

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Інженерних систем та екології
(факультет)

Теплотехніки
(назва випускової кафедри)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ бакалавр**

на тему:

Комплексна система сонячного енергопостачання індивідуального
житлового будинку в м. Буча

Руслан ДЕМ'ЯНЕЦЬ

Київ 2025 р.

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Інженерних систем та екології
(факультет)

Теплотехніки
(назва випускової кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

” ” 2025 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ бакалавр

Комплексна система сонячного енергопостачання індивідуального
житлового будинку в м. Буча

Виконав Руслан ДЕМ'ЯНЕЦЬ

(прізвище, ім'я)

192 «Будівництво та цивільна інженерія»

(спеціальність)

«Теплогазопостачання і вентиляція»

(освітня програма)

Група : ТВ-21-2

Керівник Олександр ПОГОСОВ

(прізвище та ініціали)

доцент, кандидат технічних наук

(вчене звання, науковий ступінь)

Ідентичність підтверджую

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: Інженерних систем та екології

Випускова кафедра: Теплотехніки

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Освітня програма: «Теплогазопостачання і вентиляція»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету

_____ року

З А В Д А Н Н Я

**ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА
ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

(бакалавра, магістра)

Руслан ДЕМ'ЯНЕЦЬ

(прізвище, ім'я)

1. Тема роботи Комплексна система енергопостачання
індивідуального житлового будинку в м.Буча

затверджена наказом ректора КНУБА № _____

від « _____ » _____ 20 _____ року

2. Керівник роботи

доцент, кандидат технічних наук Олександр ПОГОСОВ

(прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання здобувачем роботи до захисту _____

4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

Р. 1. Вступ

Р. 2. Аналіз архітектурних та теплотехнічних характеристик об'єкта

Р. 3. Визначення теплотехнічних показників огороджувальних конструкцій

Р. 4. Тепломеханічна схема комбінованого джерела теплоти

Р. 5. Техніко-економічне обґрунтування

5. Графічний матеріал за

розділами

Р. 1. Тепломеханічна схема

Р. 2. Розрізи котельні

Р. 3. Ізометричний вид геліосистеми та системи ГВП

Р. 4. План підвалу та 1-ого поверху (опалення)

Р. 5. План 2-го поверху (опалення)

Р. 6. Аксонометрична схема систем опалення

Р. 7. План підвалу та 1-ого поверху (водопостачання)

Р. 8. План 2-ого поверху (водопостачання)

Календарний план виконання роботи:

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Розділ 1. Вступ	30/09/2024
Розділ 2. Аналіз архітектурних та теплотехнічних характеристик об'єкта	25/10/2024
Розділ 3. Визначення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій	30/11/2024
Розділ 4. Тепломеханічна схема джерела теплової енергії	12/02/2025
Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування	30/03/2025
Остаточне оформлення роботи	25/04/2025
Направлення роботи для перевірки на плагіат	30/05/2025
Направлення роботи на рецензування	05/06/2025

Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірив	
		дата	підпис
Розділ 1.			

Дата видачі завдання

Зав. кафедри

_____ (підпис)

Михайло КИРИЧЕНКО

(прізвище, ініціали)

Керівник

_____ (підпис)

Олександр ПОГОСОВ

(прізвище, ініціали)

Здобувач

_____ (підпис)

Руслан ДЕМ'ЯНЕЦЬ

(прізвище, ініціали)

- **Гібридні фотоелектричні модулі (PV-T)** — одночасно виробляють електроенергію та тепло;

- **Системи з акумуляторами тепла або фазозмінними матеріалами** — для стабілізації роботи джерел тепла та збереження енергії.

Усі ці рішення мають на меті підвищити автономність житлових будинків, знизити експлуатаційні витрати та підвищити енергоефективність системи

Однією з головних переваг даних сист є висока енергоефективність: завдяки використанню теплових насосів, які можуть виробляти у кілька разів більше тепла, ніж споживають електроенергії, та залученню відновлюваних джерел енергії, таких як сонце, забезпечується мінімальне споживання зовнішніх ресурсів. Це дозволяє значно знизити експлуатаційні витрати в порівнянні з традиційними системами, що працюють на газі чи електричних котлах.

Комбіновані системи також забезпечують високий рівень автономності, що є особливо важливим у регіонах із нестабільним електропостачанням або в умовах надзвичайних ситуацій. Використання сонячних панелей, систем акумулювання енергії та резервних джерел тепла гарантує безперервність постачання тепла та холоду незалежно від роботи зовнішньої мережі. Універсальність таких систем полягає в тому, що вони здатні працювати не лише на опалення, але й на охолодження та гаряче водопостачання, що дозволяє уникати додаткових витрат на встановлення окремих пристроїв для кожного виду енергоспоживання.

Крім технічної ефективності, комбіновані системи вирізняються екологічністю, оскільки викиди парникових газів при їхній експлуатації є мінімальними або відсутні зовсім. Це відповідає сучасним вимогам до скорочення вуглецевого сліду і підтримує загальну екологічну політику як на національному, так і на міжнародному рівнях. Також не можна не відзначити підвищення комфорту для мешканців будинку: автоматизоване управління мікрокліматом, стабільна температура в приміщеннях у будь-яку пору року та можливість дистанційного контролю систем роблять експлуатацію простою і зручною.

Ще однією важливою перевагою є гнучкість налаштувань і масштабованість таких систем, які можна адаптувати під різні типи будинків, бюджети та кліматичні умови. До того ж, будинки, обладнані сучасними енергоефективними системами, мають вищу ринкову вартість і

викидів.

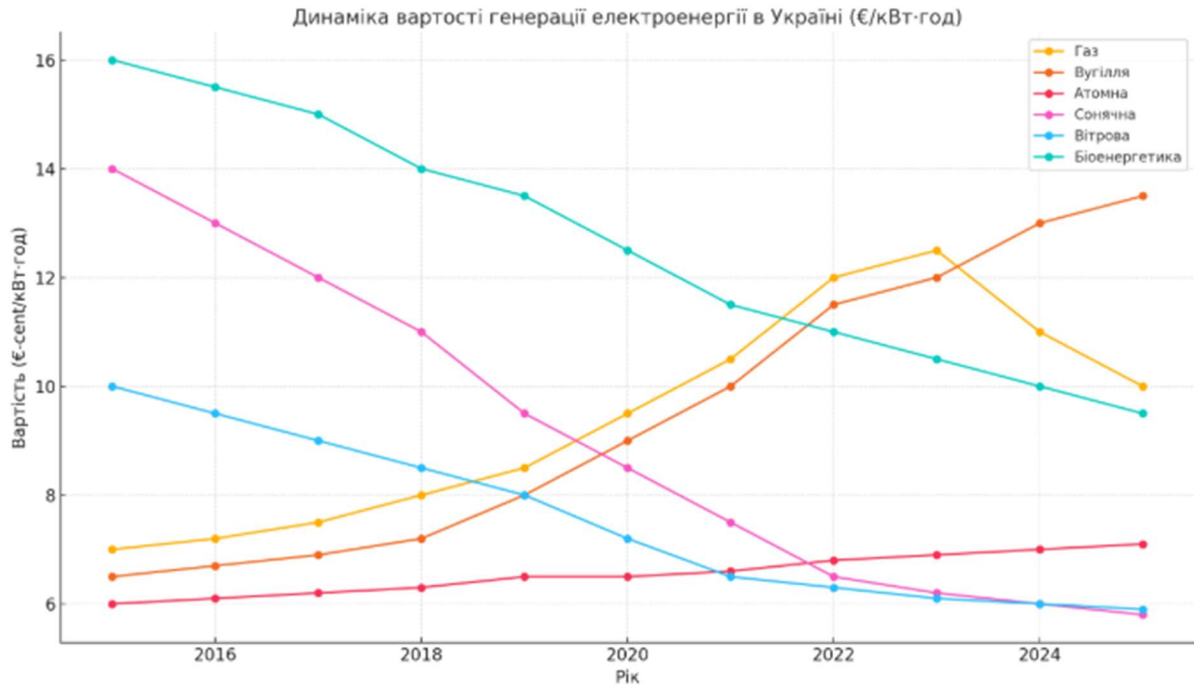


Рис. 2. Вартість генерації електричної енергії в залежності від типу джерела за останні 10 років в Україні

Графік вище ілюструє динаміку вартості генерації електроенергії в Україні за останні 10 років (та прогнози до 2025 року) залежно від типу джерела. Видно чітке зниження вартості для сонячної та вітрової енергії, а також стабільність або помірне зростання для традиційних джерел, зокрема газу та вугілля. На наведеному графіку показано, як змінювалися ціни на електроенергію з традиційних джерел енергії - викопного палива та ядерної енергії - протягом останнього десятиліття.

Сонячна енергетика за останнє десятиліття продемонструвала рекордне зниження вартості встановлення та виробництва електроенергії. Основна причина — масове виробництво сонячних модулів, що значно здешевило одиницю продукції. Лідерами цього процесу стали Китай, Індія та країни ЄС, які не лише стимулювали попит, але й розвинули потужні виробничі ланцюги з мінімальними витратами на логістику та сировину. Суттєвий вплив мала й поява нових поколінь технологій. Сучасні сонячні панелі (PERC, TOPCon, N-type) мають вищу ефективність перетворення, меншу деградацію з часом та вищу продуктивність навіть за слабкого освітлення. Це дозволяє отримувати більше електроенергії з меншої площі за нижчу ціну. У поєднанні з вдосконаленими інверторами та системами

моніторингу, це суттєво підвищило загальну ефективність систем.

Зниження вартості також пов'язане з тим, що проєктування та монтаж СЕС стали типовими процесами. Від розробки до запуску тепер проходить менше часу, а більшість рішень вже стандартизовані. Витрати на проєктні роботи, логістику, монтаж та запуск скорочуються завдяки масовому впровадженню типових технічних рішень. Фінансові чинники також відіграють важливу роль. Сонячна енергетика має відносно низький інвестиційний ризик, що робить її привабливою для банків, інвесторів та міжнародних фондів. У результаті вартість капіталу в таких проєктах значно нижча, ніж, наприклад, у тепловій або атомній генерації.

Крім того, державна підтримка у вигляді зелених тарифів, аукціонів, пільгових кредитів і спрощених процедур дозволила прискорити впровадження нових СЕС і водночас знизити ринкові ціни через конкуренцію між підрядниками. В окремих країнах сонячна генерація вже стала найдешевшим способом виробництва нової електроенергії.

Сумарно всі ці фактори формують унікальний випадок, коли інновації, глобальний ринок і політика співпрацюють, забезпечуючи безперервне і стабільне зниження вартості в одному з найважливіших секторів сучасної енергетики

Сонячна енергетика демонструє найбільш стрімке зниження вартості — з приблизно 14 €/кВт·год у 2015 році до менше ніж 6 €/кВт·год у 2025. Це свідчить про швидке здешевлення технологій та розвиток ринку в Україні, особливо до 2020 року, коли діяла вигідна система «зеленого тарифу».

Вартість **вітрової енергетики** також стабільно знижується, хоча темп цього падіння повільніший, ніж у сонячної енергетики. Це пояснюється тим, що вітрова енергетика — складніша технологічно: тут значно більше великих механічних компонентів, таких як турбіни, вали, коробки передач, генератори, башти висотою понад 100 метрів. Їх виготовлення і транспортування залишається дорогим і енерговитратним. Незважаючи на це, зниження вартості вітрової генерації відбувається завдяки розвитку нових турбін з більшим діаметром лопатей та вищими вежами. Чим більше охоплення повітряного потоку — тим більше енергії може згенерувати одна установка. Це означає менше турбін на одну станцію — менше інфраструктури, менше обслуговування, вища продуктивність на одиницю потужності.

Також свою роль відіграє автоматизація та вдосконалення логістики.

						ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ	Арк.
							12
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата		

Вітрові електростанції вже будують у модульному форматі: башти — секційні, лопаті — легші та довші, монтаж — частково роботизований. Крім того, завдяки накопиченому досвіду ЕРС-компанії краще оптимізують розташування турбін для максимального використання вітру.

Фінансові інструменти також стали доступнішими. Великі офшорні та оншорні проєкти фінансують банки та інституційні інвестори, бо технологія вважається надійною та довгостроково прибутковою. Це дозволяє зменшити загальну вартість проєкту через нижчі процентні ставки та довші періоди окупності.

Зрештою, як і у випадку з сонячною енергетикою, конкуренція між виробниками турбін — таких як Vestas, Siemens Gamesa, GE Renewable Energy — змушує їх знижувати ціни та впроваджувати інновації, щоб утримати ринок.

Вітрова енергетика також поступово знижує вартість — із 10 €ст у 2015 до прогнозованих ~6 €ст у 2025. На відміну від сонячної, падіння повільніше, але стабільне. Це пов'язано з меншими витратами на обслуговування та тривалішим життєвим циклом обладнання.

Газова генерація також зазнала деякого зниження вартості, але ці зміни мають зовсім іншу природу, ніж у відновлюваних джерел. Її вартість не знижується так системно та передбачувано, оскільки сильно залежить від ринку палива — природного газу, який є волатильним і політично чутливим ресурсом.

На відміну від сонця чи вітру, газова генерація має постійні операційні витрати, пов'язані зі спалюванням палива. Якщо ціна на газ зростає — вартість виробництва електроенергії також зростає, незалежно від технічного прогресу. Наприклад, війна в Україні, обмеження поставок з РФ та кризи на європейському ринку у 2021–2022 роках спричинили стрімке зростання цін на газ, що відразу підняло LCOE газових електростанцій у всій Європі.

З іншого боку, деякі технічні вдосконалення справді дозволили підвищити ефективність газових турбін. Сучасні газотурбінні установки комбінованого циклу (CCGT) можуть досягати ефективності до 60%, тоді як у 1990-х вона була ближче до 45%. Це означає менші витрати газу на 1 кВт·год виробленої електроенергії. Проте навіть ця економія часто перекривається змінами ціни самого палива.

Капітальні витрати на будівництво газових станцій залишаються

									Арк.
									13
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата	ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ			

відносно стабільними, а в деяких випадках навіть зростають через ускладнення екологічних вимог, додаткових систем контролю викидів, або необхідності резервування для нестабільної генерації з ВДЕ.

У довгостроковій перспективі газова генерація розглядається як перехідна технологія, особливо для регіонів з обмеженою можливістю зберігати енергію або з нестабільною структурою генерації. Вона може швидко реагувати на зміну попиту, що робить її важливою у міксі, але не найдешевшою чи перспективною за вартістю в умовах декарбонізації.

Газова генерація зазнала зростання вартості з ~7 €/т до понад 12 €/т у 2022–2023 роках. Пік пояснюється геополітичними ризиками, зростанням вартості імпорту та нестабільністю на ринку палива. У 2024–2025 спостерігається стабілізація на рівні 10 €/т.

Вугільна енергетика подорожчала ще різкіше — з ~6.5 €/т до понад 13 €/т, з тенденцією до зростання. Це сталося через ряд чинників. Найперше — зростання витрат на сам ресурс. У 2021–2022 роках світові ціни на вугілля підскочили в рази через енергетичну кризу, скорочення поставок з Росії, дефіцит в Азії, посуху в Китаї та високий попит у ЄС, який намагався зменшити залежність від газу. Хоча після піків ціни знизилися, волатильність залишилась, а вартість тонни вугілля все ще вища, ніж у 2010-х. Друге — висока вартість викидів CO₂. У Європі та багатьох інших країнах запроваджено плату за парникові гази (ETS — EU Emissions Trading System). Вугільна генерація є найвуглєємнішою — на 1 МВт·год вугілля дає викиди в 2–2,5 рази вищі, ніж газ, і в 10 разів — ніж сонце чи вітер. Тому кожна тонна CO₂, що виходить з труби, коштує все дорожче: у 2023 році понад 80 євро/тонну. Третє — старіння інфраструктури. Більшість вугільних ТЕС будувалися в 1970–1990-х роках. Сьогодні вони потребують дорогого ремонту, оновлення систем очищення, безпеки й підвищення ефективності. Це означає значні капітальні витрати на підтримання робочого стану, не кажучи вже про будівництво нових станцій — яке майже ніде не відбувається через відсутність інвесторів. Четвертий чинник — доступність дешевших альтернатив. Вугільні станції дедалі частіше опиняються "на холості", бо пріоритет у мережі отримують ВДЕ, а балансування забезпечують газові станції. В результаті — знижується завантаження (load factor), а це підвищує собівартість кожного кіловат-годинника, бо витрати залишаються, а генерації менше. Також зростають соціальні та політичні ризики. Вугілля асоціюється з екологічними проблемами, респіраторними хворобами,

забрудненню повітря та кліматичними наслідками. Через тиск громадськості, екологічних рухів і міжнародних організацій все більше країн вводять обмеження або повні заборони на використання вугілля (coal phase-out).

Атомна енергія залишається найстабільнішою за вартістю — в межах 6–7 €/ст. з кількох фундаментальних причин, які відрізняють її від викопних і навіть відновлюваних джерел. Головне — стабільність ціни палива, надвисокий коефіцієнт використання потужності, мінімальні змінні витрати і надзвичайна тривалість експлуатації станцій. Паливо для АЕС — уран — має дуже малу частку в загальній вартості виробництва електроенергії. Навіть якщо ціни на уран зростають, це не суттєво впливає на кінцеву собівартість 1 МВт·год, оскільки витрати на збагачення й переробку дуже ефективні. Крім того, АЕС зазвичай мають довгострокові контракти на постачання палива, що страхує від коливань цін.

Атомна електростанція працює практично безперервно — до 90–95% часу на рік. Це значно вище, ніж у вітрових (~30–45%) чи сонячних (~15–25%) електростанцій. Така стабільність дозволяє розраховувати вартість виробництва енергії дуже точно на десятиліття вперед. Крім того, змінні витрати — тобто ті, які залежать від обсягу виробництва — в АЕС дуже низькі. Немає потреби купувати дороге викопне паливо, підлаштовуватися під ринок або імпортувати ресурси. Це робить атомну енергію менш вразливою до глобальних ринкових коливань.

Хоча будівництво нових АЕС — надзвичайно дороге й тривале, вже побудовані станції мають дуже довгий життєвий цикл — 40–60 років і більше. Витрати на капітал поступово "розмиваються" в часі, що забезпечує стабільний рівень амортизації й прогнозовану ціну.

Атомна енергетика в багатьох країнах є державним або квазідержавним активом, що означає прямий або непрямий контроль держави над тарифами, модернізацією й підтримкою. Це додає макроекономічної стабільності галузі.

Нарешті, атомна енергетика не створює CO₂-викидів, отже вона не підпадає під карбонові податки чи системи торгівлі квотами, що дедалі більше впливають на вугільну й газову генерацію.

Незважаючи на високі капітальні витрати на нові блоки, експлуатація існуючих є економічно вигідною. Це джерело зберігає свою привабливість як базове навантаження.

						ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ	Арк.
							15
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата		

Біоенергетика поступово дешевшає з ~16 €ct до близько 9.5 €ct у 2025 році. Біоенергетика поступово дешевшає завдяки технологічному розвитку, масштабуванню виробництва, вдосконаленню логістики біомаси та підвищенню ефективності обладнання. Це зниження не таке стрімке, як у сонячній чи вітровій енергетиці, але має стабільний характер.

Насамперед здешевлення відбувається через масовість і стандартизацію технологій. Сучасні котли, біогазові установки, піролізні та газифікаційні системи стали ефективнішими, автоматизованими та компактнішими. Це дозволяє зменшити не лише витрати на установку, а й на обслуговування.

Значну роль відіграє також оптимізація логістичних ланцюгів. Раніше транспортування тріски, агровідходів або біогазу на далекі відстані було надто витратним. Сьогодні будівництво біоенергетичних установок усе частіше відбувається безпосередньо біля джерел сировини — деревообробних комбінатів, агропідприємств, ферм. Це скорочує витрати на доставку й зберігання.

Крім того, активно впроваджуються відходи як сировина, які раніше не використовувались або утилізувалися зі збитками: наприклад, гній, солома, жом, лушпиння, відходи спиртового виробництва. Це перетворює біоенергетику на рішення з нульовою або негативною вартістю палива — адже утилізація часто вимагала витрат, а тепер приносить енергію.

Ще одним чинником є державна підтримка у вигляді “зелених” тарифів, податкових пільг, грантів на розвиток місцевої енергетики та циркулярної економіки. Завдяки цим інструментам біоенергетика стала доступнішою для агросектору, муніципалітетів і малих підприємств.

Також важливо, що екологічні вимоги до звичайної генерації зростають, а отже інвестиції у чистішу біоенергетику стають привабливішими. Це стимулює конкуренцію серед виробників обладнання і підштовхує їх до здешевлення.

Проте вона все ще залишається однією з найдорожчих через складну логістику та технології переробки, хоча її частка в структурі зростає завдяки екологічній політиці.

Загалом, тенденція очевидна: відновлювані джерела поступово стають дешевшими за традиційні, що створює економічні стимули для енергетичного переходу в Україні

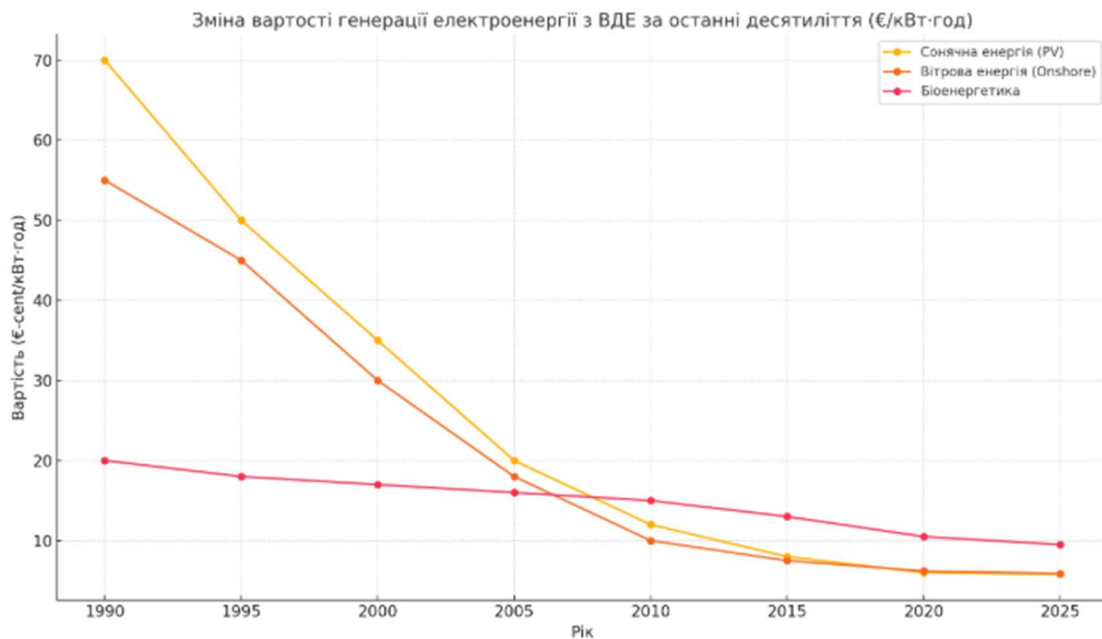


Рис. 3. Зміна вартості одиниці електричної енергії відновлюваних джерел енергії

На Рис. 3 додано аналогічні показники зміни вартості електричної енергії в розрізі НВДЕ. Графік демонструє яскраву й незворотну тенденцію здешевлення відновлюваної енергетики за останні три десятиліття — особливо у випадку сонячної та вітрової генерації. Цей тренд в основному пов'язаний зі зменшенням вартості фотовольтаїчних панелей через розвиток технологій та оптимізацію виробництва. Методологія оцінки LCOE в цьому звіті базується на простому аналізі дисконтованих грошових потоків (DCF). Цей метод розрахунку вартості електроенергії базується на приведенні річних фінансових потоків до загальної основи з урахуванням вартості грошей у часі. Річні фінансові потоки представлені витратами, притаманними кожному проекту, у розрахунку на кількість згенерованої електроенергії, вираженими через чисту приведену вартість (NPV).

Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + O\&M_t + F_t + T_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Де:

LCOE — приведена собівартість електроенергії, усереднена протягом періоду n ;

I_t — інвестиційні витрати у році n ;

$O\&M_t$ — операційні витрати та витрати на технічне обслуговування у році n ;

F_t — витрати на паливну складову у році n ;

T_t — податкові платежі у році n ;

E_t — генерація електроенергії у році n ;

r — ставка дисконтування;

n — тривалість проекту.

Така методологія підходить для порівняння альтернативних варіантів генерації та оцінки їх відносної конкурентоспроможності в рамках єдиної системи. Однак, також важливо підкреслити, що дана методика порівняння вартостей не замінює повного аналізу вартості електричної системи, який виконується при плануванні розвитку мереж.

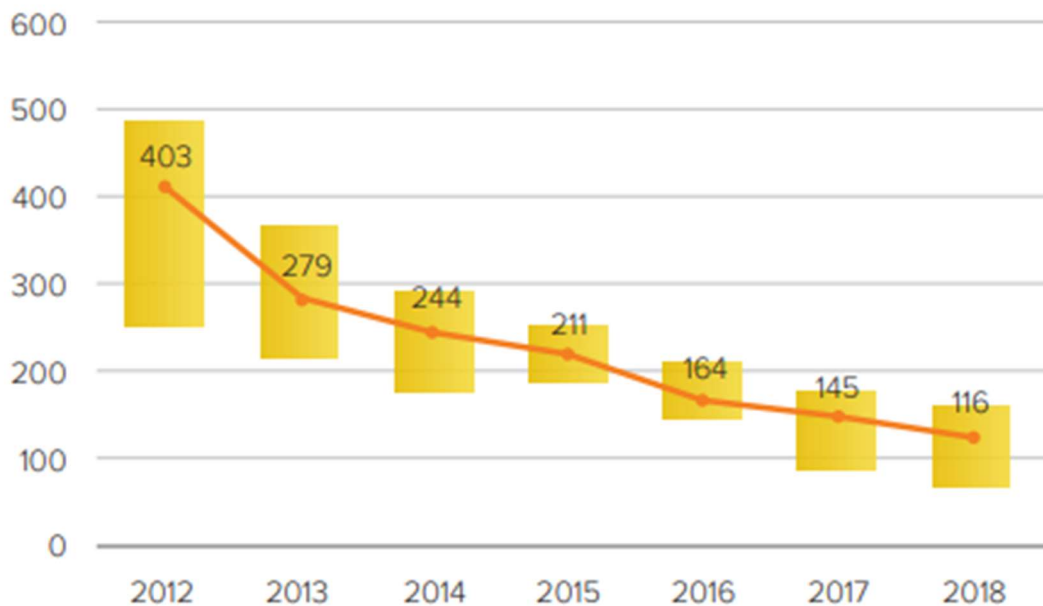


Рис. 4. Узагальнений LCOE для наземних та дахових СЕС, євро/МВт·год

Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата

The price of solar modules declined by 99.6% since 1976

Price per Watt of solar photovoltaics (PV) modules (logarithmic axis)
The prices are adjusted for inflation and presented in 2019 US- $\text{\$}$.

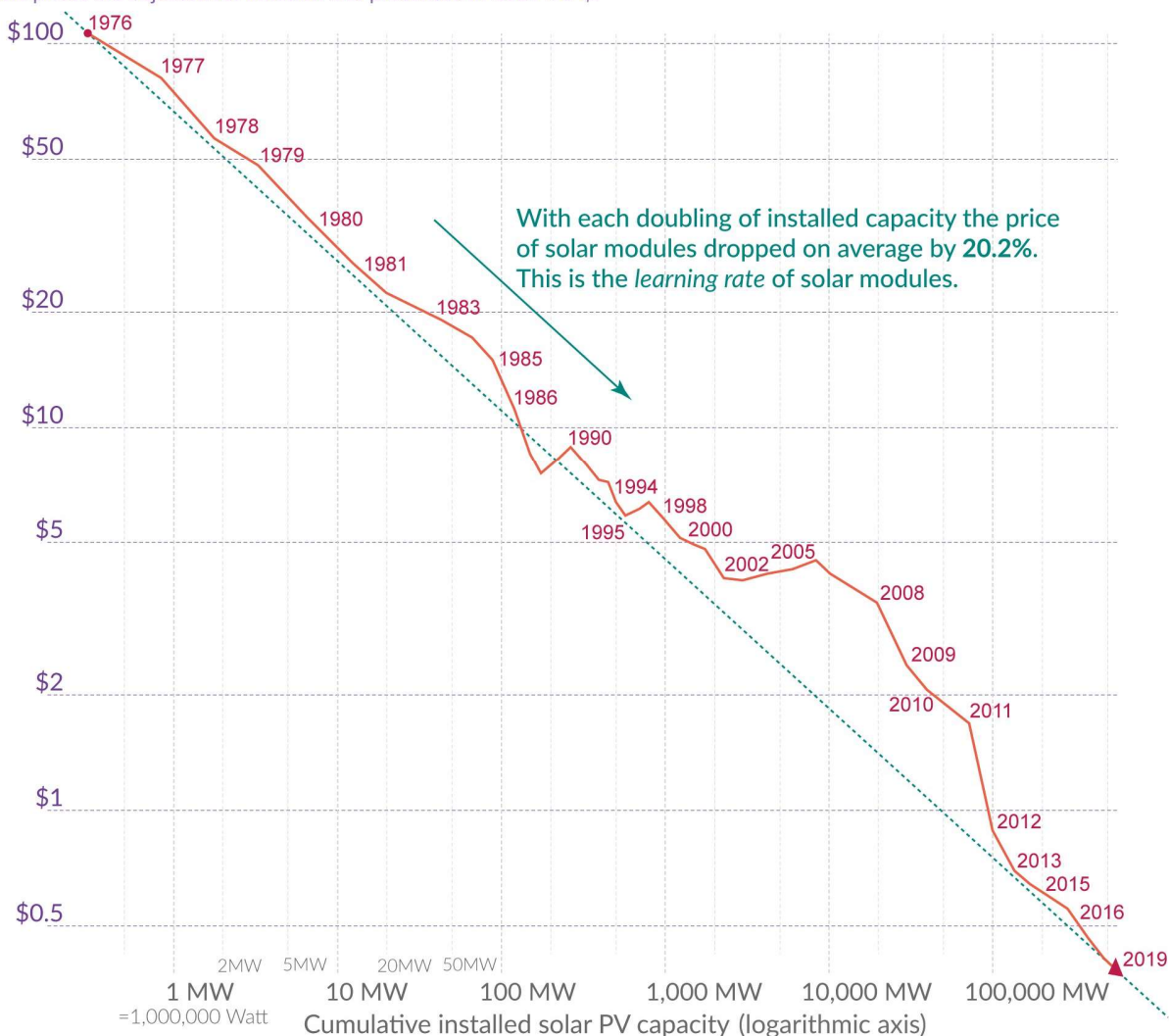


Рис. 5. Зміна питомих капітальних затрат при будівництві сонячних фотовольтаїчних станцій

У деяких країнах частка відновлюваної енергії в електричній енергії (а не в усій первинній енергії) перевищує 50%, зокрема:

- Норвегія — >95% (майже вся електрика з гідроенергії),
- Ісландія — >80% (геотермальна й гідроенергія),
- Коста-Рика, Швеція, Данія, Португалія — 50–70% і більше в електроенергетиці.

Але у світовому енергетичному балансі (всі джерела первинної енергії) частка НВДЕ ще набагато менша — станом на 2022–2023 роки вона становить

Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата

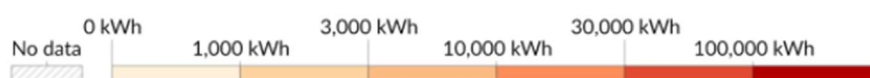
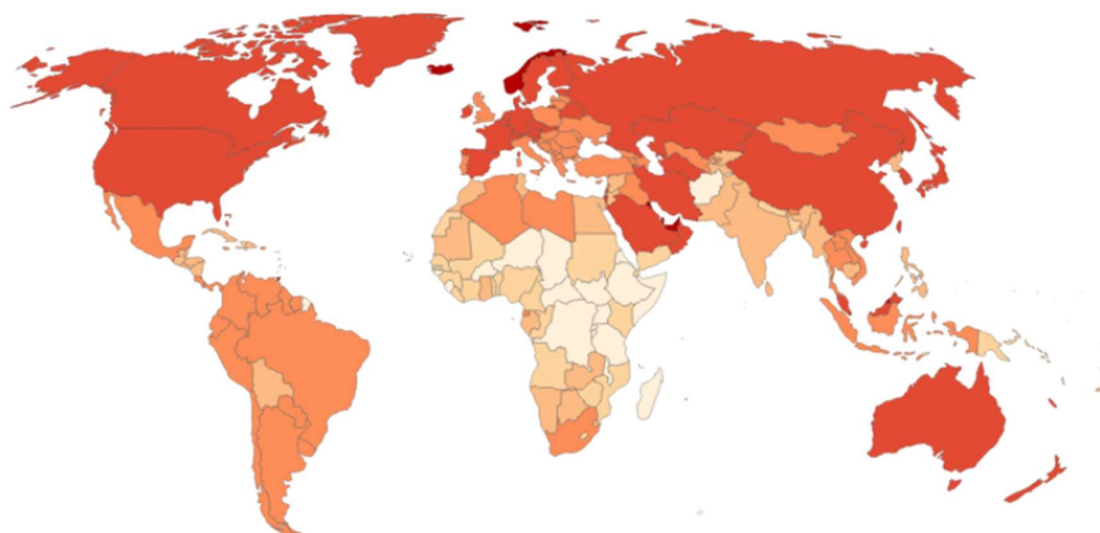
близько 13–15%, з урахуванням:

- традиційної біомаси,
- гідроенергії,
- сонячної, вітрової тощо

Energy use per person, 2023

Our World
in Data

Measured in kilowatt-hours per person. Here, energy refers to primary energy using the substitution method.



Data source: U.S. Energy Information Administration (2023); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024); Population based on various sources (2023)

OurWorldinData.org/energy | CC BY

1.4 Перспективи НВДЕ в індивідуальних комбінованих системах теплопостачання

Перспективи використання відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) в індивідуальних комбінованих системах теплопостачання є не просто позитивними — вони вже зараз формують один із ключових напрямків розвитку сталого енергозабезпечення в приватному секторі.

Такі системи використовуються для опалення, гарячого водопостачання і, подекуди, охолодження в окремих будинках, котеджах, невеликих об'єктах бізнесу. Комбінованість означає, що у межах однієї системи поєднуються різні джерела енергії: наприклад, тепловий насос і сонячний колектор, пелетний котел із буферною ємністю, або ж сонячна електростанція (PV) з електричним котлом, що працює переважно за наявності надлишку власної електроенергії.

Сьогодні ринок пропонує широке різноманіття таких рішень, і

						ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ	Арк.
							20
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата		

технології постійно удосконалюються. Найбільш перспективними є системи з тепловими насосами — повітряними, ґрунтовими або водяними — оскільки вони мають коефіцієнт перетворення енергії (COP) у кілька разів вищий за класичні електронагрівачі. Вони можуть поєднуватися з геліосистемами, які забезпечують теплом у сонячні дні, зменшуючи навантаження на основний генератор.

Одним із ключових драйверів розвитку таких систем є доступність технологій. За останнє десятиріччя вартість фотоелектричних панелей та теплових насосів значно знизилась. При цьому ефективність обладнання постійно зростає. Наприклад, сучасні інверторні теплові насоси можуть ефективно працювати навіть при зовнішніх температурах до -20°C . Водночас покращення в акумуляторних системах (як електричних, так і теплових) дозволяє зберігати надлишок енергії та використовувати його у вечірні або нічні години.

Окрему роль відіграють системи керування та автоматизації. Вони дозволяють об'єднувати дані з прогнозу погоди, лічильників, датчиків температури тощо й оптимізувати роботу обладнання в режимі реального часу. Наприклад, система може вмикати тепловий насос лише в періоди максимальної генерації сонячної електроенергії, або ж переключати джерело тепла на пелетний котел лише тоді, коли сонця немає і зовнішня температура дуже низька.

Значна частина країн, особливо в Європі, стимулюють встановлення таких систем. Державна підтримка може включати часткову компенсацію витрат на обладнання, пільгові кредити або субсидії. У деяких країнах (наприклад, Німеччині, Нідерландах) уже прийняті програми, які обмежують встановлення нових газових котлів і стимулюють використання НВДЕ в житловому будівництві.

Водночас слід зазначити, що для ефективного функціонування комбінованих систем необхідне якісне проектування — врахування площі будинку, тепловтрат, кліматичних умов, наявності місця для розміщення обладнання, можливості інтеграції сонячних панелей тощо. Невірно спроектована система може не дати очікуваної економії або працювати з надмірним навантаженням.

Попри це, у глобальній перспективі такі системи стають все більш привабливими: поєднання екологічності, незалежності, технологічності й зменшення витрат на опалення робить їх одними з найперспективніших для

BIPV (Building Integrated Photovoltaics), тобто сонячними елементами, інтегрованими у будівельні конструкції: дахи, фасади, навіси, вікна. Це дозволяє максимально ефективно використовувати площу будівлі та поєднувати функцію енергогенерації з архітектурною естетикою.

Отже, фотоелектричні модульні системи — це не лише тренд, а вже сьогодні один із основних інструментів розвитку сталої енергетики. Їхня перспективність полягає у поєднанні доступності, масштабованості, простоти інтеграції, довговічності та здатності адаптуватися до індивідуальних потреб користувача.

Якщо розглянути розподіл генерації в енергетичних системах деяких країн світу (див. табл. 1), стає очевидним, що НВДЕ вже давно перетворилися на практику, що широко впроваджена.

1.5 Підбір фотоелектричних модулів

Підбір фотоелектричних модулів (ФЕМ) є ключовим етапом у проєктуванні сонячної електростанції, що безпосередньо впливає на її ефективність, надійність, економічну доцільність і термін експлуатації. Методологія підбору повинна базуватись на аналізі багатьох факторів: характеристик споживання електроенергії, географічних та кліматичних умов, просторових обмежень, параметрів електромережі, типу системи (автономна, мережева, гібридна), а також ринкових особливостей доступного обладнання.

1. Аналіз енергетичних потреб споживача

Першочерговим кроком є аналіз споживання електроенергії в об'єкті, де планується встановлення сонячної установки. Збір статистичних даних за рік дає змогу визначити середньодобове та пікове навантаження, а також сезонні коливання. Це дозволяє розрахувати загальний обсяг генерації, який має забезпечити фотоелектрична система. За наявності динамічного профілю споживання (наприклад, в офісах, магазинах, школах тощо) важливо враховувати добові коливання, аби система могла максимально ефективно працювати без перевиробництва чи нестачі енергії.

2. Оцінка інсоляційного потенціалу

Наступним етапом є аналіз сонячного потенціалу регіону. За основу беруться кліматичні дані по інсоляції — кількості сонячної енергії, що надходить на горизонтальну площину за рік, вираженої в кВт·год/м². В Україні середній річний показник становить 1000–1400 кВт·год/м², залежно від регіону. Оцінюється також оптимальний кут нахилу панелей, орієнтація

						ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ	Арк.
							23
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата		

на південь, а також наявність затінення, яке може знижувати загальну продуктивність системи.

3. Визначення необхідної встановленої потужності

На основі отриманих даних розраховується необхідна встановлена потужність ФЕМ:

$$P_{\text{ФЕМ}} = \frac{E_{\text{річне споживання}}}{H_{\text{регіону}} \cdot \eta_{\text{системи}}}$$

де:

E — річне споживання — середнє річне споживання електроенергії (кВт·год),

H регіону — середньорічна інсоляція (кВт·год/кВт),

$\eta_{\text{системи}}$ — загальний ККД системи (з урахуванням втрат у кабелях, інверторі, тінювих ефектів тощо, зазвичай приймається в межах 0,75–0,85).

4. Вибір типу фотоелектричних модулів

На сучасному ринку представлено кілька типів ФЕМ:

Монокристалічні кремнієві модулі — високий ККД (до 21–23%), компактніші за площею, але дорожчі;

Полікристалічні модулі — дешевші, мають дещо нижчий ККД (16–18%), більші за розміром при тій самій потужності;

Тонкоплівкові модулі — мають нижчий ККД, однак краще працюють при слабкому освітленні та високих температурах, часто застосовуються в промислових об'єктах або BIPV-рішеннях.

Підбір типу модуля відбувається з урахуванням доступної площі, бюджету, умов експлуатації, а також вимог до естетики (наприклад, при інтеграції в дах будівлі).

5. Конфігурація панелей та розміщення

Розраховується кількість модулів за формулою:

$$N = \frac{P_{\text{ФЕМ}}}{P_{\text{одного модуля}}}$$

де P одного модуля — номінальна потужність однієї панелі, зазвичай 400–600 Вт.

- Висота сонця в zenіті на період моніторингу (зима): від $+15^{\circ}59'26''$ ($\sim 16^{\circ}$) до $+17^{\circ}31'31''$ ($\sim 17.5^{\circ}$);
- Річне споживання електроенергії: 8 000 кВт·год;
- Середня річна інсоляція для Бучі (з урахуванням нахилу панелей та кута сонця): орієнтовно 1000 кВт·год/кВт (з корекцією для плоского даху і низького зимового кута).

Корекція нахилу панелей:

Панелі встановлюються на плоскому даху з оптимальним нахилом, який можна регулювати. Враховуючи широту (50.55°) і зимовий кут сонця (близько $16-17.5^{\circ}$), оптимальний кут нахилу для максимального річного збору енергії — приблизно $35-40^{\circ}$.

Оскільки дах плоский, передбачаємо монтаж панелей під кутом 35° , що дозволить зменшити втрати від низького зимового положення сонця.

Оцінка інсоляції на нахилі 35° :

Середня інсоляція на горизонтальній площині: ~ 1100 кВт·год/м²/рік;

На площині з нахилом 35° інсоляція збільшується орієнтовно на 5–10%, отже близько 1150 кВт·год/кВт.

Розрахунок встановленої потужності:

$$P_{\text{встановлена}} = \frac{E_{\text{споживання}}}{H_{\text{нахил}} \times \eta_{\text{системи}}} = \frac{8000}{1150 \times 0.8} = \frac{8000}{920} \approx 8.7 \text{ кВт}$$

Перевірка площі даху для встановлення:

Потужність одного монокристалічного модуля 550 Вт займає приблизно 2 м²;

Кількість модулів:

$$N = 8.7 / 0.55 \approx 16 \text{ модулів}$$

Загальна площа: $16 \times 2 = 32$ м² $16 \times 2 = 32$ м², що вміщується на плоскому даху 60 м², з урахуванням простору між рядами для провітрювання і очищення від снігу/пилу.

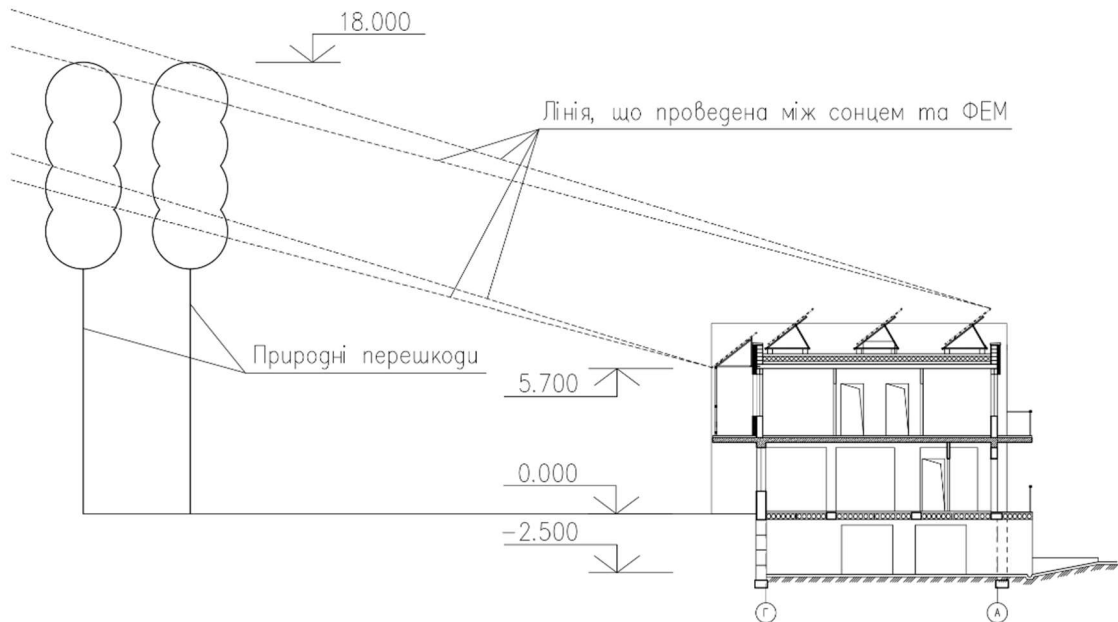
Орієнтація і затінення:

Панелі орієнтовані суворо на південь, що є оптимальним для максимального збору сонячної енергії; Враховуючи плоский дах, можливо встановити рядки панелей із невеликими зазорами для запобігання затінення навіть у низькі зимові сонячні дні.

.Прогнозована річна генерація:

$$16 \times 0.55 \times 1150 \times 0.8 = 16 \times 0.55 \times 920 = 16 \times 506 = 8096 \text{ кВт/рік}$$

Це повністю покриває річне споживання в 8 000 кВт·год.



2. Аналіз архітектурних та теплотехнічних характеристик об'єкта

2.1 Опис архітектурно-будівельних характеристик індивідуального житлового будинку

ТЕХНІЧНО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Найменування	Одиниця виміру	Показник
Вид будівництва		Нове будівництво
Умовна висота будинку	м	6,6
Поверховість	поверх	2

Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата

Ступінь вогнестійкості будинку	-	II
Загальна площа будинку	м ²	183,3
Площа забудови	м ²	76,16
Будівельний об'єм в т. ч.	м ³	614,8
надземна частина	м ³	416,8
підземна частина	м ³	198
Тривалість будівництва	міс.	6

2.1 Вихідні дані для розрахунків

Проектними рішеннями передбачається наступні огорожувальні конструкції:

- Влаштування віконних блоків з ПВХ профілю з монтажною шириною 86 мм, двокамерним склопакетом 4MDS_plus-16Ar-4-16Ar-4i, а також із алюмінієвого профілю зі склопакетами 4i-16Ar-4-16Ar-4i;

- Конструкція зовнішніх стін (тип-1/2) має наступний склад: внутрішня штукатурка товщиною 20 мм, керамічна цегла на цементно-піщаному розчині товщинами 510/120 мм, штукатурка товщиною 20 мм, клеючий розчин товщиною 10 мм, мінераловатні плити, густиною 135-150 кг/м³, тинькування товщиною 10 мм;

- Конструкція суміщеного покриття (тип-1) має наступний склад: залізобетонна панель перекриття товщиною 220 мм, мінераловатні плити густиною 220/115 кг/м³, ПЕ плівка, стяжка із цементно-піщаного розчину товщиною від 30 мм, геотекстиль товщиною 2 мм, ПВХ мембрана товщиною 1,8 мм;

- Конструкція суміщеного покриття (тип-2) має наступний склад: залізобетонна панель перекриття товщиною 220 мм, мінераловатні плити густиною 160-190 кг/м³, ПЕ плівка, стяжка із цементно-піщаного розчину товщиною 50 мм, руберойд товщиною 5 мм.

2.2 Розрахункові і кліматичні та теплоенергетичні параметри

Згідно з таблицею Б.2 ДБН В.2.6-31:2021 розрахункова температура внутрішнього повітря приймається $\theta_{int} = 22$ °С, відносна вологість повітря $\phi_{int} = 50$

Згідно з ДБН В.2.6-31:2021 мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі $R_{q\ min}$, $m^2 \cdot K/Вт$, становить:

- для зовнішніх стін – $4,0 m^2 \cdot K/Вт$;
- для світлопрозорих огорожувальних конструкцій – $0,9 m^2 \cdot K/Вт$;
- для зовнішніх дверей – $0,7 m^2 \cdot K/Вт$;
- для суміщеного перекриття – $7,0 m^2 \cdot K/Вт$.

Граничне значення питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні, E_{P_r} згідно з Наказу Міністерства розвитку громад та територій України від 27.10.2020 № 260 становить: $[32]$ кВт·год/ m^3 .

Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції $\Delta T_{ст}$, °С згідно ДБН В.2.6-31:2016:

- для зовнішніх стін – $4,0$ °С;
- для покриття та перекриття горищ – $3,0$ °С;
- для перекриття над проїздами та підвалами – $2,0$ °С.

3. Визначення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій

3.1 Приведений опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій

Приведений опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій визначається згідно з п.5 ДСТУ 9191:2022.

Величини розрахункових теплофізичних параметрів матеріалів, що використовуються, визначені згідно з додатком А ДСТУ 9191:2022.

3.1.1 Зовнішні стіни

						ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ	Арк.
							29
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата		

Приймаємо мінераловатні плити (густина 135-150 кг/м³) товщиною 150 мм.

Розраховуємо дійсне значення опору теплопередачі для зовнішньої стіни:

$$R_{\Sigma 2} = 1/8,7 + 0,02/0,81 + 0,12/0,81 + 0,02/0,93 + 0,01/0,87 + 0,15/0,04 + 0,01/0,87 + 1/23 = 4,126 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Розраховуємо приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної зовнішньої стіни за формулою:

$$R_{\Sigma np} = \frac{A_{\Sigma}}{\sum_i \frac{A_i}{R_i} + \sum_m I_m \cdot \psi_m + \sum_j N_j \cdot \chi_j}$$

де $A_{\Sigma} = 1938,5 \text{ м}^2$ – загальна площа зовнішніх стін;

$A_1 = 1558,2 \text{ м}^2$ – площа зовнішніх стін типу-1;

$R_1 = 4,607 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ – опір теплопередачі термічнооднорідної стіни типу-1;

$A_2 = 17,2 \text{ м}^2$ – площа зовнішніх стін типу-2;

$R_2 = 4,126 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ – опір теплопередачі термічнооднорідної стіни типу-2;

Ψ_m – лінійний коефіцієнт теплопередачі лінійного теплопровідного включення, Вт/(м·К) визначається згідно додатку Г ДСТУ 9191:2022:

- для вузла примикання віконної конструкції до зовнішніх стін в зоні перемички – 0,141 Вт/(м·К);
- для вузла примикання віконної конструкції до зовнішніх стін в зоні підвіконня – 0,08 Вт/(м·К);
- для вузла примикання віконної конструкції до зовнішніх стін в зоні рядового сполучення – 0,121 Вт/(м·К);

I_m – лінійний розмір (проекція) лінійного теплопровідного включення, К:

- для вузла примикання віконної конструкції до зовнішніх стін в зоні перемички – 312,7 м;
- для вузла примикання віконної конструкції до зовнішніх стін в зоні підвіконня – 312,7 м;
- для вузла примикання віконної конструкції до зовнішніх стін в зоні рядового сполучення – 545,9 м;

							ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата			32

$$\Psi_m \cdot I_m = 0,141 \cdot 312,7 + 0,08 \cdot 312,7 + 0,121 \cdot 545,9 = 135,16 \text{ Вт/К};$$

χ_j – точковий коефіцієнт теплопередачі точкового теплопровідного включення, Вт/К визначається згідно додатку Д ДСТУ 9191:2022:

- вузол влаштування пластикового дюбеля з пластиковим стрижнем для кріплення теплоізоляційного шару – 0,0015 Вт/К;

N_j – загальна кількість точкових теплопровідних включень, шт.

- вузол влаштування пластикового дюбеля з пластиковим стрижнем для кріплення теплоізоляційного шару – 18905 шт.;

$$\chi_j \cdot N_j = 0,0015 \cdot 18905 = 28,36 \text{ Вт/К}$$

Тоді приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної зовнішньої стіни дорівнює:

$$R_{\Sigma пр} = 1938,5 / (1558,2 / 4,607 + 17,2 / 4,126 + 135,16 + 28,36) = 3,83 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Перевірка умови (4): $R_{\Sigma пр} \geq R_{q \text{ min}}$, $3,83 \geq 4,0 \times 0,75$ згідно з п.5.2.2 ДБН В.2.6-31:2021. Отже, умова виконується.

Перевірка умови (5):

Температура внутрішньої поверхні стіни/укосів:

$$\theta_{si,H,i} = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_{\Sigma i} \cdot h_{si}}$$

де θ_{int} – температура внутрішнього повітря, в даному випадку 22°C згідно таблиці Б.2 ДБН В.2.6-31:2021;

θ_{ext} – розрахункова температура зовнішнього повітря, для I температурної зони мінус 22°C згідно таблиці Б.4 ДБН В.2.6-31:2021;

$$\theta_{si,H,1} = 22 - (22 - (-22)) / (8,7 \cdot 4,607) = 20,9^\circ\text{C};$$

$$\theta_{si,H,2} = 22 - (22 - (-22)) / (8,7 \cdot 4,126) = 20,77^\circ\text{C};$$

$$\theta_{si,H,ПМ} = 22 - (22 - (-22)) / (8,7 \cdot (0,31 / 0,141)) = 19,7^\circ\text{C};$$

$$\theta_{si,H,ПВ} = 22 - (22 - (-22)) / (8,7 \cdot (0,31 / 0,08)) = 20,69^\circ\text{C};$$

$$\theta_{si,H,РС} = 22 - (22 - (-22)) / (8,7 \cdot (0,31 / 0,121)) = 20,03^\circ\text{C};$$

Приведена температура внутрішньої поверхні стіни:

$$\theta_{si,пр,H} = \frac{\sum_i \theta_{si,H,i} \cdot A_{si,H,i}}{A_{si,\Sigma,H}}$$

						ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата		33

$$\theta_{si, np, H} = (20,9 \cdot 1558,2 + 20,77 \cdot 17,2 + 19,7 \cdot 96,9 + 20,69 \cdot 96,9 + 20,03 \cdot 169,3) / 1938,5 = 20,75 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Визначаємо коефіцієнт скління фасадів будівлі:

$$m_{gl, B} = A_{si, \Sigma C, B} / (A_{si, \Sigma C, B} + A_{si, \Sigma H, B})$$

де $A_{si, \Sigma C, B} = 553,6 \text{ м}^2$ - загальна площа світлопрозорих огорожувальних конструкцій;

$A_{si, \Sigma H, B} = 1575,4 / 34,2 \text{ м}^2$ - загальна площа зовнішніх стін (без укосів)/дверей;

$$m_w = 553,6 / (553,6 + 1575,4 + 34,2) = 0,26.$$

Оскільки коефіцієнт скління фасадів становить 0,26 що менше ніж 0,3, тоді температурний перепад між внутрішньою температурою огороження та температурою внутрішнього повітря становить:

$$\Delta\theta_{int-si, np} = \theta_{int} - \theta_{si, np, H}$$

$$\Delta\theta_{int-si, np} = 22 - 20,75 = 1,25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції для зовнішніх стін становить $\Delta\theta_{int-si, max} = 4,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ згідно таблиці 3 ДБН В.2.6-31:2021.

$$\Delta\theta_{int-si} \leq \Delta\theta_{int-si, max}, 1,25 \leq 4,0. \text{ Отже, умова виконується.}$$

3.1.2 Суміщене покриття

Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі для І температурної зони (згідно ДБН В.2.6-31:2021) складає 7,0 ($\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$).

							ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ	Арк.
								34
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата			

$$R_2 = 1/10 + 0,22/2,04 + 0,3/0,043 + 0,0002/0,23 + 0,05/0,93 + 0,005/0,17 + 1/23 = 7,312 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Розраховуємо приведений опір теплопередачі термічно неоднорідного суміщеного покриття за формулою:

$$R_{\Sigma_{\text{пр}}} = \frac{A_{\Sigma}}{\sum_i \frac{A_i}{R_i} + \sum_m I_m \cdot \psi_m + \sum_j N_j \cdot \chi_j}$$

де $A_{\Sigma} = 1362,2 \text{ м}^2$ – загальна площа суміщеного покриття;

$A_1 = 1103,2 \text{ м}^2$ – площа однорідного суміщеного покриття, тип-1;

$R_1 = 7,004 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ – опір теплопередачі термічно однорідного суміщеного покриття, тип-1;

$A_2 = 58,8 \text{ м}^2$ – площа однорідного суміщеного покриття, тип-2;

$R_2 = 7,312 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ – опір теплопередачі термічно однорідного суміщеного покриття, тип-2;

Ψ_m – лінійний коефіцієнт теплопередачі лінійного теплопровідного включення, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ визначається згідно додатку Г ДСТУ 9191:2022:

I_m – лінійний розмір (проекція) лінійного теплопровідного включення, К :

Лінійні включення відсутні.

$$\Psi_m \cdot I_m = 0 \text{ Вт/К};$$

χ_j – точковий коефіцієнт теплопередачі точкового теплопровідного включення, Вт/К визначається згідно додатку Д ДСТУ 9191:2022:

N_j – загальна кількість точкових теплопровідних включень, шт.

Точкові включення відсутні.

$$\Psi_k \cdot N_k = 0 \text{ Вт/К}$$

Тоді приведений опір теплопередачі термічно неоднорідного суміщеного покриття дорівнює:

$$R_{\Sigma_{\text{пр}}} = 1162 / (1103,2 / 7,004 + 58,8 / 7,312 + 0 + 0) = 7,02 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Перевірка умови (4): $R_{\Sigma_{\text{пр}}} \geq R_{q \text{ min}}, 7,02 \geq 7,0$. Отже, умова виконується.

Перевірка умови (5):

Температура внутрішньої поверхні:

										Арк.
										37
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата	ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ				

1 м x 1 м = 1 м².

Для теплопровідних включень за проектними даними та даними Додатків Г та Д ДСТУ Б В.2.6-189:2013 визначають кількісні показники та характеристики лінійних та точкових коефіцієнтів теплопередачі.

Зведені дані наведені нижче:

- дюбелі для кріплення утеплювача (12 шт.) – 0,005 Вт/К.

На підставі цих даних визначають приведений опір теплопередачі стіни згідно з формулою (3) ДСТУ Б В.2.6-189:2013:

Температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні стіни, що межує із паркінгом визначаємо за формулою:

де $t_{вн}$ – температура внутрішнього повітря, в даному випадку 20°C згідно таблиці В.2 ДБН В.2.6-31:2016;

$t_{зов}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря, для I температурної зони мінус 22 °C згідно таблиці В.4

ДБН В.2.6-31:2016;

Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції для стіни становить $\Delta T_{ст} = 5,0$ °C згідно таблиці 5 ДБН В.2.6-31:2016.

$[\Delta T_{пр} = 1,41$ °C] \leq $[\Delta T_{ст} = 5,0$ °C]. Отже, умова виконується.

3.1.5 Світлопрозорі огороджувальні конструкції

Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі для I температурної зони (згідно ДБН В.2.6-31:2021) складає 0,9 (м²·°C/Вт).

До установки приймаються віконні блоки із ПВХ профілю товщиною 85 мм ($R_{\text{проф}} = 1,12$ м²·К/Вт) з двокамерними склопакетами 4MDS_plus-16Ar-4-16Ar-4i ($R_{\text{сп}} = 1,22$ м²·К/Вт) та вітражі із алюмінієвого профілю ($R_{\text{проф}} = 0,74$ м²·К/Вт) з двокамерними склопакетами 4i-16Ar-4-16Ar-4i ($R_{\text{сп}} = 1,27$ м²·К/Вт).

						ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ	Арк.
							40
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата		

Розраховуємо приведенний опір теплопередачі віконних та вітражних блоків із двокамерними склопакетами за формулою:

$$R_{\Sigma пр} = \frac{F_{cn} + F_{проф}}{\frac{F_{cn}}{R_{cn}} + \frac{F_{проф}}{R_{проф}} + \sum_{j=1}^J k_j L_j}$$

де $F_{\Sigma} = 553,6 \text{ м}^2$ – загальна площа світлопрозорих огорожувальних конструкцій;

$F_{сн1} = 345,0 \text{ м}^2$ – загальна площа склопакетів, тип-1;

$F_{сн2} = 59,1 \text{ м}^2$ – загальна площа склопакетів, тип-2;

$F_{проф1} = 127,6 \text{ м}^2$ – загальна площа профільних елементів (рам віконних блоків, імпостів, тощо), тип-1;

$F_{проф2} = 21,9 \text{ м}^2$ – загальна площа профільних елементів (рам віконних блоків, імпостів, тощо), тип-2;

$R_{сн1} = 1,22 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ – приведенний опір теплопередачі термічно однорідного склопакету, тип-1;

$R_{сн2} = 1,27 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ – приведенний опір теплопередачі термічно однорідного склопакету, тип-2;

$R_{проф1} = 1,12 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ – приведенний опір теплопередачі елементів із профілю, тип-1;

$R_{проф2} = 0,74 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ – приведенний опір теплопередачі елементів із профілю, тип-2;

k_j – лінійний коефіцієнт теплопередачі лінійного теплопровідного включення, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ визначається згідно таблиці К.1 ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010:

- лінійні теплопровідні включення в зоні примикання склопакету до рами при заглибленні дистанційної рамки відносно штапика 5 мм становить – $0,06 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

L_j – лінійний розмір (проекція) лінійного теплопровідного включення, м:

- лінійні теплопровідні включення в зоні примикання склопакету до рами – 1236 м;

$$L_j \cdot k_j = 0,06 \cdot 1236 = 74,2 \text{ Вт/К};$$

Тоді приведений опір теплопередачі віконних блоків із ПВХ та двокамерними склопакетами становить:

$$R_{\Sigma пр} = 553,6 / (345 / 1,22 + 59,1 / 1,27 + 127,6 / 1,12 + 29,1 / 0,74 + 74,2) = 1,01 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Перевірка умови (4): $R_{\Sigma пр} \geq R_{q \text{ min}}, 1,01 \geq 0,9$. Отже, умова виконується.

Перевірка умови (6):

Згідно п.5.5.2 ДБН В.2.6-31:2021 мінімально допустиме значення температури на внутрішній поверхні $\Delta\theta_{si,min}$ світлопрозорих огорожувальних конструкцій при розрахункових значеннях температур зовнішнього та внутрішнього повітря, прийнятих згідно з додатком Б ДБН В.2.6-31:2021, повинно бути не менше ніж температура точки роси θ_D .

Температуру внутрішньої поверхні віконних блоків визначаємо за формулою:

$$\theta_{si,min} = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{e,роз}}{R_{\Sigma пр} \alpha_e}$$

де θ_{int} – температура внутрішнього повітря, в даному випадку 22°C згідно таблиці Б.2 ДБН В.2.6-31:2021;

$\theta_{e,роз}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря, для І температурної зони мінус 22°C згідно таблиці Б.4 ДБН В.2.6-31:2021;

$$\theta_{si,min} = 22 - (22 - (-22)) / (8,0 \cdot 1,01) = 16,55^\circ\text{C}$$

При $\theta_{int} = 22^\circ\text{C}$; $\phi_{int} = 50\%$ температура точки роси внутрішнього повітря становить $\theta_D = 11,1^\circ\text{C}$.

$T_{в \text{ min}} > \theta_D, 16,55 > 11,1$. Отже, умова (6) виконується відносно точки роси.

						ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата		42

3.2 Тепловологісний стан огорожувальних конструкцій.

Тепловологісний стан зовнішніх огорожувальних конструкцій визначається згідно ДСТУ Б В.2.6-192:2013.

Необхідність оцінки тепловологісного стану при проектуванні зовнішніх огорожень для визначення заходів щодо:

- запобігання можливості зволоження матеріалів огорожувальної конструкції;
- уникнення можливості конденсації водяної пари на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції;
- запобігання можливості конденсації водяної пари в товщі огорожувальної конструкції;
- забезпечення умови від'ємного або нульового річного балансу вологи в товщі огорожувальних конструкцій (умови виведення за період вологовіддачі всієї вологи, що сконденсувалася за період вологонакопичення).

3.2.1 Зовнішні стіни

Таблиця 5 Склад стінового огороження (тип-1)

п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщина, мм	Тепло-провідність, Вт/(м·К)	Термічний опір шару, (м ² ·К)/Вт	Коефіцієнт паропроникності,	Опір паропроникненню,	Номер матеріалу згідно додатку А ДСТУ 9191:2022
	Внутрішня штукатурка	0	,81	,025	,12	,167	6
	Керамічна цегла на цементно-піщаному розчині	10	,81	,63	,11	,636	7
	Штукатурка	0	,93	,022	,09	,222	8

	Клеючий розчин	0	,87	,011	,098	,102	7	6
	Мінеральні плити (густина 135-150 кг/м ³)	50	,04	,75	,43	,349		П ротоко л №2- 20/20 аналог 1
	Тинькування	0	,87	,011	,098	,102	7	6

Згідно з таблицею Б.2 ДБН В.2.6-31:2021 розрахункова температура внутрішнього повітря приймається $\theta_{int}=22^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря $\varphi_{int}=50\%$.

Згідно з таблицею Б.1 додатка Б ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013 визначаються парціальні тиски насиченої водяної пари внутрішнього та зовнішнього повітря:

$E_B = 2645 \text{ Па}$ – при температурі внутрішнього повітря 22°C ;

$E_3 = 412 \text{ Па}$ – при температурі зовнішнього повітря $-4,7^{\circ}\text{C}$ (в січні).

$\varphi_3 = 83\%$ – відносна вологість зовнішнього повітря (в січні).

Визначаємо парціальні тиски водяної пари внутрішнього та зовнішнього повітря:

$e_B = 0,01\varphi_{int} \cdot E_B = 0,01 \cdot 50 \cdot 2645 = 1323 \text{ Па}$;

$e_3 = 0,01\varphi_3 \cdot E_3 = 0,01 \cdot 83 \cdot 412 = 342 \text{ Па}$.

Визначаємо розподіл температур $\theta(x)$, $^{\circ}\text{C}$, по товщині конструкції за формулою:
$$\theta(x) = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{зов}}{R_{\Sigma}} \left(\frac{1}{h_{si}} + R_x \right)$$

де θ_{int} - внутрішня температура приміщення, $^{\circ}\text{C}$;

$\theta_{зов}$ - розрахункова температура зовнішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$, як середня місячна температура повітря;

У масштабі опорів паропроникненню будемо залежність парціального тиску насиченої водяної пари та парціального тиску водяної пари.

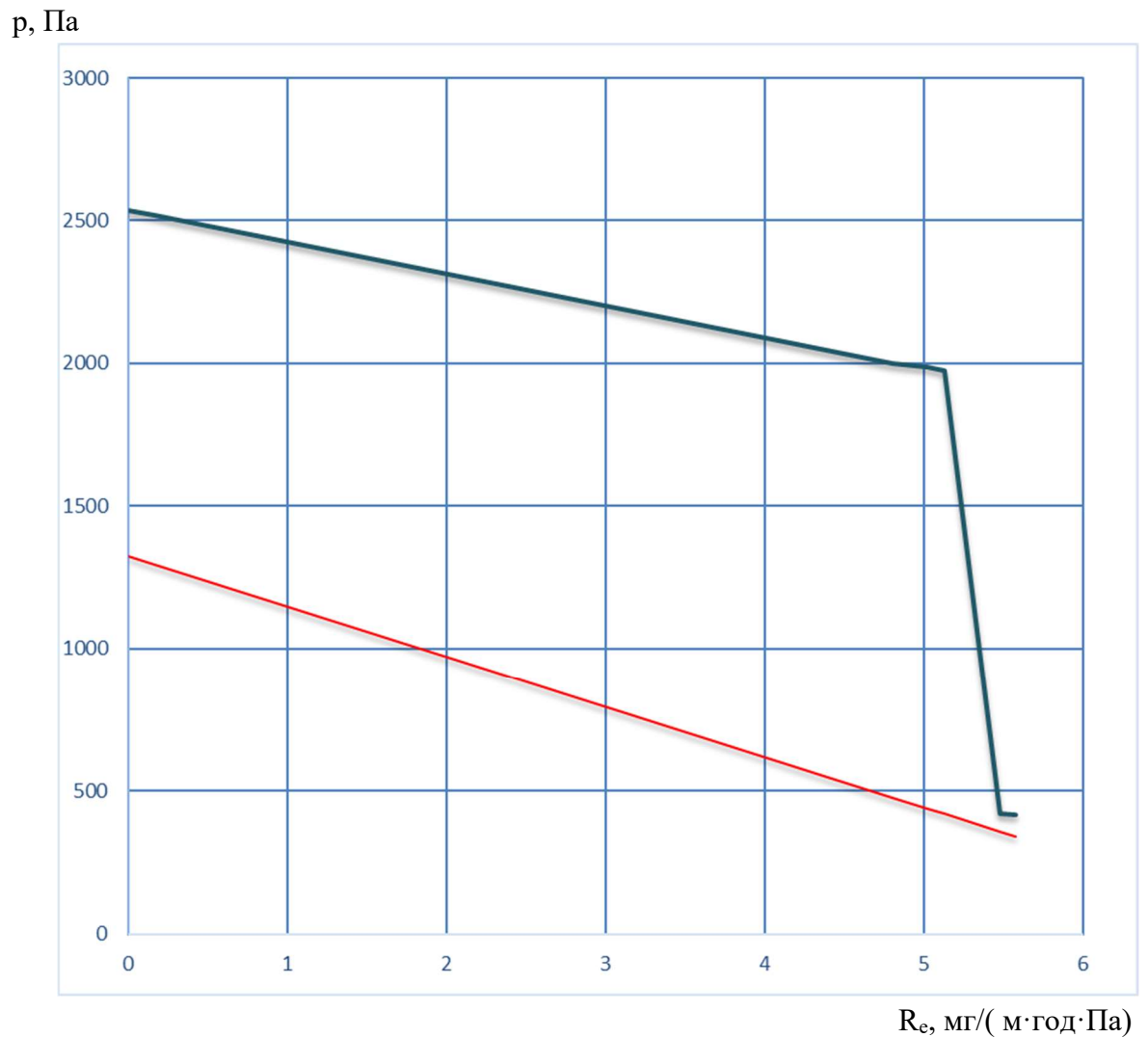


Рис. 1 Розподіл парціальних тисків у товщі зовнішньої стіни

Оскільки лінії E та e не перетинаються, що свідчить про те що процес конденсації водяної пари в товщі огорожувальної конструкції не відбувається.

Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата

Таблиця 6 Склад стінового огороження (тип-2)

п/ п	Назва і-го шару конструкції	Товщина, мм	Тепло- провідність, Вт/(м·К)	Термічний опір шару, (м ² ·К)/Вт	Коефіцієнт паропроникності, μ	Опір паропроникненню, W	Номер матеріалу згідно додатку А ДСТУ 9191:2022
	Внутрішня штукатурка	0	,81	,025	,12	,167	6
	Керамічна цегла на цементно-піщаному розчині	20	,81	,148	,11	,091	7
	Штукатурка	0	,93	,022	,09	,222	8
	Клеючий розчин	0	,87	,011	,098	,102	7
	Мінеральні плити (густина 135-150 кг/м ³)	50	,04	,75	,43	,349	П ротоко л №2- 20/20 аналог 1
	Тинькування	0	,87	,011	,098	,102	7

Згідно з таблицею Б.2 ДБН В.2.6-31:2021 розрахункова температура внутрішнього повітря приймається $\theta_{\text{int}}=22^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря $\phi_{\text{int}}=50\%$.

									Арк.
ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ									47
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата				

Згідно з таблицею Б.1 додатка Б ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013 визначаються парціальні тиски насиченої водяної пари внутрішнього та зовнішнього повітря:

$$E_B = 2645 \text{ Па} - \text{при температурі внутрішнього повітря } 22 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$E_3 = 412 \text{ Па} - \text{при температурі зовнішнього повітря } -4,7 \text{ }^\circ\text{C (в січні)}.$$

$$\varphi_3 = 83\% - \text{відносна вологість зовнішнього повітря (в січні)}.$$

Визначаємо парціальні тиски водяної пари внутрішнього та зовнішнього повітря:

$$e_B = 0,01 \varphi_{int} E_B = 0,01 \cdot 50 \cdot 2645 = 1323 \text{ Па};$$

$$e_3 = 0,01 \varphi_3 E_3 = 0,01 \cdot 83 \cdot 412 = 342 \text{ Па}.$$

Визначаємо розподіл температур $\theta(x)$, $^\circ\text{C}$, по товщині конструкції за формулою:
$$\theta(x) = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{зов}}{R_\Sigma} \left(\frac{1}{h_{si}} + R_x \right)$$

де θ_{int} - внутрішня температура приміщення, $^\circ\text{C}$;

$\theta_{зов}$ - розрахункова температура зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$, як середня місячна температура повітря;

R_Σ - опір теплопередачі огороджувальної конструкції (однорідної частини), $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$;

h_{si} - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, приймають згідно з додатком Б ДСТУ 9191;

R_x - опір теплопередачі частини огороджувальної конструкції, що розташована між внутрішньою поверхнею та площиною, для якої проводиться розрахунок, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$.

Визначаємо розподіл температур $\theta(x)$, $^\circ\text{C}$, по товщині конструкції:

- для внутрішньої поверхні:

$$\theta(1) = 22 - [(22 - (-4,7))/4,126] \cdot (1/8,7) = 21,3 \text{ }^\circ\text{C};$$

- на межі 1-го та 2-го шару:

$$\theta(2) = 22 - [(22 - (-4,7))/4,126] \cdot (1/8,7 + 0,025) = 21,1 \text{ }^\circ\text{C};$$

- на межі 2-го та 3-го шару:

$$\theta(3) = 22 - [(22 - (-4,7))/4,126] \cdot (1/8,7 + 0,025 + 0,148) = 20,1 \text{ }^\circ\text{C};$$

- на межі 3-го та 4-го шару:

$$\theta(4) = 22 - [(22 - (-4,7))/4,126] \cdot (1/8,7 + 0,025 + 0,148 + 0,022) = 20,0 \text{ }^\circ\text{C};$$

- на межі 4-го та 5-го шару:

$$\theta(5) = 22 - [(22 - (-4,7))/4,126] \cdot (1/8,7 + 0,025 + 0,148 + 0,022 + 0,011) = 19,9 \text{ }^\circ\text{C};$$

- на межі 5-го та 6-го шару:

$$\theta(6) = 22 - [(22 - (-4,7))/4,126] \cdot (1/8,7 + 0,025 + 0,148 + 0,022 + 0,011 + 3,75) = -4,3 \text{ }^\circ\text{C};$$

- на зовнішній поверхні 6-го шару:

$$\theta(6) = 22 - [(22 - (-4,7))/4,126] \cdot (1/8,7 + 0,025 + 0,148 + 0,022 + 0,011 + 3,75 + 0,011) = -4,4 \text{ }^\circ\text{C};$$

						ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата		49

$\theta(x), ^\circ\text{C}$

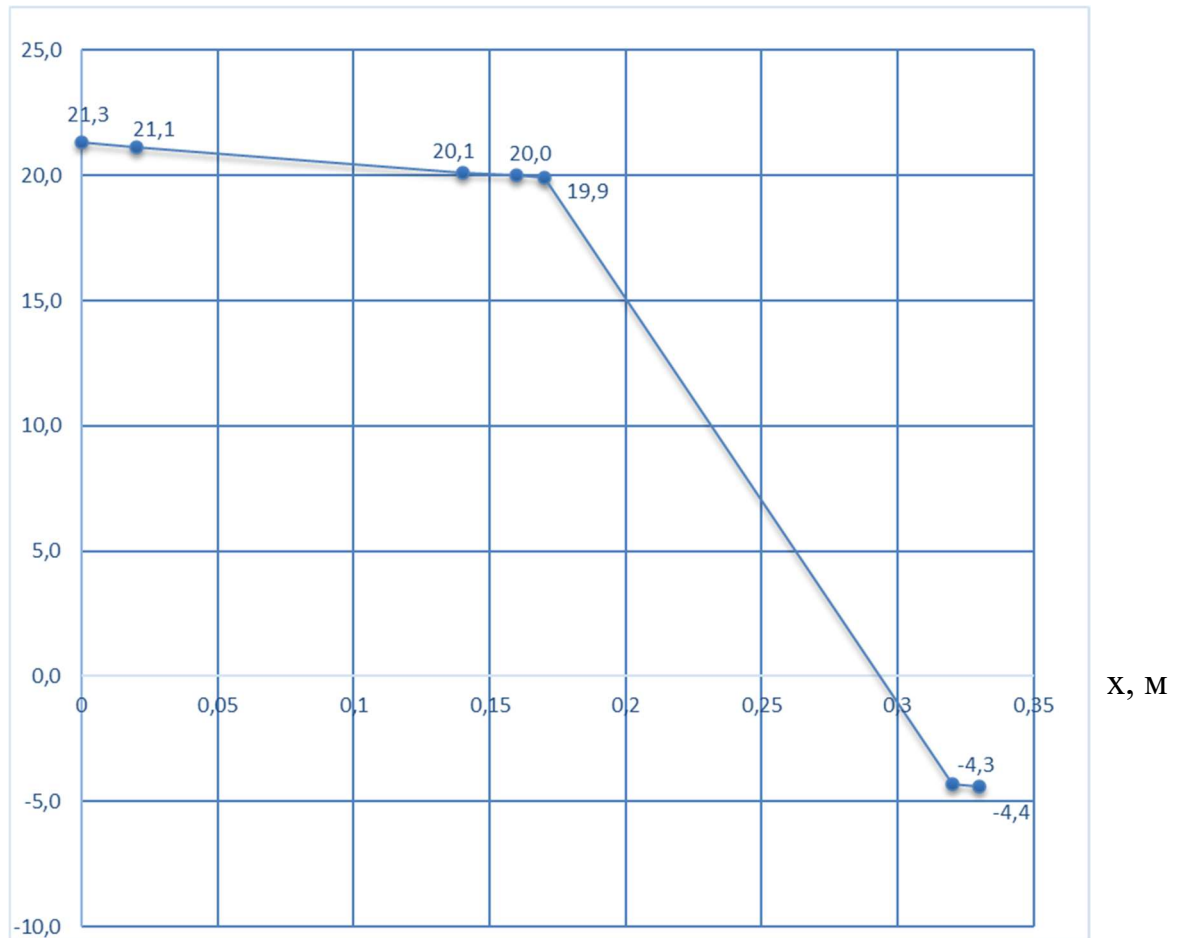


Рис. 2 Розподіл температур у товщі зовнішньої стіни

У масштабі опорів паропроникненню будемо залежність парціального тиску насиченої водяної пари та парціального тиску водяної пари.

Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата

$p, \text{Па}$

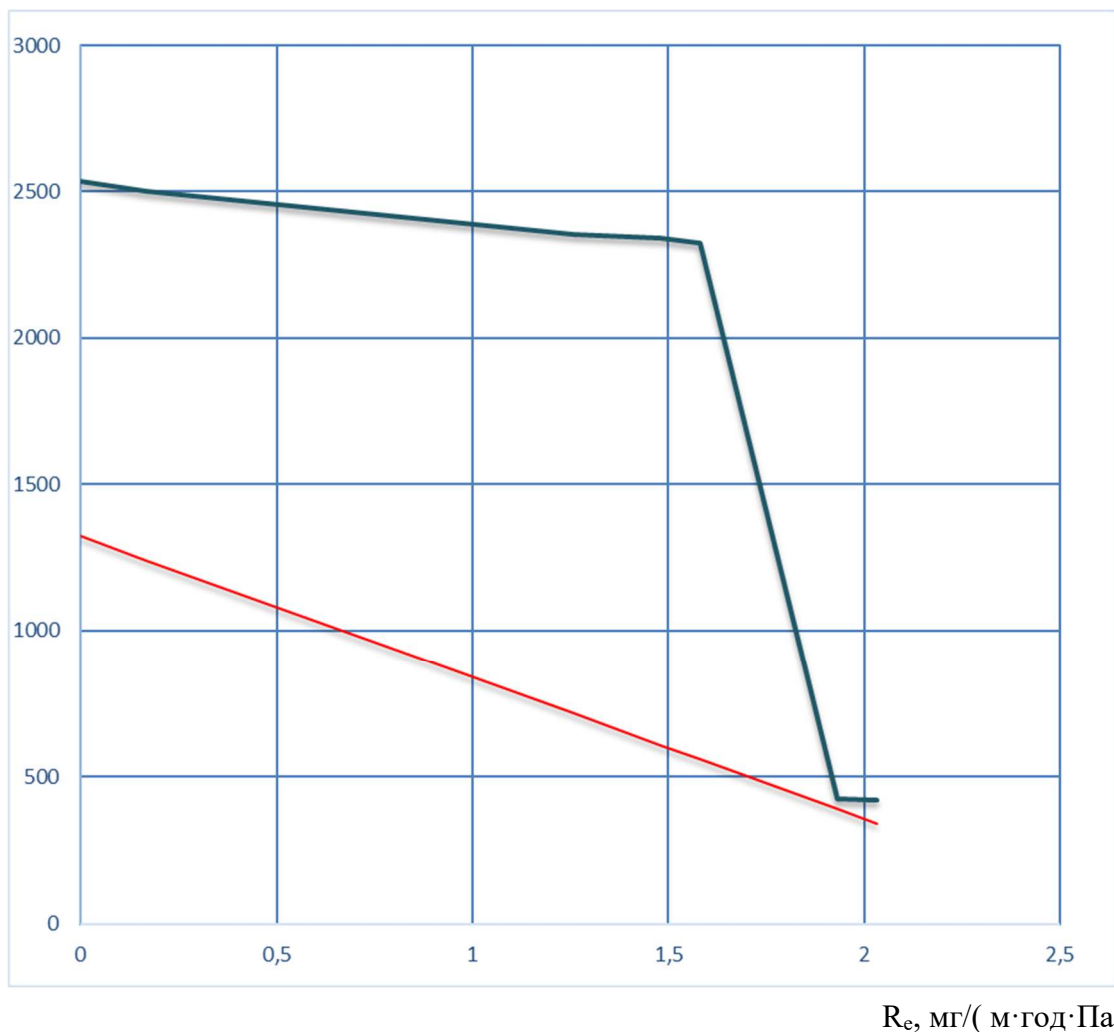


Рис. 3 Розподіл парціальних тисків у товщі зовнішньої стіни

Оскільки лінії E та e не перетинаються, що свідчить про те що процес конденсації водяної пари в товщі огорожувальної конструкції не відбувається.

3.3 Оцінка теплостійкості та теплосвоєння огорожувальних конструкцій

3.3.1 Оцінка теплостійкості огорожувальних конструкцій в літній період

Так як середня температура найбільш жаркого місяця (липня) менше 21°C ($19,8^\circ\text{C} < 21^\circ\text{C}$) то згідно п.5.8 ДБН В.2.6-31:2021 теплостійкість огорожувальних конструкцій в літній період року дозволяється не перевіряти.

Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата

3.3.2 Визначення показника теплозасвоєння поверхнею підлоги

Теплозасвоєння огороджувальних конструкцій визначається згідно ДСТУ Б В.2.6-190:2013.

Таблиця 7 Теплофізичні характеристики підлоги (підлога на ґрунті)

п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщина, мм	Тепло-провідність, Вт/(м·К)	Термічний опір шару, (м²·К)/Вт	Коефіцієнт теплозасвоєння, Вт/(м²·К)	Теплова інерція	Номер матеріалу згідно додатку А ДСТУ 9191:2022
	Лінолеум		,17	,012	,32	,04	88
	Самовирівнююча стяжка		,072	,042	,03	,043	34
	Стяжка із цементно-піщаного розчину	0	,76	,066	,6	,634	68
	Керамзит (густина 300 кг/м³)	0	,12	,333	,56	,519	28
	Залізобетонна плита перекриття	20	,92	,115	7,98	,068	64
	Штукатурка	0	,76	,026	,6	,25	68
	Клеючий розчин	0	,7	,014	,95	,125	67
	Мінеральні плити (густина 135-150 кг/м³)	50	,039	,846	,59	,269	П протокол №2-20/20 аналог 1
	Тинькування	0	,7	,014	,95	,125	67

Оскільки перші два внутрішні шари огороження в сумі мають теплову меншу ніж $D1 + D2 < 0,5$, а $D1 + D2 + D3 > 0,5$, $0,04 + 0,043 + 0,634 =$

= 0,717 > 0,5 тоді коефіцієнт теплозасвоєння поверхні визначається за формулою:

$$Y_2 = (2 \cdot R_2 \cdot s_2^2 + s_3) / (0,5 + R_2 \cdot s_3)$$

$$Y_2 = (2 \cdot 0,042 \cdot 1,03^2 + 9,6) / (0,5 + 0,042 \cdot 9,6) = 10,73 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$Y_1 = (4 \cdot R_1 \cdot s_1^2 + Y_2) / (1 + R_1 \cdot Y_2)$$

$$Y_1 = (4 \cdot 0,012 \cdot 3,32^2 + 10,73) / (1 + 0,012 \cdot 10,73) = 9,97 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Перевірка умови п.5.9 ДБН В.2.6-31:2021 $Y_f \leq Y_{f, \max}$, $Y_{f, \max} = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ – для будівель даного типу згідно таблиці 4 ДБН В.2.6-31:2021, $9,97 \leq 12$ отже умова виконується.

3.3.3 Оцінка теплостійкості приміщень в зимовий період

Згідно п. 5.8. ДБН В.2.6-31:2021 за наявності в будівлі системи опалення з автоматичним децентралізованим регулюванням температури внутрішнього повітря теплостійкість приміщень в холодний період року не перевіряють.

Дана будівля обладнана системою опалення з автоматичним регулюванням температури внутрішнього повітря.

3.4 Розрахункова оцінка повітропроникності огорожувальних конструкцій

Розрахункова оцінка повітропроникності зовнішніх огорожувальних конструкцій визначається згідно ДСТУ Б В.2.6-191:2013.

Таблиця 8 Повторюваність та швидкість вітру за сторонами світу в січні для м. Обухів (Київ) згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010

Максимальна із середніх швидкостей вітру за румбами в січні з повторюваністю 16% і більше становить – 3,0 м/с в західному напрямку.

Висота будівлі від рівня підлоги першого поверху до верху витяжної шахти – 7,5 м. Висота 1-го поверху – 3,3 м.

						ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ	Арк.
							53
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата		

3.4.1 Розрахунок масової повітропроникності зовнішніх стін

Визначаємо повітропроникність однорідних ділянок стінової конструкції з послідовним розміщенням шарів при різниці тиску $\Delta p_0 = 10$ Па:

Таблиця 9 Склад зовнішньої стіни (тип-1) та повітропроникність однорідних шарів (Таблиця 3 ДСТУ Б В.2.6-191:2013)

п/п	№ Назва і-го шару конструкції	Товщина зразка випробування d, мм	Різниця тиску Δp_0 , Па	Повітропроникність $G_{\Delta p_0}$, кг/(м ² ·год)
1	Внутрішня штукатурка	15	10	0,07
2	Керамічна цегла на цементно-піщаному розчині	250 і більше	10	0,56
3	Штукатурка	15	10	0,027
4	Клеючий розчин	15	10	0,027
5	Мінеральні плити (густина 135-150 кг/м ³)	50	10	5
6	Тинькування	15	10	0,027

γ_z, γ_v - питома вага відповідно зовнішнього та внутрішнього повітря, Н/м³;

v - максимальна із середніх швидкостей вітру за румбами за січень, м/с, повторюваність яких складає 16 % та більше, прийнята згідно зі ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010;

β_v - коефіцієнт, що враховує зміну швидкості повітря за висотою будівлі, який приймається згідно з таблицею 2 ДСТУ Б В.2.6-191:2013 при місцевості з розташованими будинками понад 10 м становить близько 0,58.

- для 1-го поверху:

$$\Delta p = (7,5 - 0,5 \cdot 3,3) \cdot (13,8 - 11,7) + 0,03 \cdot 13,8 \cdot 3^2 \cdot 0,58 = 14,4 \text{ Па.}$$

Визначаємо масову повітропроникність шарів конструкції визначають за формулою: $G^{\Delta p} = G^{\Delta p 0} \cdot (\Delta p / \Delta p_0)^n$

де n – показник фільтрації, за відсутності даних приймається: для утеплювачів із мінеральної вати – 1,5; для цегляної кладки – 0,8; для вікон та дверей – 0,67.

Таблиця 11 Розрахунок масової повітропроникності (тип-1)

п/п	Назва і-го шару конструкції	Повітропроникність $G^{\Delta p 0}$, кг/(м ² ·год)	n	Різниця тиску Δp для 1-го поверху, Па	Повітропроникність $G^{\Delta p}$ для 1-го поверху, кг/(м ² ·год)
	Внутрішня штукатурка	0,07	0,8	14	0,094
	Керамічна цегла на цементно-піщаному розчині	0,56	0,8	14	0,7497
	Штукатурка	0,027	0,8	14	0,036
	Клеючий розчин	0,027	0,8	14	0,036
	Мінеральні плити (густина 135-150 кг/м ³)	5	1,5	14	8,640
	Тинькування	0,027	0,8	14	0,036

Таблиця 12 Розрахунок масової повітропроникності (тип-2)

п/п	Назва і-го шару конструкції	Повітропроникність $G_{\Delta p_0}$, кг/(м ² -год)	n	Різниця тиску Δp для 1-го поверху, Па	Повітропроникність $G_{\Delta p}$ для 1-го поверху, кг/(м ² -год)
	Внутрішня штукатурка	,070	0,8	14	0,094
	Керамічна цегла на цементно-піщаному розчині	5	0,8	14	6,6936
	Штукатурка	,0270	0,8	14	0,36
	Клеючий розчин	,0270	0,8	14	0,36
	Мінеральні плити (густина 135-150 кг/м ³)	5	0,5	14	8,640
	Тинькування	,0270	0,8	14	0,36

Масова повітропроникність стінового огороження визначається за формулою:

$$G^K = \left(\sum_{i=1}^n \frac{n_i}{G_i^{\Delta p}} \right)^{-1} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i / d}{G_i^{\Delta p}} \right)^{-1}$$

де δ_i – товщина і-го матеріалу багат шарового огороження, м;

d – товщина зразка матеріалу для якого здійснювалися випробування повітропроникності, м;

Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата
-----	--------	------	---	-------	------

Таблиця 13 Розрахунок масової повітропроникності конструкції (тип-1)

п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщи на випробування d, мм	Т овщина, мм	Повітро проникність $1/G_i^{\Delta p}$ для 1-го поверху, ($m^2 \cdot год$)/кг
	Внутрішня штукатурка	15	0 2	14,23
	Керамічна цегла на цементно-піщаному розчині	250 і більше	50 2	1,334
	Штукатурка	15	0 2	36,934
	Клеючий розчин	15	0 1	18,467
	Мінеральні плити (густина 135-150 кг/м ³)	50	50 1	0,347
	Тинькування	15	0 1	18,467
Сума:				89,779
G^k , кг/(м ² ·год)				0,0111

Таблиця 14 Розрахунок масової повітропроникності конструкції (тип-2)

п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщи на випробування d, мм	Т овщина, мм	Повітро проникність $1/G_i^{\Delta p}$ для 1-го поверху, ($m^2 \cdot год$)/кг
	Внутрішня штукатурка	15	0 2	14,23
	Керамічна цегла на цементно-піщаному розчині	120	20 1	0,149
	Штукатурка	15	0 2	36,934
	Клеючий розчин	15	0 1	18,467
	Мінеральні плити (густина 135-150 кг/м ³)	50	50 1	0,347

	Тинькування	15	0 ¹	18,467
Сума:				88,594
G^K , кг/(м ² ·год)				0,0113

Нормативна масова повітропроникність стін згідно таблиці 1 ДСТУ Б В.2.6-191:2013 становить: $G^K = 0,4$ кг/(м²·год), як впливає з вищенаведеного розрахунку повітропроникність не перевищує допустимого значення.

3.4.2 Розрахунок масової повітропроникності віконних блоків

Віконні блоки виконані із ПВХ-профілів та заповнені двокамерними склопакетами – повітропроникність віконного блоку при різниці тисків $\Delta p = 100$ Па становить 27 м³/(м²·год) для вікон класу В, 9 м³/(м²·год) для вікон класу Г та 3 м³/(м²·год) для вікон класу Д згідно ДСТУ Б В.2.6-23:2009, показник режиму фільтрації $n = 2/3$ (0,67). Коефіцієнт, що враховує зміну швидкості повітря – 0,58.

Питома вага зовнішнього та внутрішнього повітря розрахована в п. 3.4.1.

Визначаємо розрахункову різницю тисків Δp , Па:

$$\begin{aligned} - \text{ для 1-го поверху: } \Delta p &= (7,5 - 1,805) \cdot (13,8 - 11,7) + \\ &0,03 \cdot 13,8 \cdot 3 \cdot 0,58 \\ &= 14,1 \text{ Па.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ для 2-го поверху: } \Delta p &= (7,5 - 5,205) \cdot (13,8 - 11,7) + 0,03 \cdot 13,8 \cdot 3 \cdot 0,58 = \\ &= 7,0 \text{ Па.} \end{aligned}$$

Визначаємо об'ємну повітропроникність віконного блоку за формулою:

$$Q^{\Delta p} = Q^{\Delta p 100} \cdot (\Delta p / \Delta p_{100})^n$$

- для 1-го поверху: $Q^{\Delta p} = 9 \cdot (14,1 / 100)^{2/3} = 2,44$ м³/(м²·год).
- для 2-го поверху: $Q^{\Delta p} = 9 \cdot (7 / 100)^{2/3} = 1,53$ м³/(м²·год).

Визначаємо густину зовнішнього повітря:

$$\rho_3 = 353 / (273 + t_3) = 353 / (273 + (-22)) = 1,41 \text{ кг/м}^3;$$

							Арк.
							59
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата	ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ	

Визначаємо масову повітропроникність віконного блоку:

$$G^K = Q^{\Delta p} \rho_3$$

- для 1-го поверху: $G^K = 2,44 \cdot 1,41 = 3,44 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$.
- для 2-го поверху: $G^K = 1,53 \cdot 1,41 = 2,16 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$.

Нормативна масова повітропроникність віконних блоків згідно таблиці 1 ДСТУ Б В.2.6-191:2013 становить: $G_K = 4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, отже розрахункова повітропроникність не перевищує допустимого значення при встановленні вікон класу Г згідно ДСТУ Б В.2.6-23:2009.

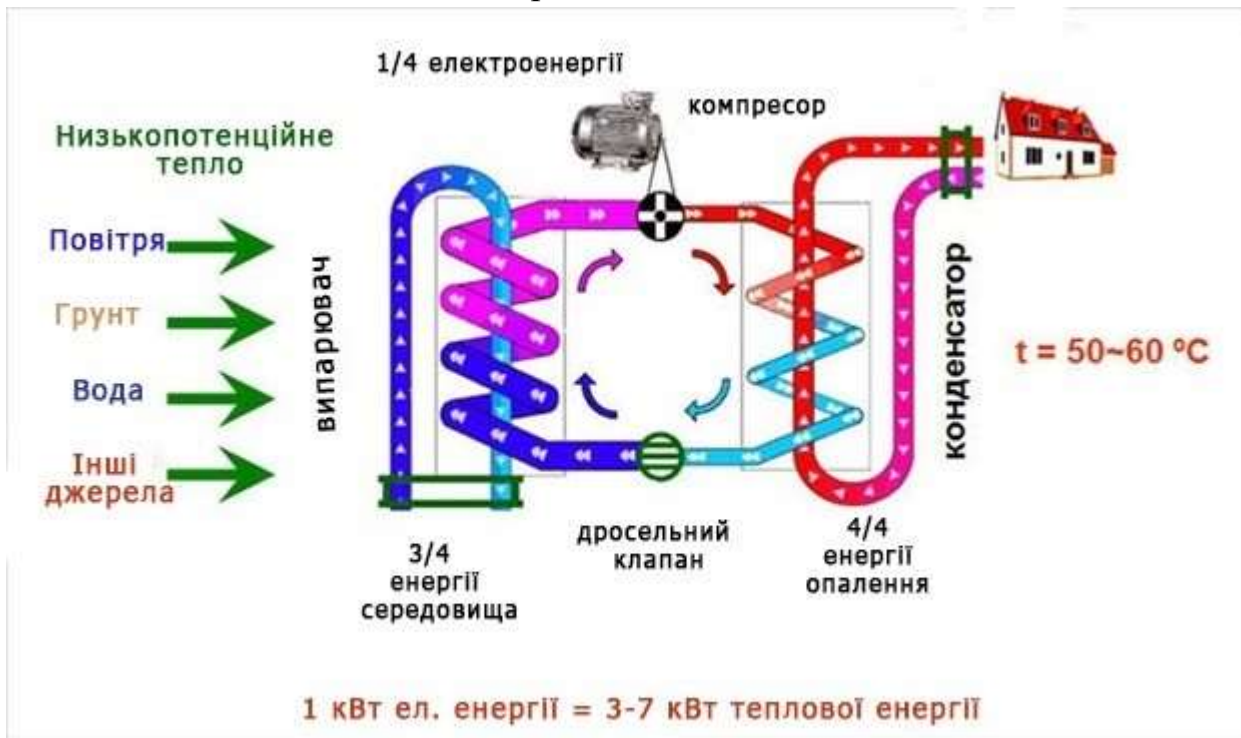
4. Тепломеханічна схема комбінованого джерела теплоти

Обґрунтування тепломеханічної схеми комбінованого джерела теплоти з повітряним тепловим насосом типу "спліт", електронагрівачем, буферною ємністю, геліосистемою та бівалентним бойлером непрямого нагріву. Комбіноване джерело теплоти, що проєктується включає такі основні елементи:

- Повітряний тепловий насос типу "спліт" (зовнішній і внутрішній блоки); Тепловий насос типу «повітря–вода» спліт-системи складається з зовнішнього та внутрішнього блоків, з'єднаних фреоновою магістраллю. У зовнішньому блоці знаходиться компресор, вентилятор і теплообмінник-випарник, тоді як у внутрішньому розташовано конденсатор, гідравлічну групу, електронагрівач, розширювальний бак і систему автоматики. Принцип його роботи полягає у тому, що вентилятор подає зовнішнє повітря до випарника, де холодоагент забирає тепло, навіть при низьких температурах. Після цього компресор стискає газ, підвищуючи його температуру, і гарячий холодоагент подається до внутрішнього блоку, де у конденсаторі передає тепло системі опалення. Далі охолоджений холодоагент повертається назад, і цикл повторюється. Така система може забезпечувати не лише опалення, а й охолодження приміщень у літній період за умови реверсивної конфігурації. У порівнянні з моноблоком, спліт-система має важливу перевагу у вигляді надійного захисту від замерзання, оскільки водяний контур розташований всередині будівлі. Водночас монтаж вимагає участі сертифікованого спеціаліста з фреонових систем. Моноблок є більш компактним і простим у встановленні, бо вся холодильна частина, включно з гідравлікою, інтегрована у зовнішній блок. Але водяна магістраль проходить просто на вулиці, що створює ризик замерзання без спеціальних заходів. Моноблок зручний у

						ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ	Арк.
							60
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата		

випадках, коли в будинку обмежене місце або потрібен швидкий монтаж. Спліт-система краще підходить для будівель з технічними приміщеннями, де можна захистити гідравліку від холоду та інтегрувати внутрішній блок у складніші системи опалення й гарячого водопостачання.

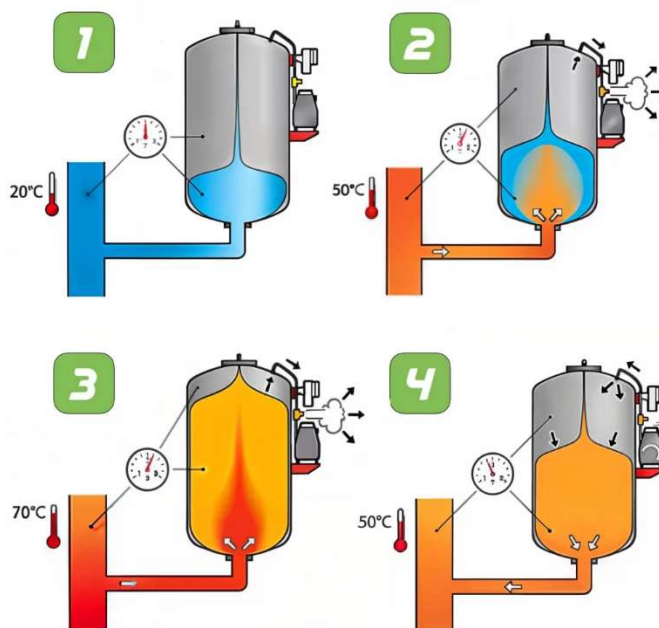


Схематичне зображення принципу роботи теплового насоса

- Вбудований електронагрівач у гідромодулі теплового насоса; Електричний нагрівач у системі з тепловим насосом виконує кілька важливих функцій, які забезпечують надійність, безперебійність та гнучкість роботи опалення. Його основне завдання — резервне або додаткове джерело тепла у випадках, коли теплова потужність самого теплового насоса є недостатньою для покриття теплового навантаження будинку. Це зазвичай трапляється при дуже низьких зовнішніх температурах, коли ефективність насоса падає, а потреба в теплі зростає. У таких умовах електричний нагрівач автоматично вмикається і забезпечує додаткове нагрівання води в системі, підтримуючи комфортну температуру в приміщеннях. Крім того, електронагрівач використовується для так званого антифризного захисту. Якщо зовнішній блок встановлений у холодному середовищі, а система тривалий час перебуває у вимкненому стані, нагрівач може короткочасно активуватись для запобігання замерзанню теплоносія. Також він виконує функцію підтримки температури гарячої води у бойлері, коли тепловий насос працює у пріоритеті на опалення

Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата

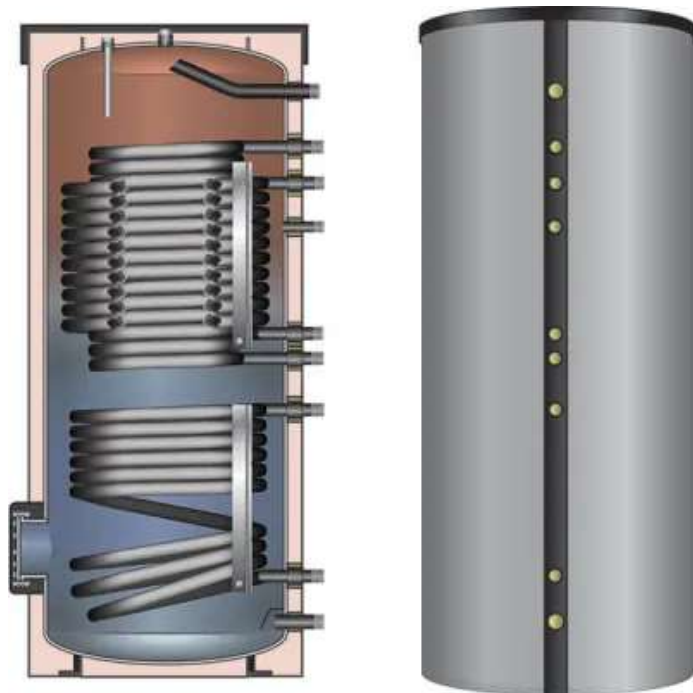
а без можливості компенсувати це збільшення об'єму виникає підвищений тиск, який може пошкодити трубопроводи, радіатори або інше обладнання. Розширювальний бак приймає цей додатковий об'єм рідини, тим самим підтримуючи стабільний тиск у системі.



Принцип роботи розширювального баку системи опалення

- Бівалентний бойлер непрямого нагріву для гарячого водопостачання (ГВП); Бівалентний бак непрямого нагріву в такій схемі виконує функцію ефективного накопичувача гарячої води, який використовує два джерела тепла — тепловий насос і геліосистему. Основне завдання бака — забезпечити стабільне гаряче водопостачання навіть у випадках, коли тепловий насос не здатен повністю покрити потреби будинку, наприклад, при низьких температурах або пікових навантаженнях. Вода в баку нагрівається через теплообмінник, підключений до теплового насоса, а додатковий теплообмінник, інтегрований з геліосистемою, використовує сонячну енергію для підігріву води. Геліосистема, як додаткове джерело тепла, дозволяє знизити споживання електроенергії тепловим насосом, особливо в сонячні дні, підвищуючи загальну енергоефективність і економічність системи. Така комбінація дає змогу максимально використовувати відновлювані джерела енергії, зменшуючи витрати на опалення та гаряче водопостачання, а також забезпечує безперебійний комфорт для мешканців будинку.

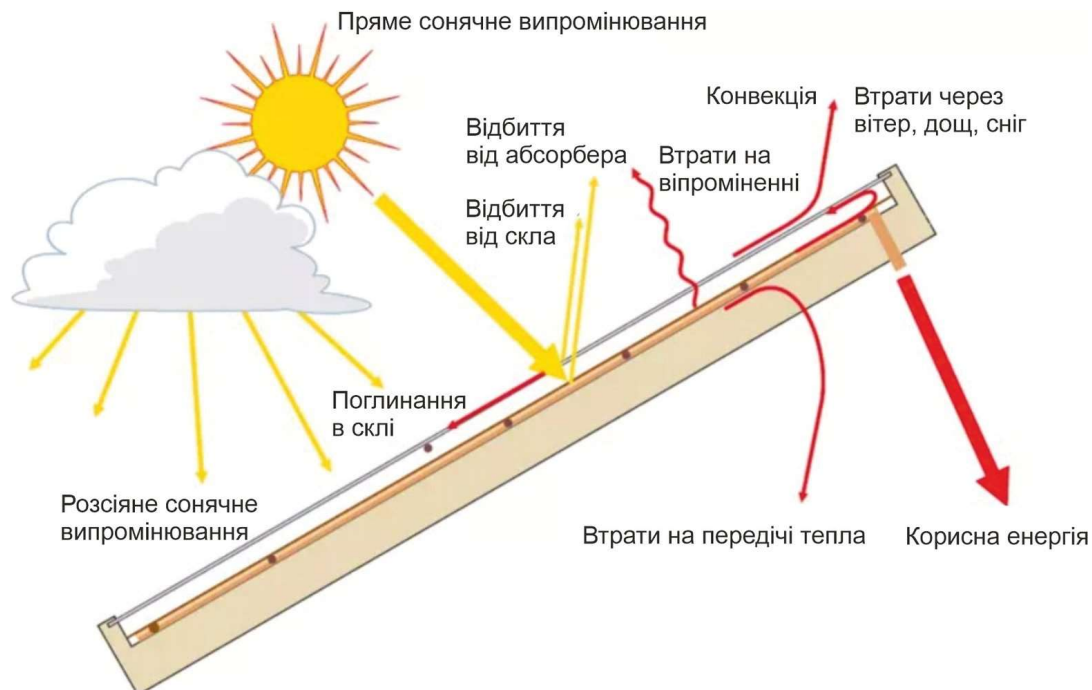
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата



Приклад бівалентного баку непрямого нагріву для системи ГВП

- Геліосистема з плоскими або вакуумними колекторами, підключена до одного з теплообмінників бойлера. Геліосистема в цій схемі працює як додаткове джерело тепла для нагріву води в бівалентному баку непрямого нагріву, максимально використовуючи сонячну енергію для зменшення навантаження на тепловий насос. Сонячні колектори, розташовані на даху або іншій сонячно освітленій поверхні, збирають тепло від сонячного випромінювання і передають його теплоносію, який циркулює через колектори. Цей нагрітий теплоносій проходить через теплообмінник, вмонтований у бак гарячої води, передаючи накопичене тепло безпосередньо воді в баку.

Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата



Схематичне зображення принципу роботи плоского геліоколектора

Принцип дії системи: основним джерелом теплоти в системі є повітряний тепловий насос, що використовує зовнішнє повітря як джерело низькопотенційного тепла. Система працює за принципом переносу теплоти від повітря до теплоносія (вода), яка циркулює у контурі опалення або системі ГВП. Тепловий насос типу "спліт" складається з: зовнішнього блоку з випарником та компресором, який забирає тепло з повітря, внутрішнього гідромодуля, що містить конденсатор, циркуляційний насос і вбудований електронагрівач, який активується під час пікових навантажень або при зниженні ефективності ТН на тлі низьких температур.

Буферний бак виконує кілька важливих функцій:

- Забезпечує стабільну роботу теплового насоса, зменшуючи кількість його включень/вимкнень;
- Служить гідравлічним роздільником між генераторною частиною (ТН + електронагрівач) і споживачами теплоти;
- Дозволяє накопичувати тепло в нічний час або при наявності надлишку від геліосистеми.

Гаряче водопостачання забезпечується бівалентним бойлером непрямого нагріву, який містить два вбудовані теплообмінники. Нижній теплообмінник з'єднаний з геліосистемою — використовується в першу чергу; Верхній теплообмінник — з'єднаний з тепловим насосом або буферною

Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата

ємністю, для догріву води до необхідної температури. Пріоритет надається геліосистемі, що дозволяє зменшити споживання електроенергії та підвищити загальну енергоефективність системи.

У періоди високого теплового навантаження (наприклад, при низьких температурах зовнішнього повітря або підвищеному споживанні ГВП), тепловий насос може працювати в парі з вбудованим електронагрівачем. Електронагрівач автоматично активується, коли тепла потужність ТН є недостатньою. Це забезпечує надійне покриття теплового навантаження та безперебійну роботу системи в умовах підвищених потреб.

Система керується автоматичною погодозалежною логікою:

- Визначення режиму роботи (опалення, ГВП, резервний догрів);
- Керування перемиканням джерел теплоти (геліосистема, ТН, електронагрівач);
- Моніторинг температур у баках, подаючому та зворотному трубопроводах;
- Запобігання перегріву або охолодженню буферного баку і бойлера.

8. Переваги системи

- Енергоефективність завдяки основному використанню повітряного теплового насоса;
- Зниження витрат на енергію через інтеграцію геліосистеми;
- Гнучкість і надійність завдяки резервуванню електронагрівачем;
- Стабільна робота та довговічність обладнання завдяки буферній ємності;
- Комфортне ГВП без ризику недостатку гарячої води.

4.1. Визначення потужності теплового насоса

Підбір теплового насоса типу повітря–вода для житлового будинку загальною площею 200 м² із урахуванням теплового навантаження проводиться на основі розрахункових тепловтрат будівлі. Загальне правило орієнтовного розрахунку для сучасних добре утеплених будинків передбачає теплове навантаження в межах 40–60 Вт/м². Для будинків із стандартною теплоізоляцією можна приймати середнє значення близько 50 Вт/м², отже, добуток 200 м² × 50 Вт/м² дає орієнтовне теплове навантаження 10 кВт. У регіонах з холоднішим кліматом або в будинках із меншими енергозберігаючими властивостями цей показник може сягати 60–70 Вт/м², що

e — коефіцієнт розширення (для води від 10 до 80°C ≈ 0.043)

$p_{\text{поч}} = 1.0 \text{ бар}$, $p_{\text{макс}} = 2.5 \text{ бар}$

$$V_{\text{розш}} = \frac{500 \cdot 0.043}{2.5 - 1.0} \approx 14.3 \text{ л}$$

Приймаємо розширювальний бак на 18–25 л (з запасом)

Сумарна потужність електроспоживання

Тепловий насос COP $\sim 3.5 \rightarrow$ електрична потужність $\approx 3.7 \text{ кВт}$

Електронагрівач = до 6 кВт

Насоси, автоматика, геліосистема = $\sim 0.5 \text{ кВт}$

Максимальне споживання електроенергії становить:

$$P_{\text{макс}} \approx 3.7 + 6 + 0.5 = 10.2 \text{ кВт}$$

Елемент	Розраховане значення
Теплова потужність ТН	13 кВт
Площа будинку	$\approx 215 \text{ м}^2$
Буферна ємність	300–400 л
Розширювальний бак	18–25 л
Бойлер ГВП	200–300 л (бівалентний)
Електронагрівач	3–6 кВт
Геліосистема	3–4.5 м ² колекторів
Макс. ел. споживання системи	$\approx 10 \text{ кВт}$

4.3. Система опалення та вентиляції

Системи, що розглядаються:

Система опалення комбінованого типу — тепла підлога + радіатори;

Система вентиляції — механічна витяжка + природний приплив повітря.

Опалення виконується водяною системою з теплою підлогою в зонах постійного перебування (вітальня, кухня, санвузли); Радіаторами в спальнях, кабінетах, технічних кімнатах і на сходових майданчиках. Нагрітий теплоносій циркулює трубопроводами і передає тепло до: контуру теплої підлоги (низькотемпературний контур 30–45°C) та контуру радіаторів (виськотемпературний контур 55–70°C);

Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата

Температурна диференціація досягається через триходові змішувальні клапани з сервоприводами або окремими колекторами.

Теплова потужність опалювальних приладів при прийнятому температурному графіку повинна забезпечувати підтримання температури $+20\dots+22^{\circ}\text{C}$ в житлових кімнатах при -22°C зовнішнього повітря;

Гідравлічне балансування є обов'язковим для ефективною та рівномірної роботи. Матеріали: труби теплої підлоги — поліетилен з антикисневим бар'єром (PE-Xa або PE-RT), ізоляція труб — спінений поліетилен. Регулювання системи опалення відбуватиметься завдяки термостатичним радіаторним клапанам. Вони встановлюються на кожному радіаторі, дозволяють регулювати температуру в окремих кімнатах. В свою чергу кімнатні термостати будуть пов'язані з сервоприводами колекторів теплої підлоги та контролюватимуть температуру підлоги в кожному приміщенні;

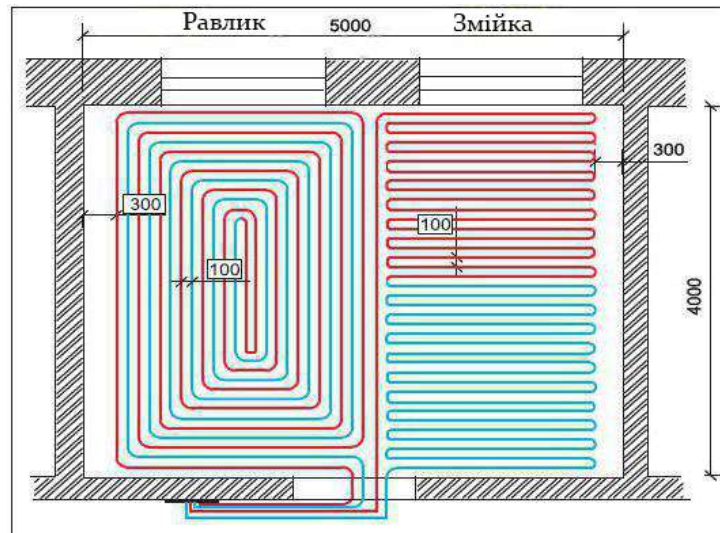
Система вентиляції передбачає механічне видалення відпрацьованого повітря з приміщень кухні, санвузлів та технічного приміщення.

Приплив передбачається природний через вікна та стінові провітрювачі. Таким чином забезпечується повітрообмін при якому повітря рухається від "чистих" зон (житлові кімнати) до "забруднених" зон (санвузли, кухня), забезпечуючи вентиляційний баланс.

4.4. Вибір оптимальної системи опалення

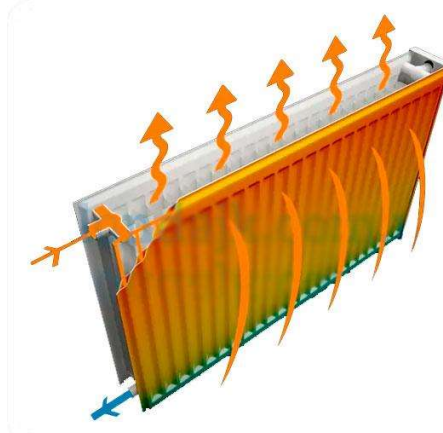
Вибір оптимальної системи опалення для житлового двоповерхового будинку площею 200 м^2 залежить від архітектурних особливостей, рівня теплоізоляції, типу джерела теплоти, а також від вимог комфорту та економічної ефективності. Серед основних варіантів розглядаються тепла підлога, настінні радіатори, внутрішньопідлогові конвектори та так звані теплі стіни. Кожна з цих систем має свої переваги та обмеження.

Тепла підлога забезпечує рівномірний розподіл температури по приміщенню і створює найвищий рівень теплового комфорту, оскільки тепло подається знизу вгору. Вона ідеально підходить для низькотемпературних джерел тепла, таких як тепловий насос. Серед її переваг — відсутність видимих приладів, можливість точної зональної регуляції та зниження витрат на опалення. Проте вона має інерційний характер, тобто довго виходить на режим і повільно реагує на зміну температурних потреб. Також її монтаж неможливий під деякими типами підлогових покриттів або в зонах з великою щільністю меблів.



Варіанти виконання системи внутрішньопідлогового опалення

Сталеві панельні радіатори забезпечують швидкий тепловідгук і зручні для приміщень з періодичним обігрівом, наприклад, спальень. Їх легко регулювати за допомогою термостатичних головок і вони прості в монтажі. Проте вони створюють вертикальну конвекцію, яка спричиняє різницю температур між рівнем підлоги та стелі. Крім того, вони не завжди естетично вписуються в сучасні інтер'єри.

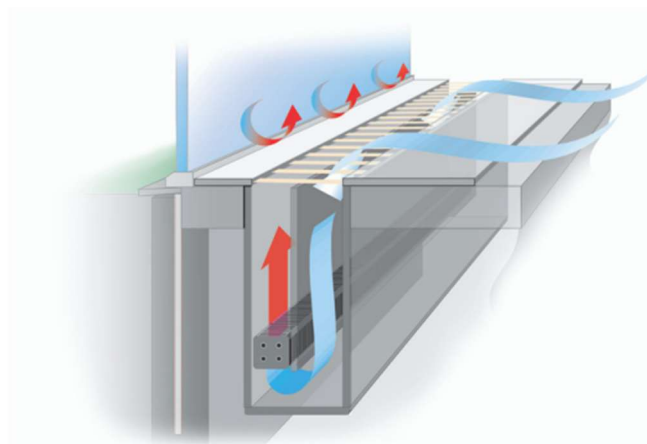


Принцип роботи сталевого панельного опалювального приладу

Внутрішньопідлогові конвектори ефективні перед заксленими фасадами та панорамними вікнами, де потрібна тепла завіса для запобігання конденсації і втрат тепла. Вони займають мало простору у приміщенні, але мають нижчу інерційність і більшу вартість встановлення, а також не завжди

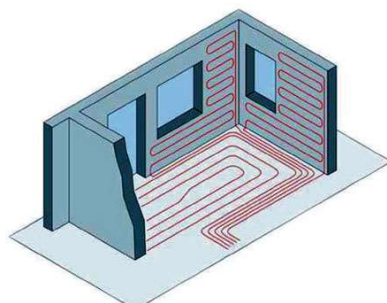
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата

забезпечують достатню теплову потужність при низькотемпературному режимі.



Принципова схема внутрішньопідлогового конвектора

Система теплих стін — це рідше застосовуване рішення, при якому трубки монтується у штукатурці зовнішніх або внутрішніх стін. Вона забезпечує комфортне інфрачервоне тепло, однак значно складніша в монтажі та регулюванні, особливо при переплануваннях або в ремонті. Також її ефективність знижується при розміщенні меблів вздовж зовнішніх стін.



Приклад виконання системи «теплих стін»

З урахуванням вищезазначеного, найдоцільніше застосувати комбіновану систему опалення: теплу підлогу в зонах постійного перебування (вітальня, кухня, санвузли, коридори) та радіатори в приміщеннях з індивідуальними потребами обігріву (спальні, дитячі, кабінет). Такий підхід дозволяє максимально ефективно використати переваги кожного з типів обігріву — поєднати комфорт теплого низькотемпературного обігріву підлоги з динамічністю і гнучкістю регулювання радіаторів. Комбінована система також оптимально працює з тепловим насосом типу «повітря-вода»,

Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата

забезпечуючи економне споживання енергії та комфортні умови в усіх зонах будинку.

4.5. Підбір обладнання

Компоненти системи вентиляції

Витяжні вентилятори монтуються в шахти або повітроводи. Продуктивність вентиляторів становить 60–120 м³/год залежно від призначення приміщення. Вентилятори оснащуються таймерами.;

Повітроводи з пластику. Припливні клапани монтуються у верхній частині вікон або в стіни, оснащуються регулюючими заслінками або гігроскопічними вставками для автоматичного дозування припливу.

Вимоги до вентиляції:

Кратність повітрообміну згідно становить з ДБН В.2.5-67:2013:

Житлові кімнати: 0.5–1.0 об'єму/год;

Кухня: 60–90 м³/год;

Санвузол: 25–50 м³/год;

Для житлового будинку площею 200 м² із комбінованою системою опалення (радіатори + тепла підлога) проведемо орієнтовний розрахунок потужності та підбір радіаторів, довжини труб і тепловіддачі підлоги. В розрахунках приймаємо, що 60% теплового навантаження покриває тепла підлога, а 40% – радіатори. Висота стель – 2.7 м, коефіцієнт тепловтрат – близько 40 Вт/м² (сучасний добре утеплений будинок).

Загальна тепла потреба орієнтовно становить:

$$40 \text{ Вт/м}^2 \times 200 \text{ м}^2 = 8\,000 \text{ Вт (8 кВт)}$$

Розподіл потужності між системами Тепла підлога (60%):

$$0.6 \times 8\,000 = 4\,800 \text{ Вт}$$

Радіатори (40%):

$$0.4 \times 8\,000 = 3\,200 \text{ Вт}$$

Тепла підлога – тепловіддача та довжина труб. Приймаємо середню тепловіддачу: 80 Вт/м² при температурі подачі 35–40°C.

Необхідна площа теплої підлоги:

$$4800 \text{ Вт} / 80 \text{ Вт/м}^2 = 60 \text{ м}^2$$

(Решта площі – санвузли, кухня, коридори, вітальня, частково спальні)

Витрата труби (крок 15 см): 1 м² = приблизно 6.7 м

Загальна довжина:

$$60 \text{ м}^2 \times 6.7 \text{ м} = 402 \text{ м труби}$$

Приймаємо із запасом: ≈ 420 м труби (PEX 16×2)

																				Арк.	
																					72
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата																

Радіаторне опалення – підбір сталевих панельних радіаторів
Температурний режим: 55/45/20°C (знижений, для роботи з тепловим насосом).

Середня теплова потужність сталевих радіаторів типу 22 (висота 500 мм):
приблизно 90–100 Вт/м. Приймаємо опалювальні прилади у спальнях

$3 \times 600 \text{ Вт} = 1\,800 \text{ Вт} \rightarrow 3$ радіатори по 1000 мм

У кабінеті та дитячій кімнаті:

$2 \times 500 \text{ Вт} = 1\,000 \text{ Вт} \rightarrow 2$ радіатори по 800 мм

Хол + сходові клітки: 400 Вт \rightarrow 1 радіатор 600 мм

Всього: 6–7 радіаторів типу 22, висота 500 мм, довжини від 600 до 1200 мм

При двотрубній схемі, сумарна довжина подаючих і зворотних труб: орієнтовно 100–120 м, труба РЕХ або металополімер D16–D20. Ізоляція обов’язкова в холодних зонах або при проходженні через неутеплені ділянки.

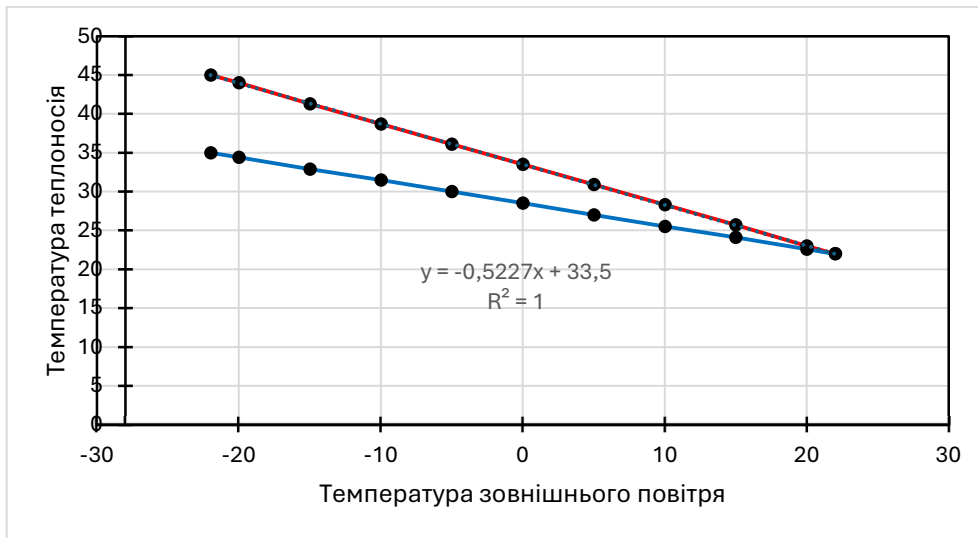
Для обігріву даного будинку площею 200 м² з тепловим навантаженням 8 кВт встановлюється тепла підлога на площі ~ 60 м² з трубами довжиною 420 м, та близько 7 сталевих панельних радіаторів загальною довжиною 33–35 м. Довжина магістральних трубопроводів — до 120 м. Така система дозволяє ефективно працювати на низькотемпературному режимі сумісно з тепловим насосом.

Приймаємо температурний графік системи опалення 45/35°C. Проводимо розрахунок середньої температури теплоносія для кожного місяця опалювального періоду, приймаючи середньомісячні температури зовнішнього повітря для першої кліматичної зони України за формулами:

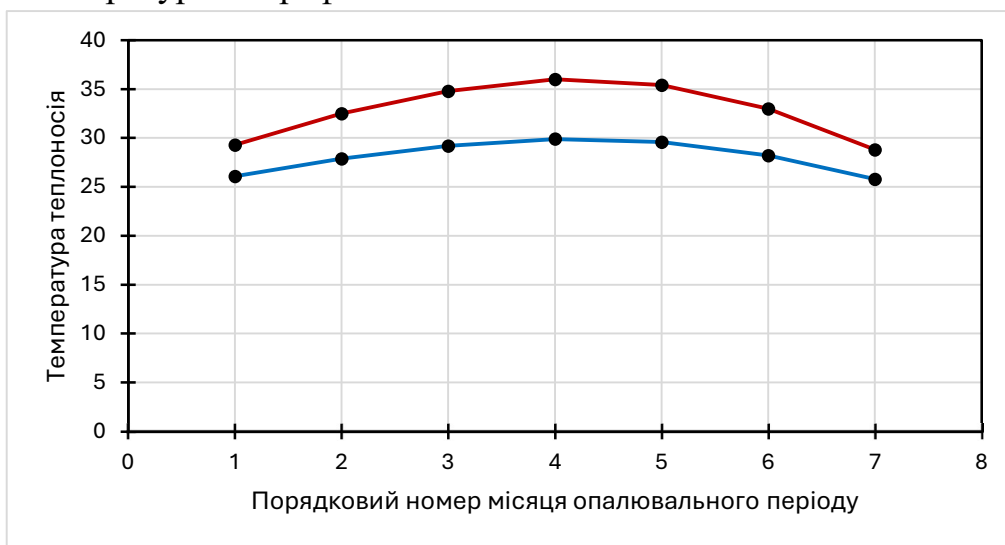
$$t_{\text{под}}^i = \frac{(t_{\text{out}}^i - t_{\text{out}})}{(t_{\text{in}} - t_{\text{out}})} \cdot (t_{\text{in}} - t_{\text{под}}) + t_{\text{под}}$$

$$t_{\text{зв}}^i = \frac{(t_{\text{out}}^i - t_{\text{out}})}{(t_{\text{in}} - t_{\text{out}})} \cdot (t_{\text{in}} - t_{\text{зв}}) + t_{\text{зв}}$$

							ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата			73



Температурний графік системи опалення



Розрахункова зміна температури теплоносія в системі опалення по місяцям

Для житлового двоповерхового будинку площею 200 м², який включає в себе вітальню, кухню, санвузли, коридори, спальні, дитячі кімнати і кабінет, система вентиляції повинна забезпечувати подачу свіжого повітря у житлові приміщення та ефективно видалення відпрацьованого повітря з зон з підвищеною вологістю та запахами. Прийнята схема передбачає механічну витяжку з кухні та санвузлів і природний приплив повітря через вентиляційні клапани у віконних рамах або стінах.

Розрахунок вентиляції виконується на основі кратності повітрообміну та/або питомої витрати повітря на людину. Для житлових приміщень мінімальна норма подачі свіжого повітря складає 30 м³/год на людину, або ж

згідно з ДБН В.2.5-67:2013 — 0.3–1.0 крат на годину в залежності від призначення кімнати. У нашому випадку передбачається постійне проживання 4 осіб.

Для спальні, дитячої та кабінету — основних житлових приміщень — розрахунок подачі свіжого повітря базується на кількості людей. Наприклад, якщо у будинку є 3 спальні, кожна розрахована на 1–2 особи, то приймаємо подачу по 60 м³/год на кімнату. Кабінет і вітальню (яка може одночасно слугувати зоною перебування для кількох осіб) приймаємо по 60–90 м³/год. Таким чином, загальна потреба у припливному повітрі для житлових кімнат становить приблизно 240–300 м³/год.

Механічна витяжка реалізується з кухні, санвузлів та гардеробних. На кухню згідно з нормами подається або витягується мінімум 90–100 м³/год повітря, а під час приготування їжі — до 200 м³/год (це враховується через потужність витяжки, але для вентиляції приймаємо 100 м³/год). Санвузли потребують від 25 до 50 м³/год кожен, тому для двох санвузлів беремо сумарно 80–100 м³/год. Якщо передбачено окрему гардеробну, можна додати ще 15–20 м³/год витяжки.

Загальна витяжка складає приблизно 200–220 м³/год, а приплив — на рівні 250–300 м³/год, що дозволяє створити невеликий надлишковий тиск у житлових зонах, який сприятиме переміщенню повітря до зон витяжки через дверні решітки або зазори під дверима.

Таким чином, система вентиляції забезпечує безперервний повітрообмін з оптимальними витратами, не допускає накопичення вологи, вуглекислого газу, запахів та інших забруднень. Природний приплив через віконні клапани має бути рівномірно розподілений між кімнатами відповідно до розрахункових об'ємів. У разі потреби вищого контролю мікроклімату або рекуперації тепла, можливо передбачити централізовану вентиляційну установку з рекуператором, що дозволить суттєво знизити тепловтрати при вентиляції.

5 Техніко-економічне обґрунтування

Техніко-економічне обґрунтування є ключовим етапом будь-якого інженерного проекту, особливо якщо йдеться про впровадження сучасних систем енергозабезпечення житлових будинків. Його мета полягає в оцінці доцільності застосування тих чи інших технологій з точки зору ефективності, надійності, вартості монтажу, експлуатаційних витрат та строку окупності. У

								Арк.
								75
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата	ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ		

розвитку. Цей підхід забезпечує гнучкість, адаптивність до сезонних змін навантаження, знижує залежність від викопних джерел енергії та відповідає сучасним вимогам до енергоефективного та екологічно чистого будівництва.

Етап техніко-економічного обґрунтування є одним із найважливіших у процесі розроблення інженерного проєкту, оскільки саме на цьому етапі відбувається перевірка реальної доцільності впровадження запропонованих технічних рішень. Його значення полягає не лише в тому, щоб оцінити вартість реалізації системи, а й у визначенні ефективності її експлуатації, терміну окупності інвестицій, обсягів енерговитрат і потенційної економії в порівнянні з альтернативними варіантами.

У рамках проєкту систем опалення та вентиляції для індивідуального житлового будинку, де застосовується сучасне комбіноване джерело теплоти на базі повітряного теплового насоса, електронагрівача та геліосистеми, техніко-економічне обґрунтування дозволяє не лише підтвердити раціональність таких рішень, а й оптимізувати їхній склад, підібрати обладнання з урахуванням бюджету, кліматичних умов і особливостей будівлі. Особливу увагу приділено визначенню доцільності використання саме теплового насоса як основного джерела тепла, адже його ефективність суттєво залежить від правильної інтеграції з іншими елементами системи.

Важливість цього етапу також у тому, що він дозволяє замовнику об'єктивно оцінити фінансові наслідки реалізації проєкту та зробити обґрунтований вибір на користь енергоефективних рішень. Техніко-економічне обґрунтування фактично поєднує технічну частину з економічною, формуючи комплексну картину майбутньої експлуатації системи. Воно слугує аргументованою базою для ухвалення рішень, складання бюджету, планування етапів будівництва і пошуку джерел фінансування. Без цього етапу будь-яке, навіть найсучасніше рішення, може виявитися економічно необґрунтованим або нерентабельним у довгостроковій перспективі.

5.1 Розрахунок терміну окупності

Приблизна вартість вартість 1 кВт потужності теплового насосу приймаємо 40000 грн/кВт. Отже, тепловий насос із номінальною потужністю 13 кВт матиме вартість:

$$C_{TH} = 13 \cdot 40000 = 520000 \text{ грн.}$$

Вартість монтажу приймаємо рівною $C_M = 100000$ грн. Вартість гідравлічної частини розраховуємо за формулою:

$$C_r = 520000 * 0,2 + 60000 = 164000 \text{ грн.}$$

Тобто орієнтовні капітальні вкладення становлять:

$$\sum C = 520000 + 100000 + 164000 = 784000 \text{ грн.}$$

Як альтернативу комбінованому джерелу теплоти для порівняння приймаємо електричний котел. Прийmemo загальні капітальні затрати на будівництво традиційного джерела теплоти з електричним котлом рівним 250000 грн. Вартість електроенергії приймаємо на рівні 4,32 грн/кВт*год.

Наступним кроком виконується розрахунок температури теплоносія в подавальному трубопроводі, що відповідатиме розрахованій середній температурі проміжку стояння зовнішньої температури:

$$t_{\text{под}}^i = \frac{(t_{\text{пр ст}}^i - t_{\text{out}})}{(t_{\text{in}} - t_{\text{out}})} \cdot (t_{\text{in}} - t_{\text{под}}) + t_{\text{под}}$$

де $t_{\text{под}}^i$ – температура в подавальній магістралі при температурі зовнішнього повітря $t_{\text{пр ст}}^i$, °С;

$t_{\text{пр ст}}^i$ – середня температура проміжку стояння, °С;

t_{out} – розрахункова температура зовнішнього повітря, °С;

t_{in} – розрахункова температура внутрішнього повітря в будівлі, °С;

$t_{\text{под}}$ – розрахункова температура теплоносія в подавальному трубопроводі системи опалення, °С.

Наступним кроком визначається навантаження системи опалення, що відповідає середній температурі кожного проміжку стояння за формулою:

$$Q'_i = Q \cdot \frac{t_{\text{in}} - t_{\text{пр ст}}^i}{t_{\text{in}} - t_{\text{out}}}$$

де Q'_i – потужність системи опалення при середній температурі проміжку стояння $t_{\text{пр ст}}^i$, кВт;

Q – розрахункова теплова потужність системи опалення при температурі зовнішнього повітря t_{out} , кВт;

t_{in} – температура внутрішнього повітря в будівлі, °С;

$t'_{\text{пр ст}}^i$ – середня температура проміжку стояння, °С;

t_{out} – розрахункова температура зовнішнього повітря, °С.

Далі розраховується кількість градусо-годин проміжку стояння за формулою:

$$m = (t'_{\text{пр ст}}^i + 273,15) \cdot \tau$$

де m – кількість градусо-годин періоду стояння, К*год;

$t'_{\text{пр ст}}^i$ – середня температура проміжку стояння, °С;

τ – тривалість стояння температур, год.

Усереднена потужність системи по періодам:

$$Q_{\text{пер } i} = Q \cdot \frac{t_{\text{in}} - t'}{t_{\text{in}} - t_{\text{out}}}$$

де $Q_{\text{пер } i}$ – усереднена потужність системи опалення періоду, кВт;

Q – розрахункова потужність системи опалення при температурі зовнішнього повітря t_{out} , кВт;

t_{in} – температура внутрішнього повітря, °С;

t' – усереднена температура періоду, °С;

t_{out} – розрахункова температура зовнішнього повітря, °С.

Розрахунок споживання теплової енергії системою виконується за формулою:

$$E = \tau_i \cdot Q_{\text{пер } i}$$

де E – споживання теплової енергії системою в період, кВт*год;

τ_i – тривалість стояння температур нижче точки бівалентності, год;

$Q_{\text{пер } i}$ – усереднена потужність системи опалення періоду з температурою нижче точки бівалентності, кВт.

Споживання теплової енергії системою в [Гкал]:

$$E'' = E' \cdot 3600 / C_v / 10^6$$

де E'' – споживання теплової енергії системою, Гкал;

E' – споживання теплової енергії системою, кВт*год;

C_v – теплоємність теплоносія, кДж/(кг К).

Вартість енергоносіїв спожитих для потреб системи опалення за опалювальний період розраховуються за формулами:

						ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ	Арк.
							79
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата		

вартість електричної енергії, спожитої за розрахунковий опалювальний період тепловим насосом:

$$V_{e/e} = \frac{E'}{COP} \cdot V_{ел}$$

де $V_{e/e}$ – вартість електричної енергії, грн/сезон;

E' – споживання теплової енергії системою за період з температурою вище точки бівалентності, кВт*год;

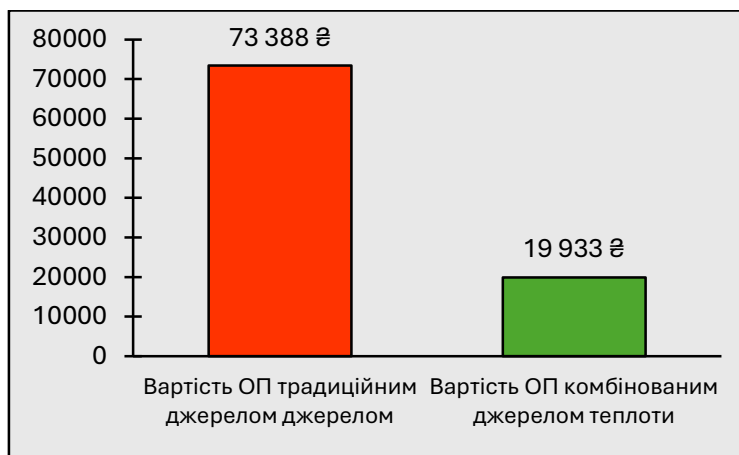
COP – середній коефіцієнт перетворення теплоти теплового насоса за період з температурою вище точки бівалентності;

$V_{ел}$ – вартість електричної енергії для населення, грн/кВт*год.

В результаті розрахунків було виявлено, що загальна кількість теплоти, що буде спожитою в середньому на потреби опалення будинку становить: 20790 кВт*год. При цьому для генерації даної кількості теплоти тепловим насосом буде в середньому спожито 5693 кВт*год електричної енергії.

А у випадку традиційного джерела теплоти з електричним котлом в середньому за сезон буде спожито 20790 кВт*год. При теперішній ціні на електроенергію економічний ефект від встановлення комбінованого джерела теплоти становитиме близько 50000 грн на рік. А отже термін окупності комбінованого джерела теплоти складає:

$$(784000 - 250000) / 50000 \approx 11 \text{ років}$$



Середня вартість теплоти за опалювальний період

								Арк.
								80
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата	ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ		

сезонному COP теплового насоса становить близько 3.5, що забезпечує низькі витрати на опалення у порівнянні з традиційними електричними котлами. Геліосистема дозволяє зменшити витрати на підігрів води в літній період до 60–100%. Резервне джерело тепла у вигляді електронагрівача дозволяє уникнути зупинок системи при пікових навантаженнях або аварійних ситуаціях.

Отже, результати розрахунків підтверджують, що спроектована система опалення та вентиляції відповідає сучасним вимогам до енергоефективності, екологічності, надійності та зручності в експлуатації. Завдяки оптимальному поєднанню теплового насоса, резервного електронагрівача та геліосистеми, забезпечується раціональне використання енергоресурсів, що у свою чергу формує сприятливі умови для швидкої окупності проекту та зменшення викидів парникових газів. Отримані результати можуть бути рекомендовані для впровадження в інших об'єктах індивідуального житлового будівництва.

						ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ	Арк.
Зм.	Кільк.	Арк.	№	Підп.	Дата		82

