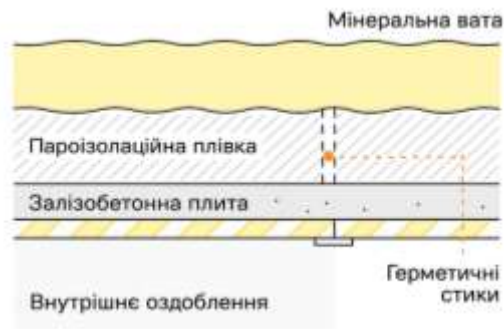


Рис. 2.1. Схема утеплення покрівлі

Для будівництва використані світлопрозорі конструкції з підвищеним опором теплопередачі – енергоефективні вікна з багатокамерними склопакетами і енергоощадним склом, які суттєво зменшують втрати у порівнянні зі звичайними вікнами.

Огороджувальна оболонка будинку виконана герметично: це мінімізує небажані інфільтрації холодного повітря. У проекті особливу увагу приділено усуненню можливих містків холоду в конструкції, аби жодна частина стін чи перекриттів не проводила тепло надміру назовні. В результаті тепловтрати через стіни, дах і підлогу зведені до мінімуму.

Розташування будинку на ділянці враховує сторони світу: основні вікна орієнтовані максимально на південь для ефективного пасивного нагріву сонячною радіацією в холодний період. З північного боку, навпаки, площа отворів обмежена, щоб зменшити втрати. Така орієнтація покращує енергетичний баланс будинку – сонячні промені взимку додають тепла, скорочуючи потребу в опаленні, а влітку надмірне нагрівання контролюється за допомогою навісів або жалюзі.

Будинок побудовано з цеглини в подвійну кладку, внутрішня частина оброблена штукатуркою, зовні стінка утеплена базальтовими плитами. Стеля виконана з : залізобетонна плита, пароізоляційна плівка, утеплена базальтовими плитами та має внутрішнє оздоблення з гіпсокартону. Підлога складається з основи у вигляді залізобетонної плити, гідроізоляції з руберойду, утеплення з пінополістиролу та внутрішньої армованої стяжки. Двері – вхідні з терморозривом, вікна – металопластик 5-камерні.

2.3. Особливості проектування енергоефективних будівель

Під час проектування енергоефективної будівлі дотримуються декількох основоположних архітектурних і будівельних принципів, спрямованих на зменшення енергоспоживання, зниження експлуатаційних витрат та створення комфортного мікроклімату для мешканців.

До таких принципів належать:

- оптимальне розташування будівлі на ділянці щодо сторін світу з урахуванням сонячної радіації, панівних вітрів та можливостей затінення;
- формування компактної геометрії будівлі (мінімальне співвідношення площі зовнішніх огорожувальних конструкцій до об'єму приміщень), що зменшує загальні тепловтрати;
- забезпечення високого термічного опору огорожувальних конструкцій (стіни, перекриття, покрівля, підлога), шляхом використання сучасних теплоізоляційних матеріалів;
- мінімізація теплових містків, які виникають у місцях стикування будівельних елементів (наприклад, біля вікон, дверей, балконів);
- застосування енергоефективних вікон і дверей із низькоемісійним склом, багатокамерними рамами, теплими дистанційними рамками;
- герметичність зовнішньої оболонки будівлі та контрольована система вентиляції, яка дозволяє зменшити інфільтраційні тепловтрати;
- використання вентиляційних установок з рекуперацією тепла, які повертають до 80–90% енергії витяжного повітря;
- впровадження системи «тепла підлога» або низькотемпературного опалення в поєднанні з тепловими насосами для зниження споживання енергії;
- інтеграція відновлюваних джерел енергії (сонячні панелі, вітрогенератори, геліосистеми для гарячого водопостачання) в загальну енергетичну концепцію;

- створення системи автоматизованого управління енергоспоживанням (розумний будинок, датчики присутності, погодозалежне регулювання температури);
- врахування теплової інерції будівельних матеріалів та можливості акумулювання тепла протягом доби;
- застосування зовнішніх та внутрішніх засобів затінення (жалюзі, навіси, розумні вікна) для захисту від перегріву влітку.

Окрім архітектурних і будівельних аспектів, важливу роль відіграє правильне зонування приміщень. У спальні та житлові кімнати бажано розміщувати з південного боку, тоді як господарські приміщення (санвузли, кладовки) – з північного, що дозволяє раціональніше використовувати сонячне тепло.

У сучасному підході до проєктування переважає системне бачення, при якому будівля розглядається як єдина енергетична система. Усі її елементи – від фундаменту до даху – мають бути узгоджені між собою для досягнення оптимального енергетичного балансу.

Окрему увагу приділяють енергетичному моделюванню, що дозволяє на етапі проєкту передбачити теплові втрати, теплові надлишки, точки роси, ефективність рекуперації, вплив пасивного сонячного нагріву та інші важливі аспекти. Такий підхід дозволяє оптимізувати інвестиційні витрати та уникнути перевитрати на зайве утеплення чи недостатню вентиляцію.

Також проєктування повинно враховувати місцеві кліматичні умови, геологічні особливості ґрунтів, рівень ґрунтових вод, орієнтацію до рози вітрів та наявність природних або штучних перешкод, що впливають на мікроклімат будівлі.

З метою досягнення нульового енергоспоживання, все більшого значення набувають будинки з класом енергоефективності «А++» або так звані «пасивні» та «нуль-енергетичні» будівлі. У таких будівлях споживання енергії мінімізується настільки, що її решта забезпечується за рахунок відновлюваних джерел, і в деяких випадках будівля навіть генерує надлишок енергії.

Загалом, ефективне проектування енергоефективного будинку — це результат комплексного підходу, що охоплює архітектурне планування, конструктивні рішення, інженерні системи, автоматизацію та використання екологічно чистих матеріалів. Такий підхід дозволяє досягти високого рівня енергоефективності, економії енергоресурсів та зниження шкідливих викидів в атмосферу.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ
РІШЕНЬ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖННЯ ТА ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1. Втрати теплоти через огорожувальні конструкції.

Загалом втрати теплоти в будівлі оцінюються наступним чином (рис.3.1).



Рис. 3.1. Втрати теплоти в будівлі

Розрахунок втрат теплоти виконаємо для умовного будинку, проект якого показано на рис.3.2.



Рис 3.2. Проект енергоефективного будинку

Геометричні характеристики енергозберігаючого будинку представлені в таблиці 3.1. Теплотехнічні характеристики елементів конструкцій будинку занесені до таблиці 3.2

Таблиця 3.1

Розрахункові геометричні характеристики будівлі

№ поверху	Площа, м ²	Розмір вікон, м	Кількість вікон, шт.	Площа вікон, м ²	Розмір дверей, м	Кількість дверей, шт.	Площа дверей, м ²	Висота поверху, м
1-й	130,00	1,98×1,6	3,00	3,168	1,8×2	1,00	3,60	3,00
		1,38×0,8	2,00	1,104	1×2	1,00	2	
		0,78×0,9	2,00	0,702	3×2,5	1,00	7,5	
		0,48×0,3	1,00	0,144				
2-й	100,00	1,98×1,6	4,00	3,168	-	-	-	2,70
		1,38×0,8	2,00	1,104				
		0,48×0,3	3,00	0,144				

Будівля знаходяться в м.Ізмаїл Одеської області. Внутрішня температура в будівлі 20°C

Для розрахунку даної будівлі були прийняті наступні погодні параметри, які занесені до таблиці 3.3.

Таблиця 3.2

Вихідні параметри для розрахунку теплових навантажень

№	Найменування огороження	Площа, м ²	Складові огорожувальної конструкції	Характеристики		
				d _i , м	λ, Вт/(м×0С)	R, м ² ·0С/Вт
1	Зовнішні стіни	225	Кладка в дві цеглини	0,51	0,76	2,687
			Внутрішня штукатурка	0,015	0,93	

			Базальтові плити	0,1	0,05	
2	Стеля	100	Внутрішнє оздоблення з гіпсокартону	0,0095	0,21	4,026
			Залізобетонна плита	0,22	1,63	
			Пароізоляційна плівка Jutafol N 110 Standard	0,0000015	0,33	
			Базальтові плити	0,15	0,039	
3	Вікна	41,15	WDS 76 AD			0,95
4	Двері	1,763				1,25
5	Підлога	130	Залізобетонна плита	0,22	1,63	2,74
			Пароізоляція з руберойду	0,015	0,17	
			Армована стяжка	0,03	1,4	
			Пінополістирол	0,1	0,04	

Таблиця 3.3

Вихідні параметри для розрахунку теплових навантажень

t, річна С	Абсолютний min	Абсолютний max	t _{max} за найбільш спекотний місяць	t _{min} за найбільш холодний місяць	t _{min} за найбільш холодні 5 днів	Середньодобова температура повітря		Ср. С за найбільш холодний період
						Тривалість опалювального періоду, діб	Ср. С	
8+5	- 38,2	+ 40,9	+ 32,5	- 29,6	- 15	128	- 1,5	- 10

Для визначення загальних теплових втрат огорожувальних конструкцій будівлі використаємо нормативні значення термічних опорів, що набули чинності 1 вересня 2022 року (таблиця 3.4).

Нормативні значення термічного опору

Ч.ч.	Вид огорожувальної конструкції	Значення R_{qmin} , м ² ·К/Вт, для температурної зони	
		I	II
1	Зовнішні стінові огорожувальні конструкції	4,00	3,50
2	Суміщені покриття, що межують із зовнішнім повітрям	7,00	6,00
3	Покриття опалюваних горищ (технічних поверхів), мансард, горищні перекриття неопалюваних горищ	6,00	5,50
4	Перекриття, що межують із зовнішнім повітрям, та над неопалюваними підвалами	5,00	4,00
5	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,90	0,70
6	Зенітні ліхтарі	0,80	0,70
7	Зовнішні двері	0,70	0,60

3.2. Розрахунок теплових втрат огорожувальних конструкцій.

Розрахунок теплових втрат через стіни проводимо за формулою:

$$Q_c = \frac{F_{ст}}{R_c} \cdot \Delta t = \frac{225}{2,687} \cdot (20 - (-15)) = 2930 \text{ Вт} \quad (3.1)$$

де Q_c – теплові втрати через стіни, Вт;

$F_{ст}$ – площа стін, м²;

R_c – термічний опір стін, Вт / м²·С;

Δt – різниця температур, внутрішньої та зовнішньої, °С.

$$Q_{вк} = \frac{F_{вк}}{R_{вк}} \cdot \Delta t = \frac{41,15}{0,95} \cdot (20 - (-15)) = 1516 \text{ Вт} \quad (3.2)$$

де $Q_{вк}$ – теплові втрати через вікна, Вт;

$F_{вк}$ – площа вікон, м²;

$R_{вк}$ – термічний опір вікон, Вт / м²·С;

Δt – різниця температур, внутрішньої та зовнішньої, °С.

$$Q_{дв} = \frac{F_{дв}}{R_{дв}} \cdot \Delta t = \frac{1,763}{1,25} \cdot (20 - (-15)) = 49 \text{ Вт} \quad (3.3)$$

де $Q_{дв}$ – теплові втрати через двері, Вт;

$F_{дв}$ – площа дверей, m^2 ;

$R_{дв}$ – термічний опір дверей, $Вт / m^2 \cdot C$;

Δt – різниця температур, внутрішньої та зовнішньої, $^{\circ}C$.

$$Q_{пер} = \frac{F_{пер}}{R_{пер}} \cdot \Delta t = \frac{100}{4,026} \cdot (20 - (-15)) = 869 \text{ Вт} \quad (3.4)$$

де $Q_{пр}$ – теплові втрати через стелю, $Вт$;

$F_{пр}$ – площа стелі, m^2 ;

$R_{пр}$ – термічний опір стелі, $Вт / m^2 \cdot C$;

Δt – різниця температур, внутрішньої та зовнішньої, $^{\circ}C$;

Для розрахунку теплових втрат через підлогу потрібно використати методику розподілення підлоги. Підлогу ділять на 4 зони (по можливості), кожна з яких має ширину 2 м (рис. 3.3). Нумерація починається з першої зони, яка знаходиться поруч з стіною, за нею йде друга зона і т.д. Ширина ж останньої 4 зони не обмежена.

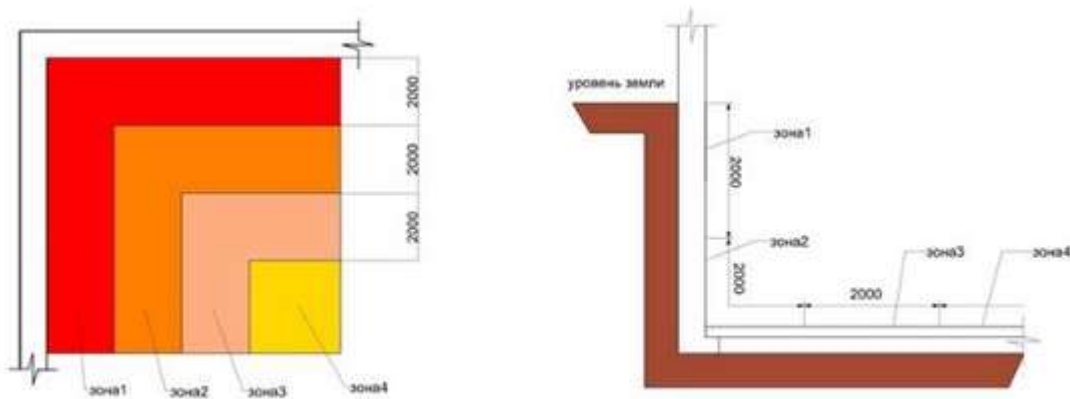


Рис. 3.3. Розподіл підлоги по зонам з різним термічним опором.

Термічний опір теплопередачі на поверхні неутепленої підлоги приймається наступним: для 1-ої зони $R_1=2,1$; для 2-ої $R_2=4,3$; відповідно для третьої $R_3=8,6 \text{ } m^2 \cdot C / Вт$.

Для такої підлоги розрахункова формула для визначення тепловтрат має вигляд:

$$Q_{\text{під}} = \sum_1^4 (F_1/R_1 + F_2/R_2 + F_3/R_3)(T_{\text{пов,вн}} - T_{\text{гр}}) \quad (3.5)$$

де площа кожної зони визначається виразом:

$$F_1 = 2(2H + 2(L - 4)) \text{ м}^2;$$

$$F_2 = 2(2(H - 4) + 2(L - 8)) \text{ м}^2;$$

$$F_3 = H \cdot L - (F_1 + F_2) = \text{ м}^2;$$

- де H, L - довжина і ширина будівлі відповідно, м; $T_{\text{гр}}$ - температура ґрунту, яка вибирається в межах 8-10 °С.

$$F_1 = 2(2 \cdot 13 + 2(10 - 4)) = 76 \text{ м}^2;$$

$$F_2 = 2(2(H - 4) + 2(L - 8)) = 44 \text{ м}^2;$$

$$F_3 = 13 \cdot 10 - (76 + 44) = 10 \text{ м}^2;$$

Тепер необхідно перерахувати термічний опір підлоги, так як у нас підлога утеплена. Для перерахунку потрібно: до опору теплопередачі на поверхні неутепленої підлоги додати наявний опір теплопередачі утепленої підлоги, отже маємо :

$$R_1 = 2,1 + 2,74 = 4,84$$

$$R_2 = 4,3 + 2,74 = 7,04$$

$$R_3 = 8,6 + 2,74 = 11,34$$

Наразі обчислюємо втрати теплоти через підлогу :

$$Q_{\text{нід}} = \sum_1^4 \left(\frac{76}{2,1} + \frac{44}{4,3} + \frac{10}{8,6} \right) (20 - 10) = 475 \text{ Вт} \quad (3.6)$$

3.3. Проектування системи вентиляції у будинку та розрахунок втрат теплоти через неї.

Для забезпечення якісного повітрообміну слід врахувати мінімальні норми подачі і витяжки повітря в житлових приміщеннях та санвузлах. Згідно з будівельними нормами, на кожну людину в житлових кімнатах рекомендується приплив свіжого повітря близько $\approx 25 \text{ м}^3/\text{год}$. Це відповідає приблизно 0,6-кратному повітрообміну на годину для житлової зони. Мінімально допустимий рівень – $\approx 14 \text{ м}^3/\text{год}$, але для комфортного мікроклімату варто орієнтуватися на підвищені значення.

Для санвузлів та вологих приміщень нормативними є вищі кратності повітрообміну, аби ефективно видаляти вологу та запахи. Рекомендована витяжка повітря становить порядку $54 \text{ м}^3/\text{год}$ з кожної ванної кімнати і приблизно $36 \text{ м}^3/\text{год}$ – з туалету. На кухні постійна витяжка бажана на рівні $72 \text{ м}^3/\text{год}$ для видалення продуктів горіння та запахів. За відсутності плити на газу це значення може бути меншим, але для універсальності проекту беремо близьке до нормативного.

Наведені витрати – це постійний базовий повітрообмін. Під час пікових ситуацій (приготування їжі, прийняття душу) система може тимчасово підвищувати продуктивність (режим «турбо»), щоб забезпечити необхідні 6–8-кратні обміни повітря на кухні та ~ 7 – 9 -кратні у ванній. Таким чином, при нормальній роботі система повинна покривати базові нормативи, але мати запас для інтенсивного провітрювання за потреби.

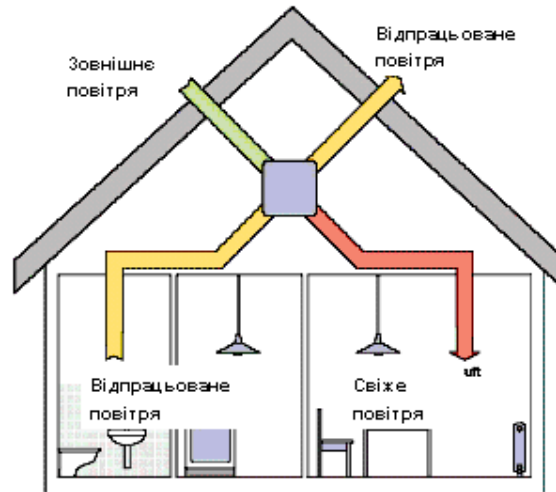


Рис. 3.4. Класична схема роботи рекуператора.

Щоб спроектувати систему вентиляції, потрібно визначити необхідний повітрообмін. Повітрообмін для житлової будівлі визначається за формулою:

$$L = k \cdot V \quad (3.7)$$

- де L повітрообмін в будівлі ($\text{м}^3/\text{год}$), k - нормативна кратність повітрообміну (раз/год) приймається 0,5–1,0 для житлових будівель, V - об'єм приміщення, м^3 .

Для комфортного мікроклімату в будівлі значення k приймаємо 0,6, отже маємо:

$$L = 0,6 \cdot ((130 \cdot 3) + (100 \cdot 2,7)) = 396 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \quad (3.8)$$

За даною витратою необхідно обрати конструктивне рішення від передових компаній в сфері енергоефективності. Проаналізувавши сучасну тенденцію систем вентиляції можна виділити наступні рішення:

- Пластинчасті рекуператори. У середньому мають ККД близько 70–85 % залежно від конструкції. Перехресноточні (класичні пластинчасті) забезпечують ~70–80 % утилізації тепла, протитічні (довші канали – ефективніші) можуть досягати 85–90 % в оптимальних умовах.

Наприклад, компактна установка Вентс ВУТ 300 використовує перехресноточний полімерний теплообмінник з ефективністю до 79 %. У паспорті зазвичай наводять діапазон ефективності при різних витратах повітря (наприклад, 55–79 % в діапазоні від половини до максимального потоку).

- Роторні рекуператори. Обертовий тепловий регенератор (теплообмінник) має схожу теплову ефективність – близько 75–88 %. Його плюс у тому, що він частково передає і вологу (ентальпійний обмін) та менш схильний до обмерзання. Для прикладу, установка Komfovent Domekt R 300 з роторним утилізатором тепла має температурний ККД ~84 % при номінальному режимі. Реально в холодну погоду роторні рекуператори зберігають високу ефективність навіть при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ без утворення льоду.

Обладнання середнього класу забезпечує ~80 % повернення тепла і дозволяє суттєво зменшити втрати на опаленні (до ~70 % економії на опаленні завдяки рекуперації тепла. Це означає, що припливне повітря в холодний сезон матиме температуру лише на кілька градусів нижчу за температуру в будинку. Наприклад, при $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ всередині та $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ зовні, на вході після рекуператора буде $+15\dots17\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тип теплообмінника можна обрати будь-який з перелічених – обидва забезпечують схожий рівень теплового ККД.. В розрізі “середній клас” можна обрати як стандартний пластинчастий, так і роторний рекуператор – обидва варіанти широко представлені на ринку.

Для нашої витрати повітря я обрав рекуператор Brofer RD50SKC 120 000 грн.



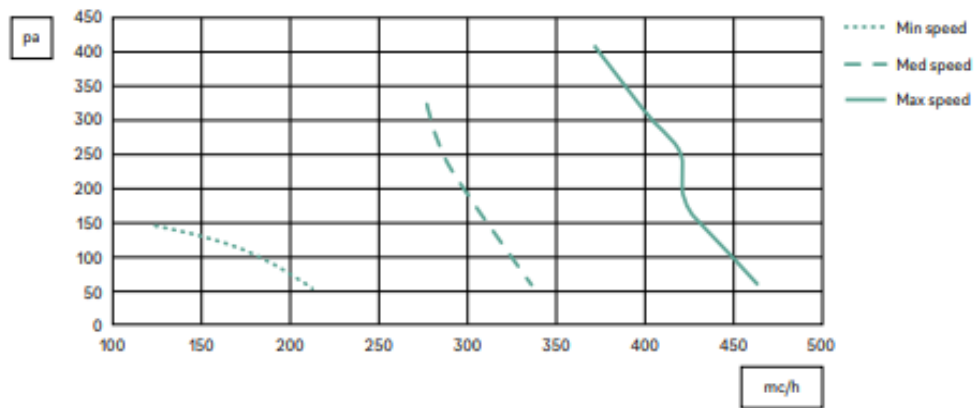


Рис. 3.5. Діаграма продуктивності рекуператора

Пластинчастий рекуператор Brofer з максимальною витратою повітря 450 м³/год;

ККД рекуператора при максимальній витраті повітря 84,1%

Максимальна електрична потужність – 337 Вт (230 В)

Фільтри G4, додаткове місце для фільтра F7.

Бездротове управління; автоматичний BY-PASS; Вентилятори ЕС. Може монтуватися вертикально і горизонтально.

Клас ефективності A+

Рівень шуму: 50 дБ

У стандартну комплектацію входять: бездротовий пульт дистанційного керування, електронний перемикач, електричний пульт дистанційного керування та бездротовий пульт дистанційного керування. Грілька (вбудована всередину). Розміри (довжина x ширина x висота): 1431 мм x 596 мм x 298 мм.

Вага 42 кг

Для кухні додатково встановимо витяжку ELECTROLUX LFP326FB, щоб забезпечити нормативну витрату повітря при піковому навантаженні.



Тип - Телескопічна

Режим роботи - Відведення повітря/рециркуляція

Ширина - 59.8

Діаметр повітропроводу - 15 см

Кількість швидкостей - 3

Тип освітлення - LED: 2 шт

Тип фільтра – Алюмінієвий, жировий

Продуктивність - 410 куб.м/год

Висота - 17.9 см

Тип монтажу – у шафу

Вага - 7.2 кг

Максимальний рівень шуму - 69 дБ

Глибина - 28.4 - 48.4 см

Тип керування - Кнопкове

Мінімальний рівень шуму - 48 дБ

Стандарт продуктивності - Європейський

Країна реєстрації бренду - Швеція

Враховуючи ККД установки – 84,1%, можемо порахувати втрати теплоти через систему вентиляції.

Вентиляційні втрати в будівлі тепла визначаються за формулою:

$$Q_{вент} = L \cdot c_p \cdot (t_{вн} - t_3) \quad (3.9)$$

L – витрати повітря, м³;

c_p – масова теплоємність повітря, $c_p = 1$ кДж/кг °С;

t_3 – температура найхолоднішої 5-ти денки -15 °С (для Одеської обл.)

$t_{вн}$ – нормована температура в житловому приміщенні, 20 °С.

$$Q_{вент} = 396 \cdot 1 \cdot (20 - (-15)) = 13,86 \text{ МДж/год} \quad (3.10)$$

Кількість теплоти яку ми збережемо використовуючи рекуператор визначаємо за формулою:

$$Q_{збер} = Q_{вент} \cdot \eta_{уст} \quad (3.11)$$

- Де $\eta_{уст}$ – ККД рекуператора.

$$Q_{збер} = 13,86 \cdot 0,841 = 11,65 \frac{\text{МДж}}{\text{год}} \quad (3.12)$$

Тобто втрати теплоти через вентиляцію дорівнюють:

$$Q_{в.в} = Q_{вент} - Q_{збер} = 13,86 - 11,65 = 2,21 \frac{\text{МДж}}{\text{год}} = 0,61 \text{ кВт} \quad (3.13)$$

Тепер можемо порахувати загальні втрати теплоти в будівлі. Загальні втрати теплоти визначають за формулою:

$$Q_{заг} = Q_{ст} + Q_{вк} + Q_{пр} + Q_{дв} + Q_{під} + Q_{в.в} \quad (3.14)$$

$$Q_{заг.теп} = 2,93 + 1,516 + 0,869 + 0,049 + 0,475 + 0,61 + 1 = 7,45 \text{ кВт} \quad (3.15)$$

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВИХ НАДХОДЖЕНЬ В БУДІВЛЮ ТА СИСТЕМИ
ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

4.1. Надходження теплоти від людей

Люди, що перебувають у приміщенні, виділяють тепло двох видів – явне (сухе тепловиділення конвекцією та випромінюванням) і приховане (теплота випаровування з поверхні шкіри та з видихуванним повітрям). У балансі тепла будівлі для підвищення температури повітря враховується лише явна теплота, оскільки прихована йде на підвищення вологості і відводиться вентиляцією.

Кількість явного тепла від людей залежить від їхньої активності (рівня фізичної роботи) та від параметрів мікроклімату приміщення. ДБН В.2.6-31:2021/ДСТУ дають орієнтовні значення питомих тепловиділень на одну людину q (Вт/люд) для різних умов.

Розрахункова формула: теплонадходження від людей визначають за формулою:

$$Q = n \cdot q \quad (4.1)$$

де n – кількість людей, які одночасно перебувають у приміщенні, а q – питома кількість явної теплоти від однієї людини, Вт/особу.

Для житлових будівель зазвичай приймають $q \approx 60\text{--}100$ Вт на особу залежно від діяльності: для спокійного стану (сидячи, відпочинок) $\sim 60\text{--}70$ Вт, при легкій активності (ходьба по дому, легка робота) ~ 80 Вт, при значній активності (фізична робота, заняття спортом) 100 Вт і більше. Наприклад, у нормах для громадських будівель часто використовують 90 Вт/люд як усереднене тепловиділення.

Для нашої будівлі, в якій проживає 4 особи, кількість теплоти, що надходить від людей буде дорівнювати:

$$Q_{\text{т.л}} = 90 \cdot 4 = 360 \text{ Вт} \quad (4.2)$$

4.2. Теплонадходження теплоти від електричних приладів

У сучасних енергоефективних будинках основним джерелом світла є світлодіодні лампи (LED), які мають суттєво вищий ККД, ніж лампи розжарювання, та значно менший рівень тепловиділення. Проте навіть LED-лампи перетворюють частину спожитої електроенергії на тепло, яке враховується у загальному тепловому балансі будівлі.

У розрахунковій моделі будинку встановлено 12 світлодіодних ламп потужністю 12 Вт і 18 ламп потужністю 20 Вт, які рівномірно розподілені між 10 приміщеннями. Розрахуємо загальну споживану потужність освітлення, за формулою:

$$P_{\text{сум}} = 12 \cdot 12 + 18 \cdot 20 = 504 \text{ Вт} \quad (4.3)$$

З урахуванням коефіцієнта попиту $k_p=0,8$, який відображає ймовірність одночасного ввімкнення усіх ламп, розрахункова потужність освітлення складає:

$$P_{\text{осв}} = P_{\text{сум}} \cdot k_p = 504 \cdot 0,8 = 403 \text{ Вт} \quad (4.4)$$

Світлодіодні джерела світла перетворюють у тепло приблизно 20% спожитої потужності (на відміну від ламп розжарювання, де цей показник становить $\approx 85\%$). Таким чином, теплова складова енергії від освітлення (тобто частина, яка реально впливає на мікроклімат приміщення), визначається як:

$$Q_{\text{л}} = P_{\text{осв}} \cdot 0,2 = 403 \cdot 0,2 = 80,6 \text{ Вт} \quad (4.5)$$

Для розрахунку теплових надходжень від електричних приладів використаємо таблицю 4.1 :

Потужність електричних приладів

№	Назва споживача	Потужність, Вт	Кількість, шт	Загальна потужність, Вт
1	Мікрохвильова піч	2000	1	2000
2	Чайник	1550	1	1550
3	Холодильник	600	1	600
4	Телевізор	200	2	800
5	Комп'ютер	600	1	600
6	Пилосос	1000	1	1000
7	Кухонна витяжка	300	1	300
8	Пральна машина	1500	1	1500
9	Праска	1400	1	1400
10	Кавова машина	1000	1	1000
11	Посудомийна машина	1500	1	1500
12	Електрична духовка	2500	1	2500
13	Вентиляційна установка	2500	1	2500
16	Ноутбук	300	2	600
19	Роутер Wi-Fi	10	2	20
21	Зарядки для мобільних телефонів	4	6	24
22	Тепловий насос	2400	1	2400
23	Всього:			20294

На виділення теплоти йде близько 30% від максимальної споживаної потужності електричних приладів

Загальне споживання електроенергії електричними приладами з урахуванням часу роботи за добу $Q_{з.еє} = 20250$ Вт.

Відповідно середнє споживання за годину:

$$Q_{сер. год} = \frac{Q_{з.еє}}{24} = \frac{20250}{24} = 843 \text{ Вт} \quad (4.6)$$

Тоді кількість теплоти що виділяється:

$$Q_{вид.теп} = Q_{сер.год} \cdot 0,3 = 843 \cdot 0,3 = 252 \text{ Вт} \quad (4.7)$$

Суммарні виділення теплоти будуть дорівнювати:

$$Q_{заг.надх} = Q_{л} + Q_{т.л} + Q_{вид.теп} = 80,6 + 360 + 252 = 0,692 \text{ кВт} \quad (4.8)$$

Визначаємо теплову потужність системи опалення використовуючи попередні розрахунку:

$$Q_0 = Q_{заг.теп} - Q_{заг.надх} = 7,45 - 0,692 = 6,758 \text{ кВт} \quad (4.9)$$

Сумарну потужність системи опалення розраховуємо за формулою:

$$Q_{сум} = Q_0 \cdot k = 6,758 \cdot 1,1 = 7,43 \text{ кВт} \quad (4.10)$$

- де k – коефіцієнт запасу.

4.3. Розрахунок необхідної потужності системи ГВП та її споживання електроенергії

Теплова потужність системи гарячого тепловодопостачання визначається по формулі:

$$Q_{hw} = \frac{(k_H \cdot m \cdot a \cdot c_p \cdot \rho \cdot (t_{ГВ} - t_{ХВ}))}{24 \cdot 3600} \quad (4.11)$$

- Де :

- Q_{hw} – розрахункова потужність системи ГВП
- K_H – коефіцієнт що враховує нерівномірність використання води, приймаємо за 1.2
- m – кількість людей що проживають в будинку
- a – норми витрати води на 1 людину за добу, приймаємо за 0,05 м³/добу
- c_p – питома теплоємність води, приймаємо за 4187 Дж/(кг · К)
- ρ – густина води, приймаємо 1000 кг/м³
- $t_{ГВ}, t_{ХВ}$ – температури гарячої і холодної води відповідно

$$Q_{hw} = \frac{(1,2 \cdot 4 \cdot 0,05 \cdot 4187 \cdot 1000 \cdot (50 - 10))}{24 \cdot 3600} = 465,2 \text{ Вт} \quad (4.12)$$

РОЗДІЛ 5

ВИБІР ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОТИ ДЛЯ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ТА ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

5.1. Типи теплових насосів і принцип роботи

Тепловий насос – це пристрій, який за рахунок електричної енергії переносить низькопотенційну теплоту з холоднішого середовища до гарячішого (зворотній цикл Карно). Він містить компресор, конденсатор, розширювальний клапан та випарник, через які циркулює холодоагент. Завдяки такому циклу тепловий насос може відбирати тепло із зовнішнього повітря, ґрунту або водойм і передавати його в систему опалення будинку.

Класифікуємо види теплових насосів за системою теплового контуру:

- Система повітря-вода використовуватиме тепло з оточуючого повітря. Випарник насоса забере тепло з повітря через теплообмінник, а потім передасть його у водяну систему опалення через конденсатор (де теплоносії обертаються по радіаторам або підлозі). Повітряні насоси мають певну зручність у встановленні (зовнішньому блоку і внутрішньому теплообміннику), проте їх ефективність може падати за низьких зовнішніх температур.
- Системи ґрунт–вода (геотермальні): Вони використовують тепло з ґрунту через закопані труби або свердловини і передають його до систем опалення води. Ґрунт мають стабільну температуру упродовж року, що робить такі насоси дуже ефективно працюючими. Зазвичай копають вертикальні свердловини (глибина 50–100 метрів), або розташовують горизонтальні контури (колектори) на глибині від 0,8 до 1,5 метра.
- Система теплового насосу з водою: перехід чи підземна вода в річці. Вона забирають енергію з водних джерел (наприклад з дна ставка або артезіанською свердловиною) та перенаправляють її у систему опалення приміщень. Ця система показував найкращий показник ефективності серед усіх доступних опцій ТП7 (середньорічний коефіцієнт продуктивності $\approx 5,5$). Однак

для їх роботи необхідний доступ до джерела води і безпеки для вилучення “витрачено” охолодженою водою.

Кожен із типів відрізняється коефіцієнтом корисної дії (COP) і конструктивними особливостями: повітряні простіші й дешевші у монтажі, але чутливі до низьких температур; ґрунтові/водні – дорожчі в установці, але забезпечують більш стабільно високий COP (постійна температура ґрунту або води).

5.2. Ефективність теплових насосів (COP) і залежність від температури

ККД (ефективність) теплового насоса характеризується коефіцієнтом COP (Coefficient of Performance) – відношенням переданої теплової потужності Q до спожитої електроенергії E . Чим вищий COP, тим економніше працює насос. Ідеально (за циклом Карно)

$$COP = \frac{T_{\text{гарячого}}}{(T_{\text{гарячого}} - T_{\text{холодного}})} \quad (5.1)$$

Практичні COP завжди нижчі, і вони сильно залежать від температури зовнішнього середовища і відмінності температури між джерелом тепла та споживачем.

На графіку нижче наведені теоретичні залежності COP від температури зовнішнього повітря для різних температур подачі теплоносія (40–55 °C)

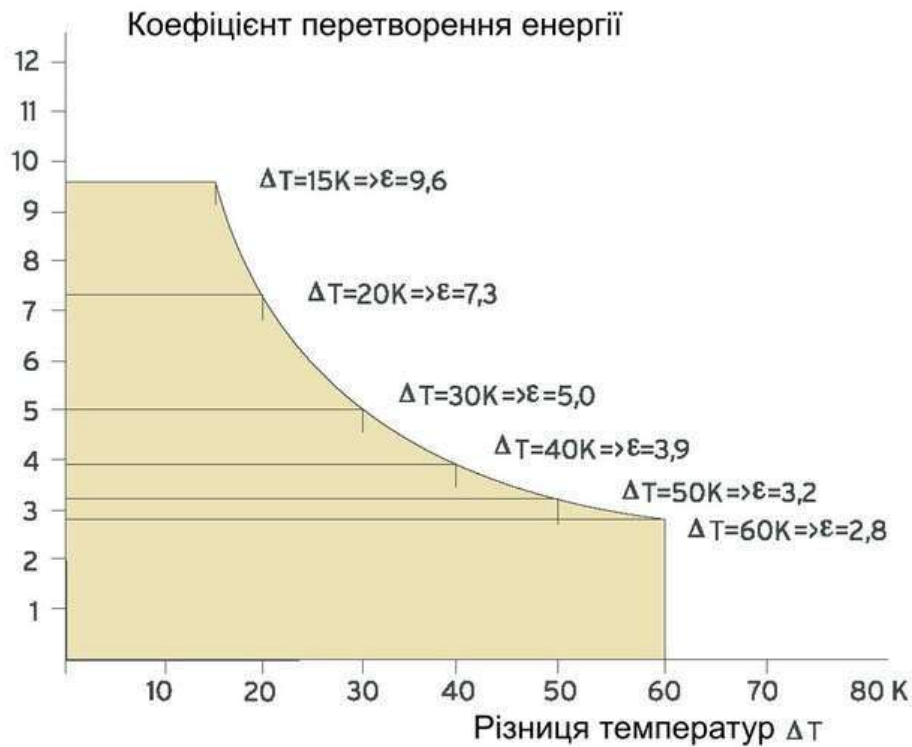


Рис.5.1. Залежність коефіцієнта перетворення теплового насоса від різниці температур

З рисунка видно, що зі зростанням різниці температур між джерелом теплоти та системою опалення (ΔT) коефіцієнт перетворення енергії (COP) теплового насоса стрімко зменшується. При невеликих значеннях $\Delta T = 15 \text{ K}$ ефективність сягає $\epsilon \approx 9,6$, що свідчить про дуже економну роботу насоса. Однак уже при $\Delta T = 30 \text{ K}$ COP знижується до 5,0, а при $\Delta T = 50 \text{ K}$ — до 3,2. За подальшого зростання температурного перепаду до 60 К ефективність падає до 2,8, що вдвічі нижче за оптимальні значення.

Це пояснюється тим, що чим більший температурний розрив між джерелом (наприклад, повітрям або ґрунтом) і середовищем нагрівання (вода в опаленні), тим більше електроенергії споживається на компресію в контурі теплового насоса. Тобто, ефективність системи прямо залежить від того, наскільки близькими є температури випарника і конденсатора.

Таким чином, для досягнення високих значень COP теплові насоси доцільно використовувати:

- у поєднанні з низькотемпературними системами опалення (наприклад, «тепла підлога» з температурою теплоносія 30–35 °С);

- при виборі джерела теплоти з найвищою можливою температурою (грунт, вода, вентиляційне повітря замість зовнішнього повітря в морози).

Загалом, оптимальним вважається режим роботи з ΔT у межах 20–35 К, коли COP перевищує 5 і система демонструє високу енергетичну ефективність.

5.3. Оптимальний вибір для Півдня України (м. Ізмаїл)

Південна Україна (зокрема Ізмаїл) має помірно-континентальний клімат зі середньою січневою температурою близько $-1 \dots -2$ °С і нечастими тривалими морозами. У таких умовах повітряно-водяний тепловий насос є оптимальним рішенням: він достатньо ефективний при середніх зимових температурах (середньорічний $COP \approx 3,5$, $COP \approx 3,5-4,5$), простіший і дешевший в установці, ніж ґрунтовий чи водяний, проте при цьому забезпечує значну економію електроенергії. За експлуатаційними витратами він вигідніший за газові чи електричні котли (економія до 50–60% енергії) і надійно працює в даному кліматі (мінімальні втрати COP у зв'язку з поодинокими морозами до -20 °С). Ґрунтова або вода-вода система дають ще вищий COP ($\sim 4,5-5,5$), але їх складно та дорого реалізувати для малоповерхового будинку. Отже, для Ізмаїльського регіону доцільно застосувати тепловий насос «повітря-вода» в поєднанні з буферним баком для стабільної подачі теплової енергії. Він забезпечить комфортне опалення з мінімальними енерговитратами, особливо якщо комбінувати з рекуперацією чи сонячними колекторами для побутової гарячої води.



Рис. 5.2. Схема енергопотоків в тепловій pompі

Для проекту обираємо тепловий насос LogicPower LP-05 (5 кВт) [7]. Тепловий насос LogicPower LP-05 є ідеальним рішенням для реалізації проекту з модернізації. Оскільки він нагріває воду на виході до 60 °С, аналогічно вашому котлу, але без використання додаткового резервного електричного нагрівача, вам не потрібно замінювати радіатори.

Коефіцієнт перетворення (COP) теплового насоса LogicPower LP-05 залежить від конкретних умов експлуатації, таких як температура зовнішнього повітря та температура подачі води в систему опалення. Згідно з наявною інформацією, COP цієї моделі може досягати 4,2, що означає, що на кожен спожитий кіловат електроенергії насос виробляє 4,2 кіловата теплової енергії.

Таблиця 5.1

Характеристика теплового насоса LogicPower LP-05

Параметр	Значення
Бренд	LogicPower
Тип	Тепловий насос для дому
Призначення	Опалення та гаряче водопостачання
Тип насоса	Повітря–вода

Джерело тепла	Повітря
Теплова потужність (віддача)	5 кВт
Електрична потужність (споживання)	Немає даних
Температура води на виході	60 °С
Коефіцієнт перетворення тепла (COP)	4,2

Таблиця 5.2

Оснащення

Оснащення	Наявність / Значення
Wi-Fi	є
Інверторний двигун	Немає даних
Водонагрівач	Немає даних
Гідроблок	Немає даних

Таблиця 5.3

Фізичні характеристики

Параметр	Значення
Рівень шуму	43 дБ
Розміри (В×Ш×Г)	610 x 1100 x 330 мм
Живлення	220 - 240 В
Вага	58 кг

5.4. Вибір буферного бака

Буферна ємність, або тепловий акумулятор, це бак, який дозволяє створювати запас теплової енергії для її подальшого використання. Це оптимальне рішення для систем опалення, яке дозволяє акумулювати можливі надлишки теплової енергії.

Буферний бак у системі з тепловим насосом потрібен насамперед для того, щоб уникати постійного вмикання і вимикання насоса. Справа в тому, що теплові насоси не люблять працювати уривками — це знижує їхній ресурс і ефективність. Буферна ємність накопичує тепло, яке насос виробляє, і потім рівномірно подає його в систему. Так насос працює довше за один цикл, але рідше вмикається, а це вже економія і довговічність.

Ще одна важлива річ — це стабільна температура в системі. Наприклад, якщо в тебе тепла підлога, то різкі перепади температури в теплоносії будуть помітні і створять дискомфорт. А буферний бак працює як демпфер — згладжує ці перепади.

Крім того, якщо система має кілька контурів опалення, скажімо, радіатори і теплу підлогу, буфер допомагає їх розділити гідравлічно. Це дає змогу кожному контуру працювати в своєму режимі без конфліктів.

Для нашого теплового насосу обираємо буферну ємність Termojet 60 літрів. Вона має такі особливості:

- Конструкція та корозійний захист: Виготовлена з нержавіючої нержавіючої сталі SUS304 та має спеціальну конструкцію для накопичення, зберігання та передачі теплової енергії, що особливо важливо для ефективної роботи теплового насоса у зимовий період.
- Універсальність та низькі теплові витрати: Можливість використання в системах опалення та охолодження завдяки герметизації ємності твердою поліуретановою теплоізоляцією для запобігання утворенню конденсату та теплозбереження.
- Рациональне використання енергії: Оптимізація ефективності роботи теплогенератора, інтеграція та узгодження теплових потоків джерел енергії з різним тепловим потенціалом.

Характеристика буферного баку Termojet 60

Параметр	Значення
Бренд	Termojet
Об'єм	60 л
Матеріал теплообмінника	Нержавіюча сталь
Підключення контуру водопостачання	1 1/4"
Робочий тиск теплообмінника	3 бар
Режими роботи	Опалення, Охолодження
Кількість патрубків	4 + 1
Вага	18 кг
Габарити (В×Ш×Г)	465 × 715 мм
Країна виробник	Україна

5.5. Вибір резервного джерела теплоти

Резервне джерело теплоти в наш час потрібно розглядати у вигляді твердопаливних котлів/печів, тому що через зовнішні ситуації в країні можливі відключення електроенергії що вплине на роботу електричних котлів, бойлерів тощо.

Тому в якості резервного джерела теплоти обираємо Pelletstar 10 – автоматичний пелетний водогрійний котел нового покоління, він має наступні переваги:

- Стабільно високий ККД;
- Повністю автоматичний режим роботи;
- Повністю автоматичне очищення поверхонь теплообмінника;
- Повністю автоматичне очищення колосникових ґрат, завдяки цьому досягається високий рівень комфорту;

- Плавне регулювання;
- Повна безпека в експлуатації;
- Ефективна теплоізоляція;
- Невеликі габаритні розміри і завдяки цьому потреба в невеликій площі;
- Автоматична подача палива завдяки різноманітним системам подачі палива.

Можливі наступні системи подачі палива:

- Система завантаження палива з гнучким шнеком;
- Шнеки модульної конструкції / вакуумна система завантаження або система з всмоктуючим зондом;
- Ручне завантаження приставного бункера.

Таблиця 5.5

Технічні характеристики Pelletstar 10

Параметр	Значення
Теплова потужність	3,5-12 кВт
Мін./макс. тиск нагнітання (вакуум)	5 / 10 Па
Допустимий робочий тиск	3,0 Бар
Рівень ефективності η_F	91,8%
Паливо	Деревні пелети (\varnothing 6 мм) відповідно до – EN ISO 17225-2: Клас A1 – ENplus, DINplus або Swisspellet
Габарити	900 × 590 × 1135 мм
Вага	274 кг

5.6. Вибір джерела теплоти для гарячого водопостачання

Для гарячого водопостачання обираємо електричний бойлер потужністю 1,8 кВт, а саме Ariston PRO1 VTD. Характеристики цього бойлера занесені в таблицю 5.6.

Характеристика бойлера Ariston PRO1 VTD

Параметр	Значення
Об'єм	100 л
Потужність ТЕНу	1800 Вт
Кількість ТЕНів	1
Тип ТЕНу	Відкритий "мокрый" (контакт з водою)
Час нагріву	2.767 год
Матеріал внутрішнього бака	Емаль
Максимальна температура води	75 °С
Габарити (В×Ш×Г)	90 × 45 × 48 см
Габарити в упаковці (В×Ш×Г)	92 × 50 × 46 см
Вага без упаковки	26.5 кг
Вага з упаковкою	28 кг
Тиск води	8 бар
Тип керування	Механічне
Форма	Кругла
Встановлення	Вертикальне
Тип монтажу	Настінний
Тип теплоізоляції	Поліуретан
Товщина ізоляції зверху	15 мм
Товщина ізоляції з боків	18.5 мм
Особливості	Магнієвий анод, емаль, ІРХЗ, 5 болтів фланця
Електроживлення	230 В / 50–60 Гц
Країна виробник	Італія
Гарантія	24 місяці офіційної гарантії
Можливість керування через Wi-Fi	Ні

РОЗДІЛ 6

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ СИСТЕМИ ГАРЯЧОГО
ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ПІДБІР СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ ЙОГО
ПОКРИТТЯ

6.1. Розрахунок електроспоживання бойлера

Для визначення фактичного електроспоживання бойлера гарячого водопостачання слід врахувати не лише повний цикл нагріву води, а й подальше підтримання температури протягом доби, а також нерівномірність споживання електроенергії протягом дня.

Вихідні дані для бойлера Ariston PRO1 VTD:

- Потужність ТЕНу : $P = 1.8 \text{ кВт}$
- Об'єм води: $V = 100 \text{ л} = 0.1 \text{ м}^3$
- Температура гарячої води: $t_{\text{ГВ}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$
- Температура холодної води: $t_{\text{ХВ}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$
- Питома теплоємність води: $c_p = 4187 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
- Густина води: $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$
- Коефіцієнт нерівномірності: $k_n = 1.2$
- Орієнтовний час активного нагріву: 3 год
- Орієнтовний час підтримання температури: 2 год
- Потужність підтримання температури приймається на рівні 40% від повної потужності ТЕНу.

Кількість теплоти, яка необхідна для повного нагріву всього об'єму води, визначається за формулою:

$$Q_{\text{наг}} = \frac{(c_p \cdot \rho \cdot V \cdot (t_{\text{ГВ}} - t_{\text{ХВ}}))}{3600} = 5,82 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (6.1)$$

З урахуванням коефіцієнта нерівномірності:

$$Q_{\text{розрх}} = Q_{\text{наг}} \cdot 1,2 = 5,82 \cdot 1,2 = 6,98 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (6.2)$$

Енергія, яка необхідна для підтримання температури води розраховується за формулою:

$$Q_{\text{під}} = P_{\text{б}} \cdot 0,4 \cdot t_{\text{під}} = 1,8 \cdot 0,4 \cdot 2 = 1,44 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (6.3)$$

Загальне добове споживання електричної енергії бойлером:

$$Q_{\text{доб}} = Q_{\text{розрх}} + Q_{\text{під}} = 6,98 + 1,44 = 8,42 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (6.4)$$

6.2. Підбір сонячних панелей для покриття електроспоживання джерелом теплоти

Для забезпечення зазначеного споживання за рахунок сонячної енергії розрахуємо необхідну потужність сонячної електростанції. У середньому в Одеській області один кіловат встановленої потужності сонячної електростанції виробляє близько 3.84 кВт·год електроенергії на добу (за річним середнім показником).

Необхідна генерація електричної енергії $Q_{\text{необх}} = 8,42 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{добу}$, тоді як необхідна встановлена потужність СЕС:

$$P_{\text{сон}} = \frac{Q_{\text{необх}}}{3,84} = \frac{8,42}{3,84} = 2,2 \text{ кВт} \quad (6.5)$$

З урахуванням втрат на інвертор, пил, кут установки, а також для створення запасу в похмуру погоду, доцільно встановити сонячну електростанцію потужністю $P_{\text{рек}} = 3.0 - 3.5 \text{ кВт}$

Це забезпечить повне покриття добового електроспоживання бойлера в теплу пору року та часткове — у зимовий період. При наявності акумуляторної

батареї або системи управління навантаженням можна накопичувати енергію впродовж дня і використовувати її для нагріву води у вечірній та нічний час.

6.3. Розрахунок площі для встановлення сонячної електростанції

Приймаємо потужність однієї сонячної панелі $P_{\text{панелі}} = 400 \text{ Вт}$ (0.4 кВт), що є типовим значенням для сучасних фотомодулів. Габаритні розміри однієї панелі становлять орієнтовно 1.7 м на 1.1 м, тобто площа однієї панелі $S_{\text{панелі}} = 1,87 \text{ м}^2$.

Кількість панелей, необхідна для встановлення електростанції потужністю 3.2 кВт:

$$N = \frac{P_{\text{рек}}}{P_{\text{панелі}}} = \frac{3,2}{0,4} = 8 \text{ шт} \quad (6.6)$$

Загальна площа, яка зайнята панелями без урахування проміжків між ними:

$$S_{\text{чиста}} = N \cdot S_{\text{панелі}} = 8 \cdot 1.87 = 14.96 \text{ м}^2 \quad (6.7)$$

З урахуванням необхідних проміжків для монтажу, вентиляції та запобігання затіненню, приймаємо коефіцієнт збільшення площі на 25 %. Загальна площа з урахуванням технічних відступів:

$$S_{\text{загальна}} = S_{\text{чиста}} \cdot 1,25 = 14,96 \cdot 1,25 = 18,7 \text{ м}^2 \quad (6.8)$$

Таким чином, для встановлення сонячної електростанції потужністю 3.2 кВт необхідно передбачити орієнтовно 18.7 м² відкритої площі даху або наземної ділянки з орієнтацією на південь і оптимальним кутом нахилу панелей у межах 30–35 градусів. Отриманий результат дозволяє впевнено розмістити сонячні модулі без затінення і забезпечити необхідну генерацію електроенергії впродовж року.

РОЗДІЛ 7

ЕКСПЛУАТАЦІЯ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ, ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

У цьому розділі розглянуто теоретичні основи, особливості функціонування та правила експлуатації обладнання, що входить до складу системи опалення, вентиляції та гарячого водопостачання житлової будівлі. Обґрунтовано режими роботи, принципи налаштування й технічного обслуговування основних агрегатів, використаних у проєкті.

7.1. Загальні положення

Системи опалення і вентиляції забезпечують стабільні параметри мікроклімату, необхідні для комфортного перебування мешканців. Основною вимогою до експлуатації таких систем є надійність, економічність та стабільна робота в умовах змінного зовнішнього середовища. Регламент експлуатації включає дотримання інструкцій виробника, періодичний огляд обладнання, своєчасну діагностику несправностей і заміну елементів.

7.2. Експлуатація системи опалення

У проєкті використано тепловий насос типу „повітря–вода” LogicPower LP-05. Це малопотужна настінна модель, призначена переважно для нагрівання гарячої води, але в умовах низьких теплових навантажень може застосовуватись і для обігріву.

Основні технічні характеристики:

- теплова потужність: 5 кВт;
- електрична потужність: 0,65 кВт;
- COP (коефіцієнт перетворення): близько 3,0;
- рекомендований температурний діапазон: від -5 до +35 °С;

- монтаж: настінний, з вбудованим баком для гарячої води.

Режими роботи встановлюються через контролер температури. У стандартній конфігурації насос працює від сигналів термостата або програмується на певні добові цикли. Для підвищення стабільності роботи в умовах змінного теплового навантаження передбачено буферну ємність об'ємом до 100 л. Це дозволяє уникнути частих включень і вимкнень компресора, підвищити ефективність системи та зменшити знос.

Додаткове джерело теплоти — твердопаливний котел — використовується у якості резервного або пікового. Його запуск можливий автоматично (при зниженні температури теплоносія нижче встановленого значення) або вручну. Основні вимоги до експлуатації котла включають контроль за тягою, очищення зольника, перевірку клапанів безпеки.

Регулярне технічне обслуговування системи опалення передбачає:

- перевірку рівня теплоносія;
- очищення фільтрів;
- діагностику насосної групи;
- огляд трубопроводів на наявність підтікання;
- щорічну профілактику теплового насоса та резервного котла.

Окрему увагу слід приділити поняттю бівалентної точки — температурному значенню зовнішнього повітря, при якому теплова потужність основного джерела теплоти (теплового насоса) дорівнює тепловому навантаженню будівлі. Нижче цієї температури виникає потреба в залученні додаткового джерела теплоти. У цьому проекті теплова потужність теплового насоса становить 5 кВт, а середнє теплове навантаження при температурі зовнішнього повітря $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ дорівнює 4,5 кВт. Враховуючи залежність навантаження від температури, визначено, що точка бівалентності знаходиться приблизно на рівні $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На графіку нижче зображено залежність теплового навантаження будівлі та потужності теплового насоса від температури зовнішнього повітря з позначеною точкою бівалентності:

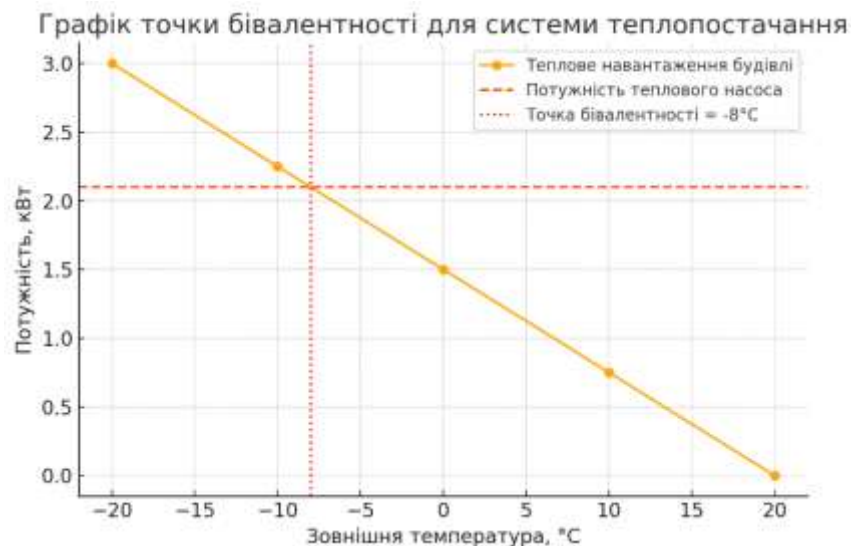


Рис. 7.1. Графік точки бівалентності для системи тепlopостачання

Цей аналіз дозволяє коректно підібрати режими роботи джерел теплоти, а також обґрунтувати необхідність резервного або додаткового теплогенератора в умовах низьких температур.

7.3. Експлуатація вентиляційного устаткування

Для забезпечення повітрообміну у приміщенні використовується система механічної припливно-витяжної вентиляції. Вона включає вентилятори, повітроводи, регулятори витрати повітря, фільтри та елементи шумоглушення. Конкретна модель вентиляційного агрегату в проекті не визначена, однак характеристика системи відповідає типовим для житлових об'єктів установкам продуктивністю до 1000 м³/год.

Режими роботи системи можуть бути постійними (цілодобовими) або змінними з урахуванням концентрації вуглекислого газу, вологості й температури. Для цього можуть застосовуватись датчики CO₂, температури й вологості з виводом сигналу на контролер, який керує роботою вентиляторів.

Налаштування системи вентиляції включає:

- балансування припливу і витяжки;
- регулювання об'ємної подачі повітря;
- очищення повітря від пилу за допомогою фільтрів;

- контроль швидкості повітряного потоку (не більше 0,2 м/с у зонах перебування людей).

Технічне обслуговування вентиляційної системи проводиться щомісяця й включає:

- очищення фільтрів;
- огляд електропроводки й клемних з'єднань;
- перевірку герметичності повітроводів та амортизуючих елементів.

7.4. Експлуатація електричного бойлера для гарячого водопостачання

У системі гарячого водопостачання передбачено застосування електричного бойлера об'ємом 100 літрів і тепловою потужністю 2 кВт. Основне завдання бойлера полягає в забезпеченні потреб у гарячій воді для санітарно-побутових цілей, з урахуванням кількості персоналу та технологічних потреб об'єкта.

Бойлер працює у два основні режими: режим повного нагріву води до заданої температури (60 °С) та режим підтримання температури. У першому випадку електронагрівач працює з повною потужністю, забезпечуючи нагрів води за 2,76 години. У подальшому вмикається підтримувальний режим, в якому нагрів відбувається короткочасно залежно від тепловтрат бака.

Для підвищення енергоефективності рекомендовано встановлювати бойлер із термоізоляцією та функцією програмованого запуску. Це дозволяє знизити середньодобове енергоспоживання, яке розраховано з урахуванням коефіцієнта нерівномірності та добової тривалості роботи на рівні близько 7 кВт·год на добу.

Технічне обслуговування бойлера передбачає:

- очищення від накипу (щонайменше 1 раз на 6 місяців);
- перевірку цілісності термоізоляції;
- діагностику термостата й датчиків температури;
- контроль стану електричних з'єднань та заземлення;
- регулярну перевірку запобіжного клапана та герметичності.

ВИСНОВКИ

Енергоефективність – пріоритетний напрямок розвитку економіки України, тому що національні первинні паливно-енергетичні ресурси (ПЕР) не можуть забезпечити потреб господарського комплексу.

Підвищення енергоефективності будівель, як правило, досягається шляхом застосування загальноприйнятих способів для зменшення втрат енергії, таких як утеплення зовнішніх будівельних конструкцій та рекуперація вентиляційного повітря.

Ефект від запровадження рекуперації повітря значно вищий в добре утеплених приміщеннях, де тепловтрати через огорожувальні конструкції зведені до мінімуму, а доля тепловтрат на підігрів припливного повітря залишається значною.

Однією з екологічно безпечних та найбільш енергоекономічних в експлуатації систем опалення будівлі є обігрів приміщення за допомогою теплової помпи.

Розроблена система теплозабезпечення житлової будівлі на основі поєднання теплового насоса та сонячної фотоелектричної станції об'єднує інноваційні технології відновлюваної енергетики. Основна ідея роботи полягає в тому, що тепла енергія з навколишнього середовища (повітря) використовується тепловим насосом для опалення будівлі, а сонячні панелі генерують необхідну електроенергію для живлення цього обладнання. Такий підхід практично виключає використання викопних енергоносіїв, адже система працює виключно на поновлюваних джерелах. Дослідження показують, що поєднання СЕС і теплового насоса суттєво підвищує енергоефективність будинку та зменшує загальне споживання енергії.

Поєднання технологій сонячної енергетики і теплових насосів вирішує дві ключові задачі: підвищення енергонезалежності та зниження шкідливих викидів в атмосферу. Теплові насоси генерують тепло практично без спалювання викопного палива, а сонячні панелі виробляють електроенергію без викидів CO₂. За прогнозом Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), до

2030 року кількість теплових насосів у світі збільшиться у 2–2,5 рази, що свідчить про їхню стратегічну роль у «зеленому» опаленні. Інтеграція сонячних панелей з тепловим насосом дозволяє значно скоротити споживання енергії з мережі та підвищити стійкість системи до коливань цін на традиційні енергоносії.

Тема роботи є надзвичайно актуальною для України. У сучасних умовах глобальних змін клімату та енергетичних викликів питання енергонезалежності стоїть особливо гостро. В Україні, що імпортувала значні обсяги природного газу, відмова від традиційних енергоносіїв через впровадження теплових насосів та ВДЕ стає стратегічною необхідністю. Технології опалення на основі теплових насосів можуть суттєво зменшити залежність від імпорту газу: експерти МЕА вказують, що у країнах ЄС теплові насоси до 2030 року можуть скоротити потребу в імпорті газу на 15%. Таким чином, розвиток таких систем відповідає пріоритетам енергетичної безпеки та екологічної політики України.

Отже, виконана кваліфікаційна робота підтверджує ефективність комплексного підходу до забезпечення теплом житлової будівлі на основі теплового насоса і сонячної електростанції. Запропонована система повністю відповідає сучасним тенденціям «зеленої» енергетики: вона знижує витрати на енергію, підвищує автономність споживача та скорочує викиди парникових газів. Одержані результати узгоджуються з пріоритетами енергетичної політики України і сприяють раціональному використанню енергоресурсів. Зважаючи на високу ефективність та значні екологічні й економічні вигоди, такі системи мають широкі перспективи для запровадження в Україні найближчим часом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» від 20.02.2003 № 555-IV.
2. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» від 22.06.2017 № 2118-VIII.
3. Закон України «Про ринок електричної енергії» від 13.04.2017 № 2019-VIII.
4. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» - Київ: Мінірегіон України, 2013 – 141 с.
5. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» - Київ: Мінірегіон України, 2022 – 27 с.
6. ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013 «Будівельна теплоізоляція. Методика розрахунку опору теплопередачі огорожувальних конструкцій» - Київ: Мінірегіон України, 2014 – 41 с.
7. Наказ Мінірегіону України № 260 від 27.10.2020 «Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель».
8. Наказ Мінірегіону України № 261 від 27.10.2020 «Про затвердження Змін до Методики визначення енергетичної ефективності будівель».
9. Офіційний сайт Ахіома Energy – Технічна документація до теплового насоса R-WALL80-3. [<https://axioma-energy.com>]
10. Офіційний сайт Jinko Solar – Характеристики сонячних панелей. [<https://www.jinkosolar.com>]
11. Офіційний сайт Huawei Solar – Технічна інформація інверторів. [<https://solar.huawei.com>]
12. Solar Soul – Огляд типів вакуумних трубчастих колекторів. [<https://solarsoul.net/tipy-vakuumnyx-trubchatyx-solnechnyx-kollektorov/>]
13. Інструкція з експлуатації електричних бойлерів Ariston / Gorenje / Atlantic (за моделями, використаними в проекті).