

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад.
І.С. Гулого**

Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

«До захисту в ЕК»

Директор інституту

(підпис)

Сергій Блаженко

(ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис)

Валентин Петренко

(ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 144 Теплоенергетика

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Теплоенергетика та енергоефективні
технології»

на тему: **Інжиніринг систем теплозабезпечення енергоефективних
будинків**

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ТЕ-2-9М

Конченко Ігор Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник проф. Недбайло Олександр Миколайович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультант _____

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Рецензент к.т.н. Божко Ігор Костянтинович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Я, як здобувач Національного університету харчових технологій, розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

Здобувач _____

(підпис)

Київ – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім.акад. І.С.Гулого
Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 144 Теплоенергетика
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Теплоенергетика та енергоефективні
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЕХТ

проф. Валентин Петренко

“20” листопада 2023 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Конченка Ігора Миколайовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інжиніринг систем теплозабезпечення енергоефективних будинків

керівник роботи д.т.н., проф Недбайло О.М.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “20”11.2023 року № 940-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 06.02.2024 року

3. Вихідні дані до роботи матеріали переддипломної практики

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Світовий досвід та принципи створення енергоефективних та пасивних будинків

2 Аналіз теплотехнічного обладнання для енергоефективних будинків

3 Особливості проектування систем теплозабезпечення будинків ПТ

4 Моделювання режиму експлуатації повітряногрунтового теплообмінника для створення теплової завіси фасадних стін експериментального енергоефективного будинку

5. Аналіз енергетичної доцільності використання комібнованої системи теплозабезпечення на основі теплового насосу та геліоустановки

5. Перелік графічного матеріалу

презентація Power Point – 19 слайдів

АНОТАЦІЯ

Метою дослідження в магістерській дисертації є аналіз та оптимізація технічних рішень щодо підвищення енергетичної ефективності будинків різного призначення на основі використання відновлювальних джерел енергії.

Задачі дослідження.

Для досягнення поставленої мети розв'язувались наступні науково-практичні задачі: інформаційний огляд та аналіз світового досвіду з принципів створення енергоефективних будинків; аналіз світового ринку комбінованих геліотеплонасосних систем; визначити технічні особливості проектування систем теплозабезпечення енергоефективних будинків; провести математичне моделювання повітряно-грунтового теплообмінника для теплової завіси фасадних стін експериментального енергоефективного будинку.

Об'єктом дослідження є експериментальний енергоефективний будинок як повномасштабний натурний стенд.

Предметом дослідження є тепловий режим будинку, показники його енергоспоживання та складний теплообмін в системах теплозабезпечення будинку.

Наукова новизна одержаних результатів. В результаті виконаних розрахунків у програмному середовищі Ansys 14.0 параметрів повітряно-грунтового теплообмінника для теплової завіси фасадних стін експериментального енергоефективного будинку в холодний період року;

Практичне значення одержаних результатів.

Розроблена тривимірна модель може бути використана для визначення теплотехнічних параметрів системи повітряної теплової завіси для загального зниження теплових втрат енергоефективного будинку.

Робота присвячена розв'язанню науково-прикладної проблеми підвищення енергетичної ефективності будівель шляхом впровадження теоретично обгрунтованих новітніх технічних рішень в огороджувальних

конструкціях будівлі та комбінованих низькотемпературних системах теплозабезпечення.

ABSTRACT

The goal of the research in the master's thesis is the analysis and optimization of technical solutions to increase the energy efficiency of buildings of various purposes based on the use of renewable energy sources.

Research tasks.

To achieve the set goal, the following scientific and practical tasks were solved: information review and analysis of the world knowledge on the principles of creating energy-efficient buildings; analysis of the world market of combined solar heat pump systems; to determine the technical features of the design of heat supply systems of energy-efficient buildings; to carry out mathematical modeling of the air-ground heat exchanger for the thermal curtain of the facade walls of the experimental energy-efficient building.

The object of research is an experimental energy-efficient house as a full-scale real-life stand.

The subject of the study is the thermal regime of the house, its energy consumption indicators and complex heat exchange in the heat supply systems of the house.

Scientific novelty of the obtained results. As a result of the calculations performed in the Ansys 14.0 software environment of the parameters of the air-ground heat exchanger for the thermal curtain of the facade walls of the experimental energy-efficient building in the cold period of the year;

Practical significance of the obtained results.

The developed three-dimensional model can be used to determine the thermotechnical parameters of the air thermal curtain system for the overall reduction of heat losses of an energy-efficient building.

The work is devoted to the solution of the scientific and applied problem of increasing the energy efficiency of buildings through the implementation of the theoretically based latest technical solutions in the enclosing structures of the building and combined low-temperature heat supply systems.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТА ПАСИВНИХ БУДИНКІВ	8
2 АНАЛІЗ ТЕПЛОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДИНКІВ	25
2.1 Аналіз світового ринку комбінованих геліотеплонасосних систем	25
2.2 Електрозабезпечення на базі відновлюваних джерел енергії	39
3 ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКІВ ПАСИВНОГО ТИПУ	42
4 МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОВІТРЯНО- ГРУНТОВОГО ТЕПЛООБМІННИКА ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ЗАВІСИ ФАСАДНИХ СТІН ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО БУДИНКУ	51
4.1 Конструкція геотермальної системи повітряної теплової завіси фасаду будинку	51
4.2 Числове моделювання теплової повітряної завіси стін енергоефективного будинку	54
5 АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ ТА ГЕЛІОУСТАНОВКИ	67
ВИСНОВКИ	71
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	73

ВСТУП

Актуальність теми. За сучасними даними країн Євросоюзу, більшість населення планети перебуває до 90% всього часу в приміщеннях різного призначення. На життєзабезпечення будівель, в яких розташовані ці приміщення, витрачається до 40% всієї корисної енергії, що виробляється у світі.

Важливою причиною загальносвітового підвищення нормативної і реально досягнутої теплозахисних здатностей огорожувальних конструкцій (ОК) будинків є здорожчання енергоносіїв, стрімке виснаження запасів органічного палива, а також географічні зміни клімату Землі через накопичення парникових газів в атмосфері. В багатьох країнах є великий потенціал, як енергоощадження, так і покращення теплового мікроклімату в цивільних будівлях.

Світові тенденції у підвищенні енергетичної ефективності систем теплопостачання, в цілому, спрямовані на використання природних відновлювальних джерел енергії, скидних вторинних енергоресурсів, децентралізацію постачання теплоти, а також перехід на низькотемпературні опалювальні системи. Програми енергетичного розвитку низки країн Азіатського регіону, Європи та Сполучених Штатів Америки, а також Енергетична стратегія України, передбачають і законодавчо підтримують розвиток використання альтернативних джерел енергії.

Розв'язання проблеми підвищення енергоефективності будівель має особливу актуальність для України в зв'язку з тим, що в країні наявні обмежені запаси нафти і природного газу, різко скоротився видобуток вугілля, спостерігається значне підвищення вартості всіх видів енергоносіїв і недостатньо впроваджуються нові і прогресивні методи щодо теплового захисту будівель.

На житлово-комунальний сектор припадає найбільша частина кінцевого споживання енергії, зокрема в ЄС - 42% енергії. При цьому в житлових

будинках створюється емісія близько 35% всіх парникових газів, що визначає необхідність охорони навколишнього середовища та аспекти здорового способу життя. В Україні на житлово-комунальний сектор припадає понад 40% спожитої енергії, а ефективність можливих енергозберігаючих заходів у цій галузі в масштабі держави перевищує можливу економію таких традиційно енергоємних галузях як металургія, хімічна промисловість та ін.

Високе споживання енергії за повний цикл експлуатації будинків складає в Україні в середньому понад 300 кВтгод/м² на рік опалюваної площі і повинне бути значно скорочене в майбутньому за рахунок енергозбереження та підвищення енергоефективності інженерних мереж. При цьому має змінитись також структура споживання енергії, що призведе до використання інших, інноваційних техніко-технологічних рішень у будівництві та системах енергозабезпечення сучасних будівель.

1 СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТА ПАСИВНИХ БУДИНКІВ

З жовтня 2008 року, в рамках виконання дослідницької програми «На шляху до сонячних будівель нульової енергії» Міжнародного енергетичного агентства (International Energy Agency) створена електронна мапа будівель, які можуть бути віднесені до будинків «нуль енергії». Мапа редагується і оновлюється Ейке Мусалл, університет м. Вупперталь, Німеччина (Eike Musall, Bergische Universität Wuppertal, emusall@uni-wuppertal.de). Об'єкти нанесені на карту разом з інформацією: місце розташування, рік введення в експлуатацію, тип, будівельна компанія.

Розрізняються такі типи будівель: нежитлові будівлі (готелі, госпіталі, спортивні споруди, підприємства), освітні установи, офіси, невеликі житлові будинки, групи будинків (вулиці, селища), багатоквартирні будинки (блоки квартир). Надалі проведено аналіз міжнародних проектів будівель «нуль енергії», нанесених на карту до 2010 року, з метою показати тенденції, мотивацію творців, а також використовувані методи для досягнення нульового енергетичного балансу. Типова стратегія створення будівель «нуль енергії» може бути визначена для наступних груп об'єктів: невеликі житлові будинки, багатоквартирні житлові будинки та нежитлові будівлі (табл. 1.1).

Таблиця 1.1.

Будинки за принципами використання відновлюваних джерел енергії

Тип будівлі	Ефективність (теплота/холод)	Ефективність електроенергії	Теплопостачання і кондиціонування	Генерація електроенергії
Невеликі житлові будинки	Реалізація повної концепції пасивного дома з сонячними колекторами	Енергоефективні прилади	Тепловий насос	Фотовольтаїчна система
Багатоквартирні житлові будинки	Реалізація повної концепції пасивного дома з сонячними	Енергоефективні системи опалення, вентиляції та	Когенераційна установка	Фотовольтаїчна система/ Когенераційна

	коллекторами	кондиціювання		установка
Нежитлові будівлі	Механічна вентиляція з рекуперацією теплоти, пасивне охолодження	Енергоощадні освітлювальні прилади / Денне освітлення, контроль	Тепловий насос	Фотовольтаїчна система/Використанн я енергії вітру поза ділянкою/ Когенера- ційна установка (на підприємствах)

Таким чином, при створенні невеликих житлових будинків з нульовим енергетичним балансом комбінуються: технологія пасивного будинку з сонячними тепловими колекторами, використання теплового насоса і фотовольтаїчної системи.

Відмітимо деякі характерні будівлі типу «нуль енергії», що нанесені на мапу.

1. Серед представлених об'єктів можна виділити першу в історії Антарктиди науково-дослідну бельгійську «zero emission» («без викидів») станцію (Princess Elisabeth Antarctica research hub) (рис. 1.1).



Рис. 1.1 - Загальний вигляд дослідної станції з вітровими агрегатами

Станція була відкрита в 2009 році. Протягом останніх років ця станція в Антарктиді є домом науки і прикладом організації збереження навколишнього середовища. Вона експлуатується в період з листопада по лютий

(антарктичне літо). На станції одночасно можуть перебувати до 40 осіб. Мінімальний термін експлуатації становить 25 років. Загальна площа станції - 1900 м², з них 400 м² - це площа основного будинку, 1500 м² - технічні площі.

Метеорологічні умови в районі станції: температура повітря: до - 40° С; переважний напрямок вітру: східний; середньомісячна швидкість вітру: 20 км/год, максимальна швидкість вітру за місяць: 125 км/год, максимальна швидкість вітру при поривах: 250 км/год; 24-годинне денне освітлення 100 днів з 120 днів антарктичного літа. При створенні станції використовувалися відомі передові технології:

Пасивне будівництво. Проект станції розроблявся з урахуванням мінімізації потреб в енергії. Для досягнення максимально можливої ізоляції застосовувалася багатошарова конструкція стін: неіржавіюча сталь; піна з закритими вічками; силіконовий герметик; шари дерева; полістерол низької щільності з графітовим наповненням; крафт-папір; алюмінієва пароізоляція; войлок (враховувався досвід будування юрт жителями північних районів).

Вентиляцію і теплообмін забезпечують високопродуктивні теплообмінники, вбудовані в систему вентиляції станції.

Використання відновлюваних джерел енергії. Використовується енергія постійного літнього антарктичного сонця і енергія вітру. Генерація енергії, необхідної для станції, здійснюється: 22-ма сонячними тепловими панелями (12% загальної потреби), фотовольтаїчними сонячними панелями (40%), дев'ятьма вітровими агрегатами (48%), лопаті яких автоматично складаються в штормову погоду. Резервне енергопостачання забезпечується генераторами на рідкому паливі, передбачається установка водневих паливних елементів для додаткового енергоживлення. Надлишки енергії направляються в батареї-акумулятори, для цього обрані класичні свинцево-кислотні акумулятори.

Smart grid (Інтелектуальна мережа). У партнерстві з Schneider Electric і GDF Suez (Laborelec) для станції розроблена і реалізована гнучка інтелектуальна система управління споживанням енергії, в три рази ефективніша, ніж будь-яка інша для науково-дослідної станції аналогічних

розмірів. Джерела відновлюваної енергії нестійкі, особливо в Антарктиці. Тому станція не може виробляти таку кількість енергії, щоб задовольнити всі потреби мешканців. Енергоспоживання станції адаптовано до обмеженої кількості доступної енергії. Центральний комп'ютер виробляє моніторинг доступної енергії і розподіл її у відповідності зі строгими правилами. У залежності від часу доби, одні запити мають пріоритети над іншими. Природно, що вищий рівень призначений для забезпечення безпеки, нижчий - для розваг (рис. 1.2). Коли користувачеві необхідно використовувати той або інший науковий або побутовий прилад, він натискає перемикач, розташований поруч з розеткою обраного приладу, очікує, якщо перемикач загоряється зеленим світлом, то можна користуватися, якщо червоним, то потрібно почекати.

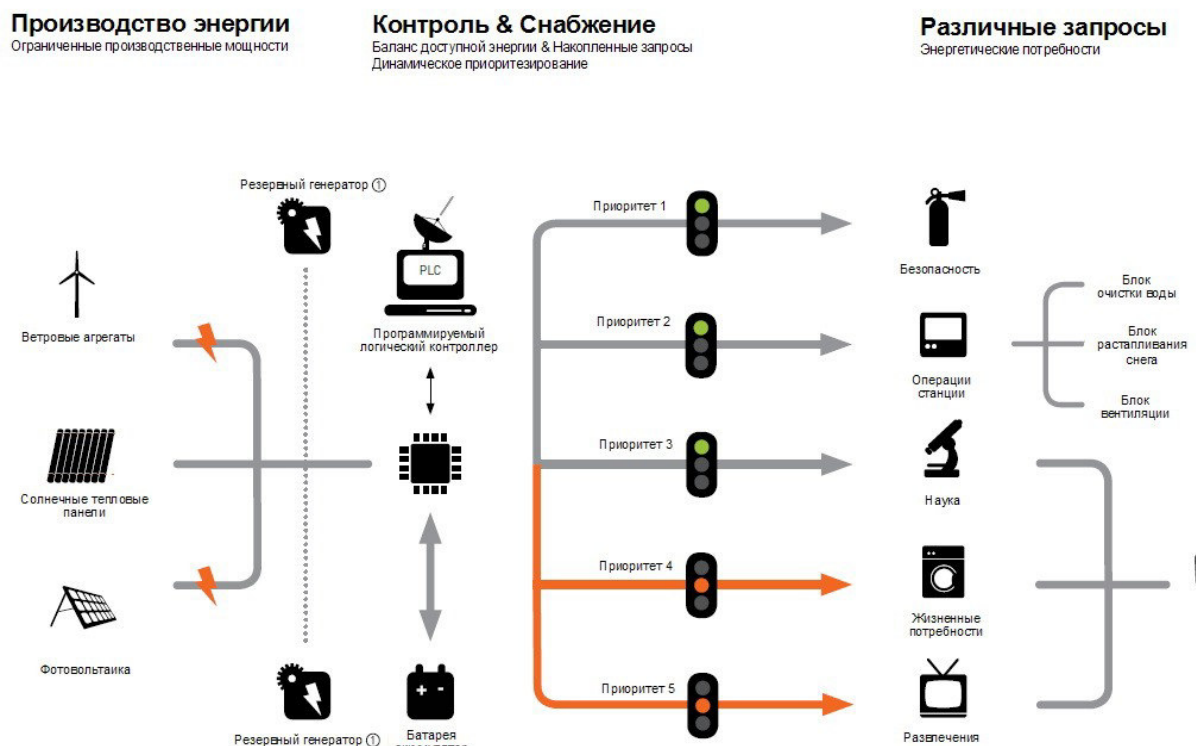


Рис. 1.2 - Схема системи управління споживанням енергії

Очистка воды. Проектом передбачено мінімальне споживання цього ресурсу. Завдяки досконалій системі очищення води, вся вода станції ретельно

очищується і використовується повторно для душів, туалетів або пральних машин. Надлишок води після додаткового очищення скидається назовні.

2. Перший у світі міський готель з нульовим енергетичним балансом розташований в столиці Австрії Відні (Boutiquehotel Stadthalle, Wien). У цьому тризірковому готелі на 80 номерів для генерації чистої теплової та електричної енергії використовуються сонячні фотовольтаїчні батареї (площа 94 м²), сонячні колектори (130 м²), тепловий насос на ґрунтових водах, на узгодженні з міською владою знаходиться проект на використання 3 вітрових турбін. У готелі організована утилізація дощової води для власних потреб. Управління використанням енергії по об'єкту в цілому здійснюється системою Desigo Siemen.

3. «Зелений Маяк» - перша громадська будівля «нуль енергії» без викидів, побудована в Копенгагені (Данія), була відкрита 20 жовтня 2009 року. Проект є показником ефективного приватно-державного партнерства. У реалізації взяли участь Міністерство науки, технологій та інновацій Данії, університет Копенгагена, муніципалітет міста, а також виробники віконних систем VELUX і VELFAC. Побудований «Зелений Маяк» за один рік за принципом активної будівлі, яка виробляє енергію. Загальна площа - 950 м². Собівартість одного квадратного метра - 5000 євро. Відновлюваними джерелами енергії служать сонце і теплота ґрунту.

Зниження споживання енергії досягається за рахунок: циліндричної форми будівлі (мінімізація площі огорожувальних конструкцій); високого коефіцієнта використання природного освітлення; природної вентиляції (здійснюється через вікна, що знаходяться на даху будівлі, які автоматично відкриваються і закриваються), використання високоефективних світлодіодних джерел світла; передачі природного світла по світловодах; використання термоактивної бетонної підлоги для відведення теплоти в жаркий час. Кінцевим користувачем будівлі є Копенгагенський університет, який прийняв активну участь у процесі розробки проекту. Будівля являє собою чудову практичну базу для навчання широкого кола студентів та аспірантів.

4. Будівлі «нуль енергії» в Китаї. 20 вересня 2008 на території кампуса китайської філії британського університету Ноттінгема відбулося урочисте відкриття Центру енергетичних технологій у м. Нінбо (КНР) (рис. 1.4 (а)). При проектуванні були використані принципи будівлі «нуль енергії».



Рис. 1.3 - Зовнішній вигляд будівлі (вдень і в сутінках), вид зсередини на дах будівлі

Його загальна площа складає 1300 м² і вміщає аудиторії й офіси, невеликий виставковий зал, а також кілька лабораторій: стенди для випробування фасадів, термічна лабораторія для перевірки конструкційних матеріалів, кліматична камера і аеродинамічна труба, лабораторія моделювання сонячного освітлення. Будівля забезпечується енергією за рахунок вітроагрегатів та фотоелектричних батарей, об'єднаних в сонячну ферму. Будівля обладнана акумуляторами, що можуть забезпечувати всю будову електроенергією протягом 2 тижнів. Спеціальна архітектура споруди дозволяє забезпечити рівномірний розподіл повітряних і світлових потоків залежно від висоти й положення сонця над горизонтом.

У будівлі шість поверхів, п'ять надземних і один підземний. Всі поверхи з'єднані між собою широкою шахтою, яка виходить на дах. Це дозволяє відбитим променям сонця проникати всередину, скорочуючи потребу в електричному освітленні, а також задає шляху для повітряних потоків.

На рис. 1.4 (б) представлено енергозберігаючу будівлю «нуль енергії», побудовану для університету Сінхуа в Пекіні (КНР). Будівля спроектована таким чином, щоб мінімізувати витрати на обігрів і кондиціонування (охолодження). Дах - комірць з одного боку створює тінь в жарку сонячну погоду, з іншого - виробляє електричну енергію за допомогою встановлених на ньому сонячних батарей.



Рис. 1.4 - а) Центр енергетичних технологій (м. Нінбо, КНР), б) будівля університету Сінхуа (Пекін, КНР).

Серед будівель «нуль енергії» є хмарочоси, найвищий (71 поверх, висота 309 м) - штаб-квартира тютюнової корпорації Pearl River Tower (Гуанчжоу, Китай), рис. 1.5. Це приклад поєднання раціонального проектування, використання «зелених технологій» та новітніх інженерних досягнень. Конструкція будівлі включає в себе сонячні колектори і сонячні батареї, вбудовані вітрові турбіни, вентиляований фасад. Розрахунковий термін окупності складає 4,8 року.

5. 22 квітня 2013 року в День Землі був відкритий Bullitt Center (Сіетл, США), сама «зелена» будівля у світі (рис. 1.6). Ця будівля є штаб-квартирою фонду охорони Північно-Західного узбережжя Тихого океану (Bullitt Foundation). Будівля 6-поверхової споруди площею 4,8 тис. м² не залежить від

електро- і водопровідної мережі. Тепло забезпечує геотермальна опалювальна система, що складається з 26-ти свердловин глибиною 120 метрів.

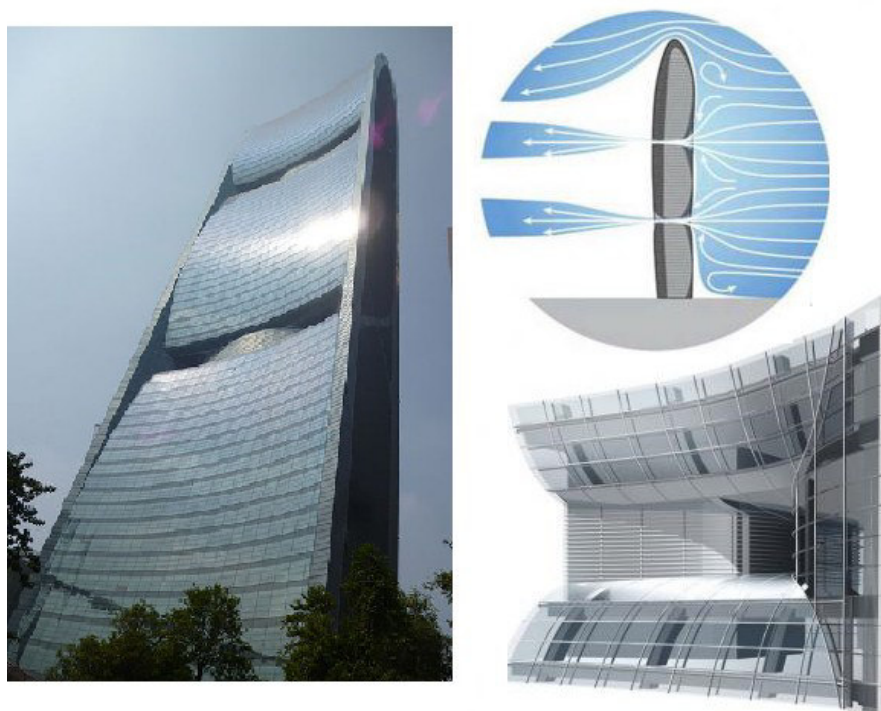


Рис. 1.5 - Зовнішній вигляд хмарочоса та схема розподілу повітряних потоків, а також отвір забору повітря для вітрових турбін та системи вентиляції



а)

б)

Рис. 1.6 - а) вид зверху на Bullitt Center під час будівництва, б) Bullitt Center

Електроенергію виробляють 575 сонячних батарей, які розташовані на даху, який виступає над будівлею, як сомбреро. Сіетл не відрізняється

сонячною погодою, 82% всього освітлення припадає на вікна. Тому в приміщеннях дуже високі стелі та великі вікна, які, в свою чергу, регулюються електронною системою і, залежно від температури всередині приміщення, самостійно відкриваються для провітрювання. Будівля забезпечується дощовою водою, яку на даху збирають за допомогою сонячних панелей і накопичують у цистерні об'ємом 210 тис. літрів. Передбачена система переробки стічних вод. Жодний будівельний виріб не містить будь-який з внесених в «чорний» список 362-х токсичних хімічних речовин, які зазвичай використовуються у виробництві будівельних матеріалів.

Розглянуті проекти є зразками застосування передових науково-дослідних розробок і найновіших інженерно-технічних рішень в енергоефективному будівництві, розвитку «зеленого» будівництва. Ці фінансовоємні проекти можуть дозволити собі економічно розвинені країни. Вони служать для пропаганди та популяризації ідей, багато з них вміщують дослідні лабораторії.

Для України цікавим та корисним для розгляду (з урахуванням аналогічних кліматичних умов) є будинок «нуль енергії» Mill Creek (Едмонтон, штат Альберта, Канада) (рис. 1.7). Едмонтон найпівнічніше з великих міст Канади. Будинок не підключений до централізованої системи газопостачання, але підключений до електромережі. Будинок реконструйований. Житлова площа складає 186 м². Найважливішим для створення будинку «нуль енергії» для холодного клімату є:

Ізоляція та герметизація. Фундамент складається з шару піску, який насипаний на природний шар глини, зверху нанесений шар озонобезпечної піни (товщиною 12,7 см). Всі вікна з низькоемісійним покриттям. Стіни бетонні, багат шарові, всередині закладений шар целюлози, із зовнішнього боку нанесено шар 12,7 см озонобезпечної піни (Larson Truss System). Таким чином, повністю виключається можливість виникнення містків холоду.

Інсоляція та додаткова маса. Будинок повинен максимально прогріватися сонцем. Площа остеклення південного боку будинку складає 25,46 м². Додаткова маса (наприклад, бетонні підлоги) необхідна для

поглинання надлишкової теплоти в приміщеннях з південними вікнами у найспекотніші дні. З такими великими південними вікнами виникає можливість перегріву приміщень в літній період. Була реалізована система рухливих фотовольтаїчних панелей, які можуть встановлюватися під різним кутом (взимку 70° - 90° , влітку - 25° - 30°), крім того, вони виконують функції козирків для затінення вікон в літній час. Система теплоенергопостачання канадського будинку «нуль енергії» включає: сонячні колектори (SHW, ефективність 50-70%); ґрунтовий тепловий насос; фотовольтаїчні панелі (ефективність 17%); рекуперативну вентиляцію; плінтусні електрообогрівачі.



Рис. 1.7 - Будинок «нуль енергії» Mill Creek (Едмонтон, штат Альберта, Канада), південний фасад

Перше тестування будинку проходило з 18 жовтня 2010 року по 18 жовтня 2011 року. За цей час було використано 2518 кВт·год енергії мережі. Сонячні модулі будинку виробили 7212 кВт·год, всього було використано

9730 кВт·год. Тобто, нульовий баланс не вийшов, але було використано всього 19,8% енергії, яку використовують більш нові будинки Едмонтона, 75% використаної енергії - це енергія, вироблена сонцем. Треба відзначити, що зима 2010 - 2011 рр. була холодніше середніх показників на 14 %.

Цей результат показує складність створення будинків «нуль енергії» в умовах холодного клімату. У 2012 році будинок був внесений до переліку будинків з нульовим енергетичним балансом.

Відзначимо, що клімат Києва м'якше і тепліше (середньорічна температура +8,4°C), ніж клімат Едмонтона (середньорічна температура +3,9°C). Але кількість сонячних днів менше. Такі кліматичні умови створюють труднощі для отримання нульового енергетичного балансу будівлі. Будинків «нуль енергії» на території СНД покощо немає, але останнім часом активно проводяться науково-дослідні та інженерно-технічні роботи, спрямовані на створення експериментальних будинків високоенергоєфективного типу.

Приклад цьому - це створення екологічно чистого «зеленого» будинку при Інституті теплофізики СО РАН, м. Новосибірськ. На подібних експериментальних об'єктах, як повномасштабних промислових лабораторіях, проводиться апробація не тільки нових матеріалів, методів та інженерно-технічних рішень інноваційного будівництва, але і тестуються сучасні енергоєфективні технічні системи та комплекси для ресурсозабезпечення (енерго-, водопостачання, вентиляція), засновані на автономних відновлюваних та альтернативних джерелах енергії.

Пасивний будинок - загальновизнаний стандарт енергоєфективного будівництва. Тисячі об'єктів пасивного будівництва були зведені у всьому світі. Причина такого успіху проста: стандарти пасивного будинку чітко визначені, працюють у всіх кліматичних зонах та забезпечують мінімальне споживання енергії. Дослідження показали - витрата енергії на опалення та охолодження пасивного будинку буде на 80 відсотків нижче, ніж у звичайних будівлях. В умовах швидкого зростання цін на енергоносії, це робить пасивний будинок економічно привабливим варіантом будівництва.

Параметри стандарту пасивного будинку однакові у всьому світі. Вони встановлені професором Файстом, винахідником технології пасивного будинку, та Інститутом пасивного будинку в г. Дармштадт (рис. 1.8).



Рис. 1.8 - Зовнішній вигляд першого енергоефективного будинку

Пасивним будинком можна назвати будинок, що відповідає таким параметрам (рис. 1.9):

- підвищена теплоізоляція оболонки будови - $U < 0,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;
- виключено виникнення містків холоду;
- компактність форми будівлі;
- пасивне використання сонячної енергії - орієнтація будинку на південь, відсутність затінення;
- спеціальні склопакети, з коефіцієнтом теплопередачі вікна не більше $0,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, коефіцієнт енергопроникнення - близько 50%;
- герметичність будинку на рівні $n_{50} < 0,6$ / годину;

- повернення (рекуперація) теплоти відпрацьованого повітря (рівень повернення теплоти більше 75%);
- побутова техніка з низьким споживанням електроенергії;
- використання сонячних колекторів чи теплових насосів для підігріву води;
- використання ґрунтового теплообмінника для пасивного підігріву повітря.

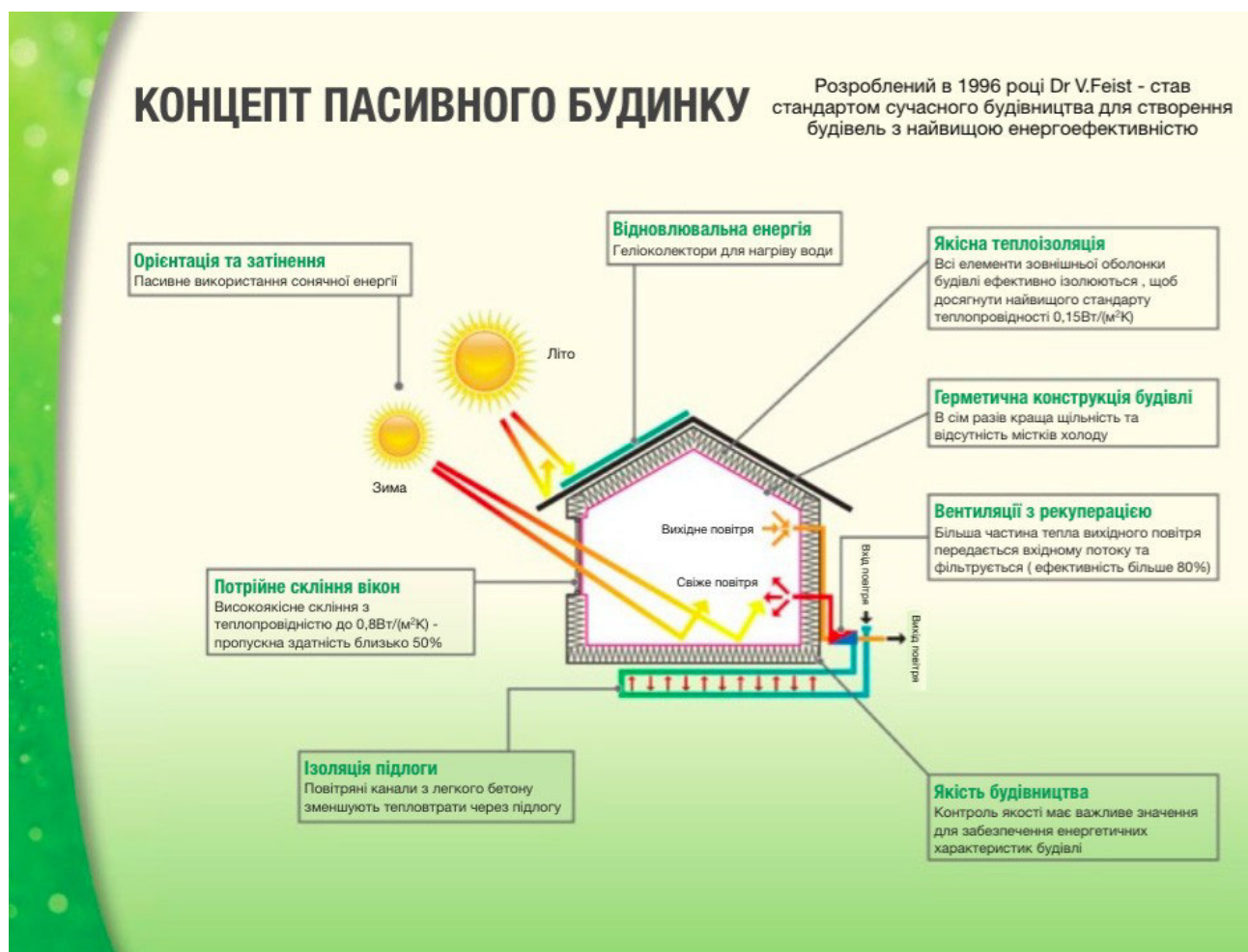


Рис. 1.9 - Концепт пасивного будинку (проф. Файста)

Крім того, в різних країнах існують свої стандарти енергозбереження:

- США - стандарт вимагає споживання енергії на опалення будинку не більше 1 BTU (британська тепла одиниця, $1 \text{ кВт} \approx 3412 \text{ BTU}/\text{год}$) на квадратний фут ($0,09 \text{ м}^2$) приміщення;
- Швейцарія - стандарт "міненерджі" (Minergie-P) - передбачає розрахунковий показник потреби енергії для опалення, гарячого

водопостачання та вентиляції в розмірі 38 кВт·год /м² на рік, фактор первинної енергії - не більше 0,9; також обов'язковим є наявність регульованою вентиляції з рекуперацією теплоти;

- Ірландія - пасивний будинок повинен споживати енергії на 85% менше стандартного будинку, а так само викидати в атмосферу на 94% менше CO₂ ніж звичайний будинок;

- Великобританія - пасивний будинок повинен споживати енергії на 77% менше звичайного будинку;

- Іспанія (з березня 2007 року) - енергоефективні житлові будинки повинні бути обладнані сонячними водонагрівачами, для самостійного забезпечення 30 - 70% потреб у гарячій воді, залежно від місця розташування будинку та очікуваного споживання води; нежитлові будівлі повинні мати фотоелектричне обладнання;

- Італія (південний Тіроль) - споживання теплової енергії повинно бути не більше 38 кВт·год/м² на рік, опалення за допомогою поновлюваних енергоносіїв, використання екологічно чистих і безпечних для здоров'я будівельних матеріалів.

Для стандарту будинку пасивного типу зазначимо два основні принципи функціонування будинку:

- 1) Уникнення неконтрольованих витрат теплоти.

Відомо, що у стандартному будинку коттеджного типу втрати теплоти розподіляються таким чином: через зовнішні стіни втрачається до 26% теплоти, через вікна та входні двері – приблизно 35%, через дах та підлогу - 26% та 10%, відповідно.

- 2) Збереження та ощадливе використання наявної енергії.

Основне джерело пасивного отримання енергії це сонце. Крім того, енергія потрапляє від внутрішніх джерел: приладів, людей, електричного освітлення.

Як правило, пасивний будинок зовсім не потребує додаткового опалення. Потреба в тепловій енергії на рівні 15 кВт·год/м² за рік може бути

покрита за рахунок джерел сонячної та внутрішньої енергій. Прийнято називати енергоефективними будинки, які мають теплову потребу не більше 40 кВт·год/м² на рік. Таким чином, пасивний будинок, на сьогодні, це найсучасніша форма енергоефективного будівництва.

Можна виділити окремі основні параметри пасивної будівлі:

- компактність;
- висока ступінь теплоізоляції (при оптимальній теплоізоляції коефіцієнт теплопередачі складає 0,15 Вт/м²);
- орієнтація на південь, уникнення затінків;
- відсутність «містків холоду»;
- герметичність будівлі;
- високоякісні вікна та віконні профілі (вікна двокамерні з коефіцієнтом теплопередачі 0,8 Вт/(м²·К), заповнені інертним газом, профілі герметичні);
- контрольована вентиляція з рекуперацією теплоти (будівля провітрюється за допомогою системи припливно-витяжної вентиляції, припливне повітря перед подачею в кімнати нагрівається. Протиточний теплообмінник зберігає до 75% теплоти відпрацьованого повітря).

На рисунках 1.10 та 1.11 представлені зовнішні вигляди концептів пасивних будинків, що розроблені в Україні та Росії.

В Україні також зроблені спроби втілити в життя подібні проекти, але великі початкові витрати порівняно із будівництвом звичайного будинку залишаються головною перешкодою на шляху до поширення даної технології на території нашої держави.

Технологія пасивного будинку в Україні почала застосовуватись кілька років тому, тоді як в Європі застосовується майже 30 років. В нашій державі перший пасивний будинок був побудований в 2008 році. На сьогоднішній день в Києві, Чернігові і Василькові (Київська обл.) побудовано 3 пасивних будинки. Будівництво цих трьох об'єктів здійснювалось за проектами архітектора-художника Тетяни Ернст.

Тетяна Ернст спроектувала пасивний будинок і для власної сім'ї. Проектування здійснювалось протягом 2005 - 2007 років, а будівництво – протягом 2007 - 2008 років в районі Сирець (м. Київ).



Рис. 1.10 - Концепт пасивного будинку (архітектор Т.Ернст, м. Київ)

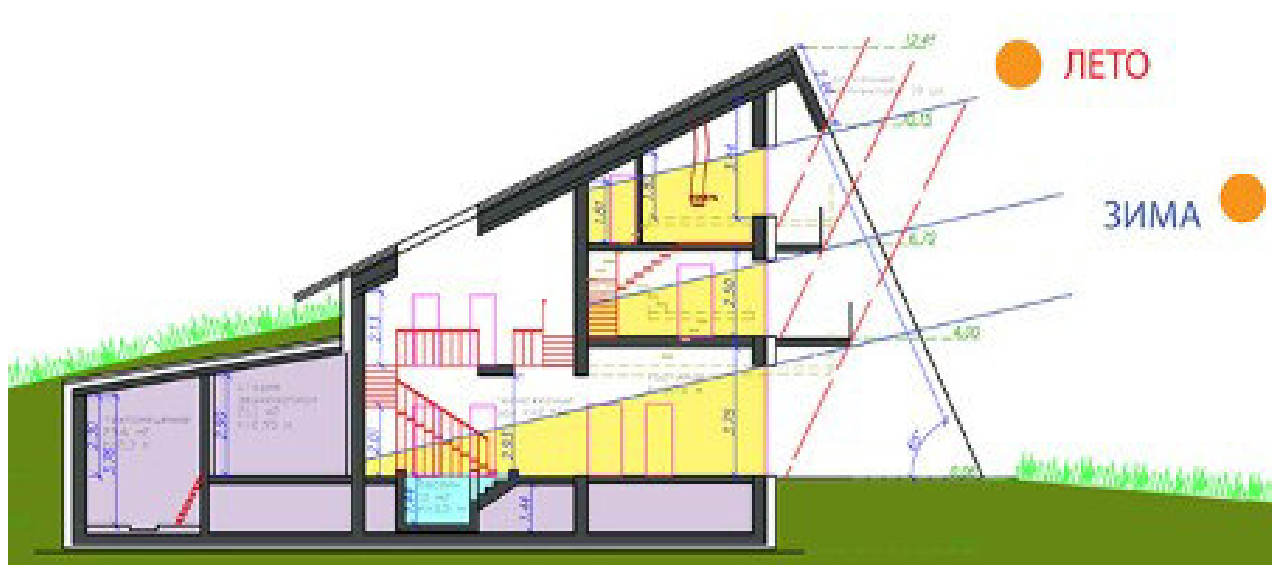


Рис. 1.11 - Концепт пасивного будинку (Кисельово, Росія)

«Пасивний будинок» Тетяни Ернст отримав назву «Будинок Сонця» (Sunshine Home) і був внесений в базу даних Інституту пасивного будинку в м. Дармштадті. «Будинок Сонця» в Києві спроектований із врахуванням

основних вимог до енергетично-вигідної форми будинку та із врахуванням орієнтації по сторонам світу.

В цілому ситуація із будівництвом пасивних будинків в Україні складається не найкращим чином. Про започаткування нового ринку говорити поки що зарано. 70% населення України ще навіть не чули про існування даної технології. Однак поширення концепції «пасивного будинку», застосування даної технології у поєднанні з альтернативними джерелами енергії (зокрема з тепловими насосами) стане ще одним кроком назустріч енергозбереженню і переходу на використання альтернативних джерел енергії.

Переваги технології «пасивного» будинку:

1. Економічність: не потрібно витратитися на підключення до центральних мереж опалення і газу, а витрати електричної енергії на опалення пасивних будинків в 7 - 12 разів менше, ніж побудованих за традиційною технологією цегляних будинків;
2. Енергозабезпеченість, що пов'язано з відсутністю в пасивних будинках мереж газу та теплоти. Потрібна лише вода і електроенергія;
3. Енергонезалежність: в пасивних будинках наявні масивні несучі стіни, плити підлоги першого поверху і перекриття між поверхами, що сприяє кращій акумуляції теплоти і децентралізації енергозбереження;
4. Екологічність: в будинках побудованих по даній технології застосовуються сучасні будівельні матеріали, а також новітнє інженерне обладнання. В пасивних будинках циркулює свіже чисте і тепле повітря, стіни і підлога постійно залишаються теплими.

2 АНАЛІЗ ТЕПЛОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДИНКІВ

2.1 Аналіз світового ринку комбінованих геліотеплонасосних систем

Протягом уже багатьох десятиліть Європейський Союз є світовим лідером у галузі створення, впровадження та дослідження інноваційних технологій опалювальної техніки. Реалізуючи геополітичну стратегію щодо скорочення залежності від викопних видів палива і забезпечення високої ефективності енергетичних систем, Міжнародне енергетичне агентство (The International Energy Agency) запропонувало впровадити правові рамки у вигляді міжнародних угод з розробки, дослідження і просуванню на світовий ринок високоефективних енергетичних технологій. Так одним з перших міжнародних угод у січні 2010 року було затверджено Програму сонячного опалення та охолодження та Програму з теплових насосів. Ці проекти носять назву Завдання № 44 Програми сонячного опалення та охолодження (Task 44 in the Solar Heating and Cooling Programme) та Додаток 38 Програми з теплових насосів (Annex 38 in the Heat pump Programme).

Основними цілями є об'єднання зусиль країн-учасниць угоди для вирішення питань визначення продуктивності та актуальності застосування комбінованих систем, що використовують енергію сонця і низькопотенційну енергію, видобуту з допомогою теплових насосів, створенню єдиної методики розрахунку продуктивності і моніторингу таких систем, збір статистичних даних і просування технології на світовому ринку. Цільова програма Task 44/Annex 38 - "Solar and Heat Pump Systems" (T44/A38), покликана вирішити наступні завдання:

- оцінити продуктивність та актуальність використання комбінованих систем на базі теплових насосів і сонячних панелей;
- сприяти успішному проникненню таких систем на світовий ринок ;
- дослідити технологічні варіанти роботи систем;

- розробити єдину методологію тестування систем;
- провести аналіз даних моніторингу систем;
- розробити концепцію моделювання ГТС;
- інформувати сегменти ринку про успішно реалізовані проекти;
- залучати в цю сферу нові інформаційні потоки, знання і розробки.

У технічному звіті про результати роботи Програми T44/A38, опублікованому в березні 2021, представлено порівняльний аналіз доступних на світовому ринку 135 геліотеплонасосних систем, що надані 88 компаніями - виробниками з 11 країн. Було виділено п'ять основних критеріїв оцінки комбінованих сонячно - теплонасосних систем :

- використання отриманої теплової енергії;
- вид низькотемпературного джерела теплоти для теплового насоса;
- тип холодоагенту ;
- наявність, характеристики і особливості розташування акумуляторів теплової енергії;
- взаємодія компонентів системи .

Основними завданнями розглянутих систем було покриття опалювального навантаження і підготовка гарячої води. Діаграма (рис. 2.1) підтверджує той факт, що переважна більшість систем відповідає цим критеріям.

Слід звернути увагу на те, що більше половини систем (58%) здатні працювати в режимі активного охолодження з допомогою теплових насосів і пасивного природного охолодження, отримуючи енергію від ґрунтового масиву або води.

На рис. 2.2 показана схема комбінованого використання сонячних колекторів і теплового насоса з ґрунтовим теплообмінником.

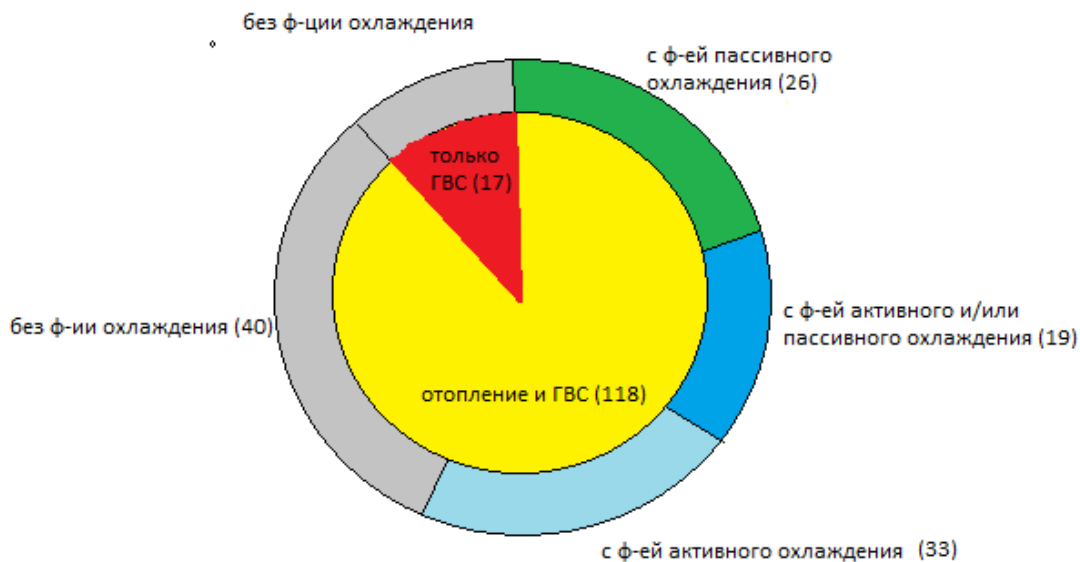


Рис. 2.1 - Класифікація геліотеплонасосних систем за режимами експлуатації

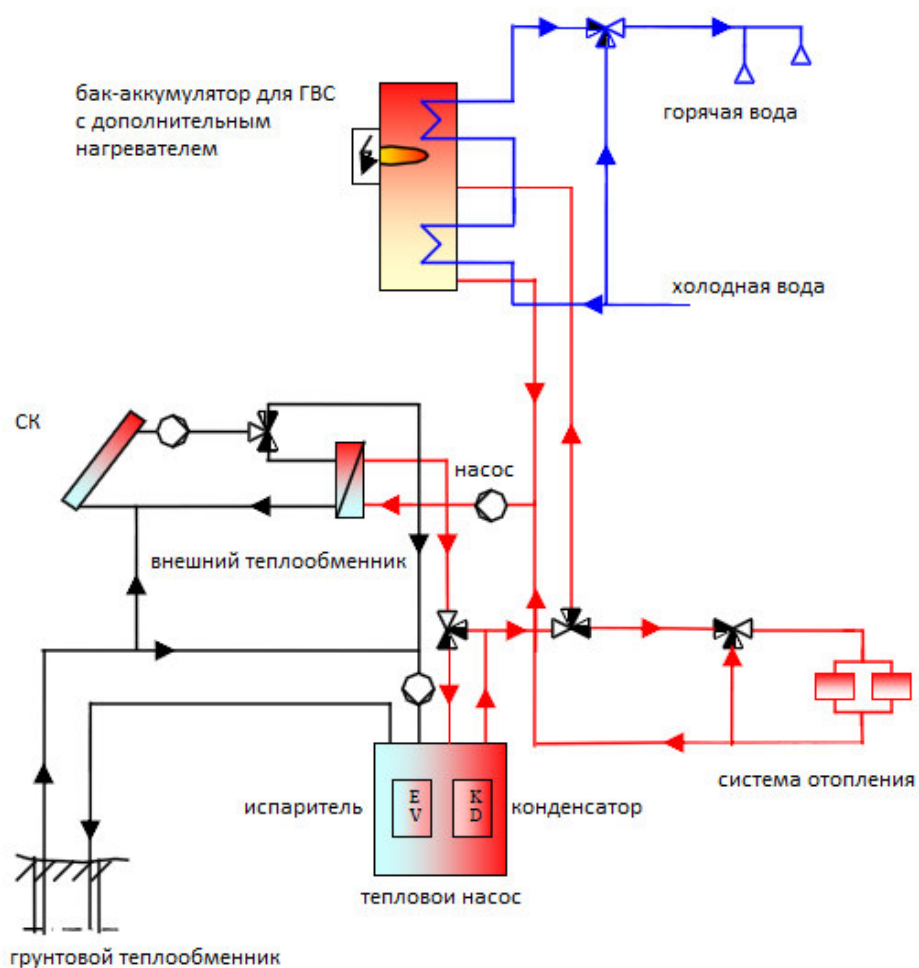


Рис. 2.2 - Схема комбінованої геліотеплонасосної системи з грунтовим теплообмінником

Залежно від характеру взаємодії сонячної частини комбінованої системи і теплового насоса розрізняють такі варіанти технічної роботи геліотеплонасосної системи:

- паралельне з'єднання - тепловий насос і сонячний колектор постачають теплоту на потреби опалення або/та гарячого водопостачання незалежно один від одного. Іноді в системі присутній бак-акумулятор;
- послідовне з'єднання - теплота, що трансформована сонячним колектором, виступає в якості єдиного або додаткового джерела теплоти для теплового насоса, що підводиться безпосередньо до випарника теплового насоса або надходить в бак - акумулятор системи;
- змішане з'єднання (режим регенерації) - теплота, що отримана від сонячного колектора, слугує для відновлення (регенерації) іншого джерела теплової енергії, найчастіше енергії, що акумулюється в ґрунтовому масиві.

Можливі технічні рішення використання сонячних колекторів спільно з ґрунтовим тепловим насосом та їх вплив на компоненти системи зведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Огляд можливих технічних режимів роботи комбінованої сонячно-теплонасосної системи з ґрунтовим теплообмінником і вплив компонентів системи один на одного

Технічний режим роботи системи	Сонячний колектор	Тепловий насос	Ґрунтовий теплообмінник
1. Теплова енергія від сонячного колектора, проходячи через випарник теплового насоса, збільшує температуру робочої рідини і надходить у ґрунтовий теплообмінник (рис. 2.3)	Низькотемпературний теплоносій (5 - 20°C), що виходить з сонячного колектора, підвищує ефективність системи і забезпечує більш тривалий період роботи сонячного колектора	Збільшення коефіцієнта продуктивності (COP) і скорочення часу роботи	Регенерація температурного поля ґрунтового масиву, можливість зменшити глибину свердловини

<p>2. Теплова енергія від сонячного колектора прямо надходить у ґрунтовий теплообмінник (рис. 2.4)</p>	<p>Низькотемпературний теплоносій (5-20 °С), що виходить з сонячного колектора, підвищує ефективність системи і забезпечує більш тривалий період роботи сонячного колектора</p>	<p>Збільшення коефіцієнта продуктивності (COP) і скорочення часу роботи</p>	<p>Регенерація температурного поля ґрунтового масиву, можливість зменшити глибину свердловини</p>
<p>3. Теплова енергія від сонячного колектора повністю йде на покриття потреб ГВП та/або опалення приміщення (рис. 2.5)</p>	<p>Традиційна геліосистема. Вихідна з сонячного колектора температура теплоносія більше 50°C</p>	<p>Тепловий насос може бути вимкнений в літній період року</p>	<p>Відсутність або суттєве зменшення забору теплової енергії з ґрунтового теплообмінника</p>
<p>4. Поєднання роботи системи в режимах 1 і 3. Теплова енергія від сонячного колектора використовується безпосередньо для опалення та ГВП, наприклад, навесні і восени*, а взимку направляється в ґрунтовий теплообмінник, проходячи через випарник теплового насоса (рис. 2.6 і 2.7) (*Періоди року коригуються в залежності від кліматичних умов регіону)</p>	<p>Цільове використання сонячної енергії, короткий час перезарядки, скорочення споживання електричної енергії насосами</p>	<p>Збільшення коефіцієнта продуктивності (COP) і зменшення часу роботи</p>	<p>Відсутність або суттєве зменшення забору теплової енергії з ґрунтового теплообмінника в літній період і регенерація температурного поля ґрунтового масиву в холодний період, можливість скоротити глибину свердловини</p>

5. Вся теплота від сонячного колектора надходить в резервуар з робочою рідиною, з'єднаної з тепловим насосом і ґрунтовим теплообмінником (рис. 2.8)	Підвищення температури в порівнянні з температурою в ґрунтовому теплообміннику, що знижує ефективність	Збільшення температури в порівнянні з температурою в ґрунтовому теплообміннику, що збільшує коефіцієнт продуктивності теплового насоса	Регенерація температурного поля ґрунтового масиву, можливість скоротити глибину свердловини
---	--	--	---

Переваги комбінованого використання сонячного колектора, спільно з ґрунтовим тепловим насосом різні і залежать від типу сонячного колектора та особливостей управління системою. Сонячний колектор протягом літнього періоду може покрити всі необхідні потреби на гаряче водопостачання, тим самим збільшити життєвий цикл теплового насоса, забезпечити підвищення температурного потенціалу ґрунтового масиву, збільшити температуру робочої рідини випарника теплового насоса.

Переваги підвищення температурного потенціалу ґрунтового масиву наступні:

- підвищення температури робочої рідини, що призводить до: скорочення глибини ґрунтової свердловини; можливого збільшення швидкості витягання теплової енергії зі свердловини.
- скорочення термічного впливу на сусідні свердловини (відноситься до густонаселених районів, де свердловини пробурені близько один до одного) ;
- сонячні колектори і свердловини можуть бути спроектовані сезонними акумуляторами теплової енергії для групи будівель з єдиною централізованою системою теплопостачання.

Крім того, сонячна енергія в комбінованій системі може бути використана на:

- підвищення температури робочої рідини випарника теплового насоса;
- запобігання замерзання свердловин.

На рис. 2.3 схематично показана система, в якій вся теплота від сонячного колектора надходить через випарник теплового насоса до ґрунтового теплообмінника.

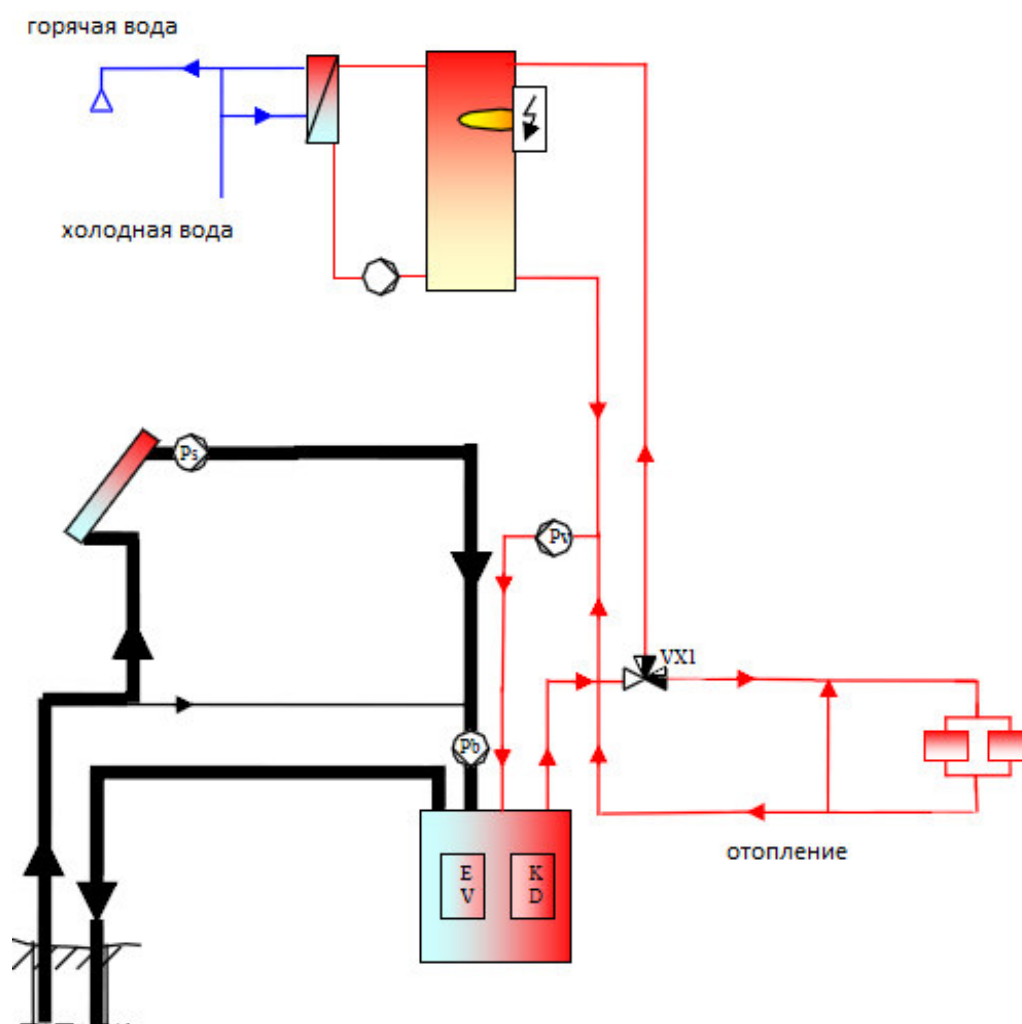


Рис. 2.3 - Технічний режим роботи 1: вся теплота від сонячного колектора, проходячи через випарник теплового насоса, надходить до ґрунтового теплообмінника

На рис. 2.4 показана схема комбінованої геліотеплонасосної системи, в якій вся тепла енергія від сонячного колектора прямо надходить до ґрунтового теплообмінника. Така схема часто використовується виробниками обладнання з метою захисту теплового насоса від високих температур.

На рис. 2.5 наведена схема комбінованої геліотеплонасосної системи, в якій вся теплова енергія від сонячного колектора йде на потреби гарячого водопостачання. Сонячний колектор з'єднаний з баком - акумулятором, як в традиційній геліосистемі гарячого водопостачання. Час роботи теплового насоса скорочено в літній проміжок часу і температурне поле ґрунтового масиву навколо ґрунтового теплообмінника підвищується природним чином від навколишнього середовища. Тепловий насос покриває весь попит на теплову енергію і працює в якості додаткового нагрівача води, коли сонячний колектор не в змозі повністю покрити потребу в гарячій воді.

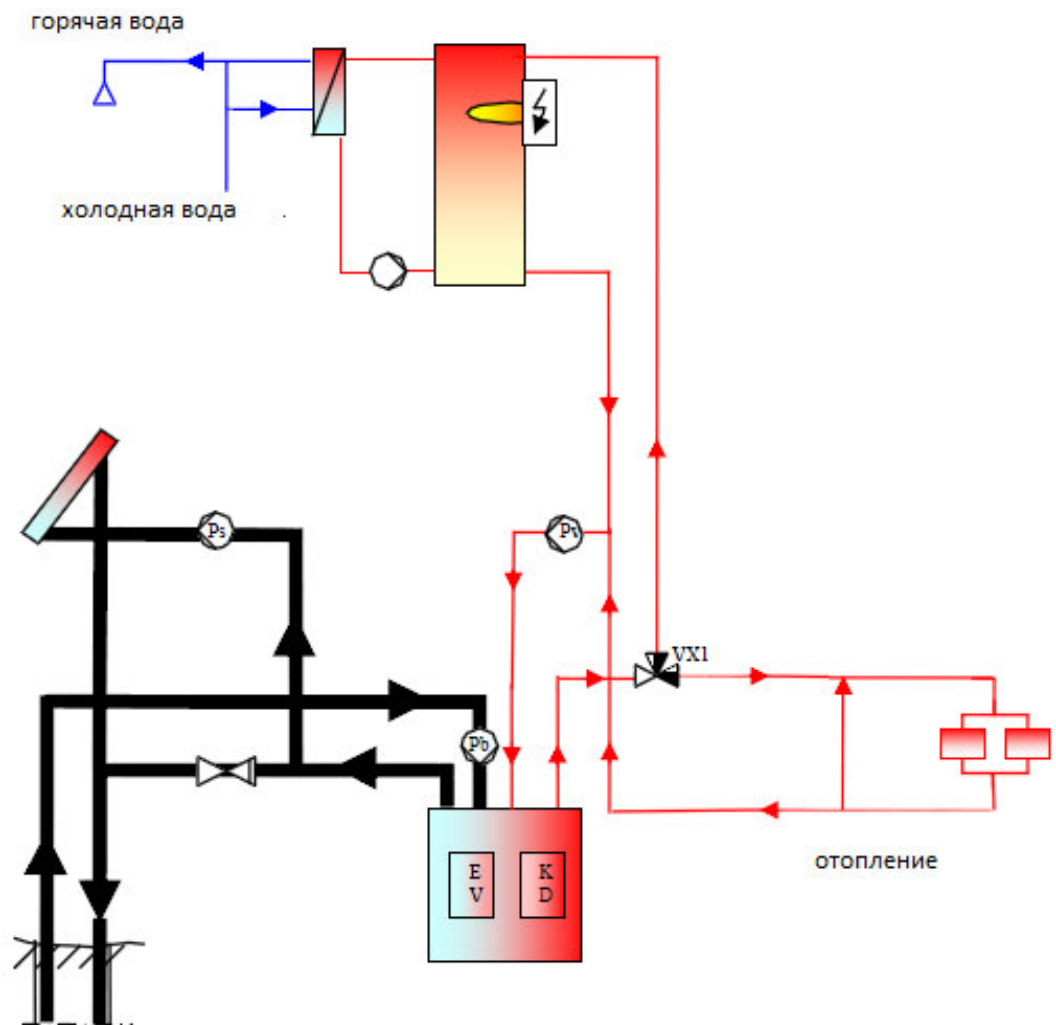


Рис. 2.4 - Технічний режим роботи системи 2: теплота від сонячного колектора прямо надходить до ґрунтового теплообмінника

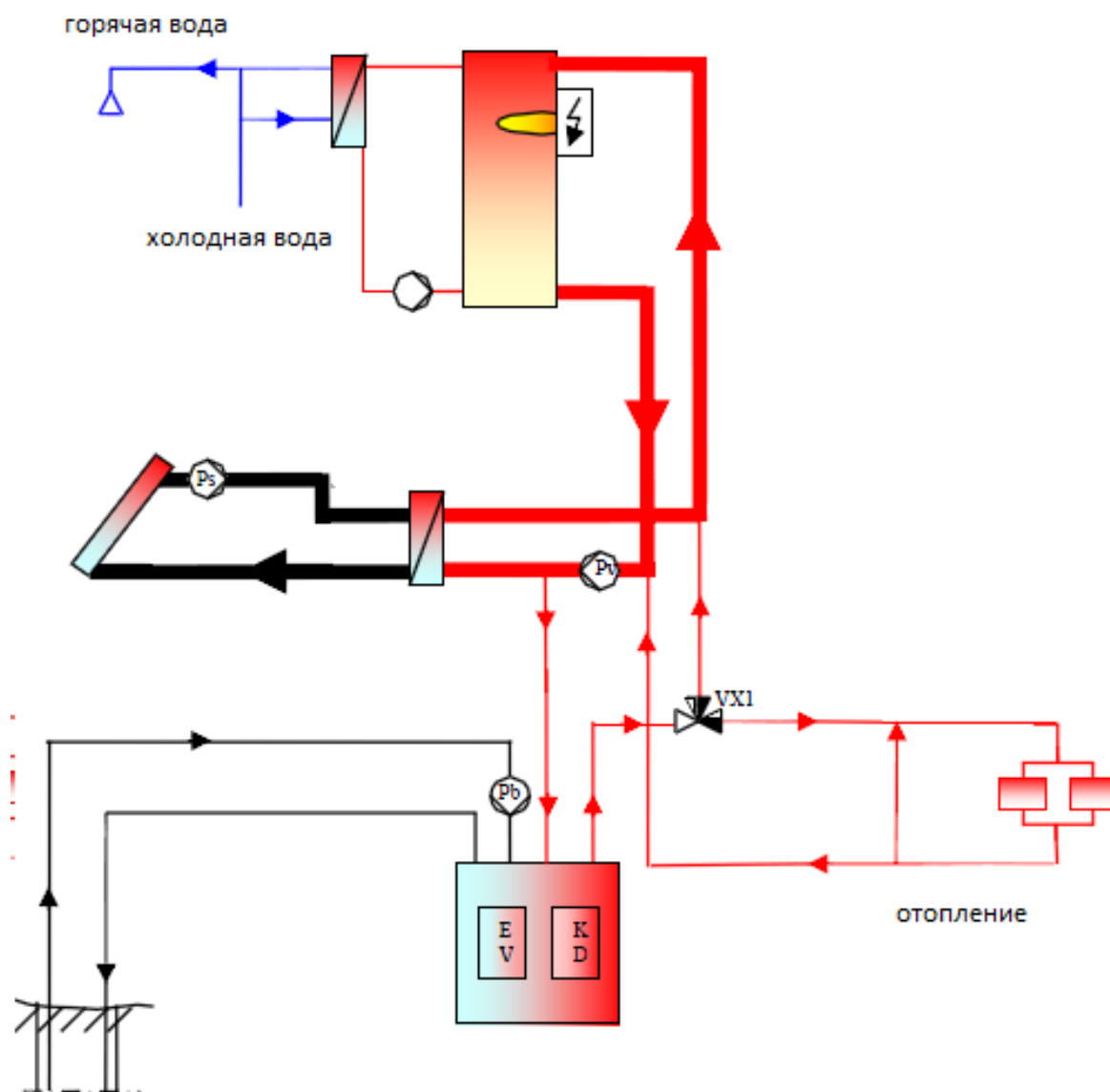


Рис. 2.5 - Технічний режим роботи системи 3: теплота від сонячного колектора повністю йде на покриття потреб ГВП та/або опалення приміщення

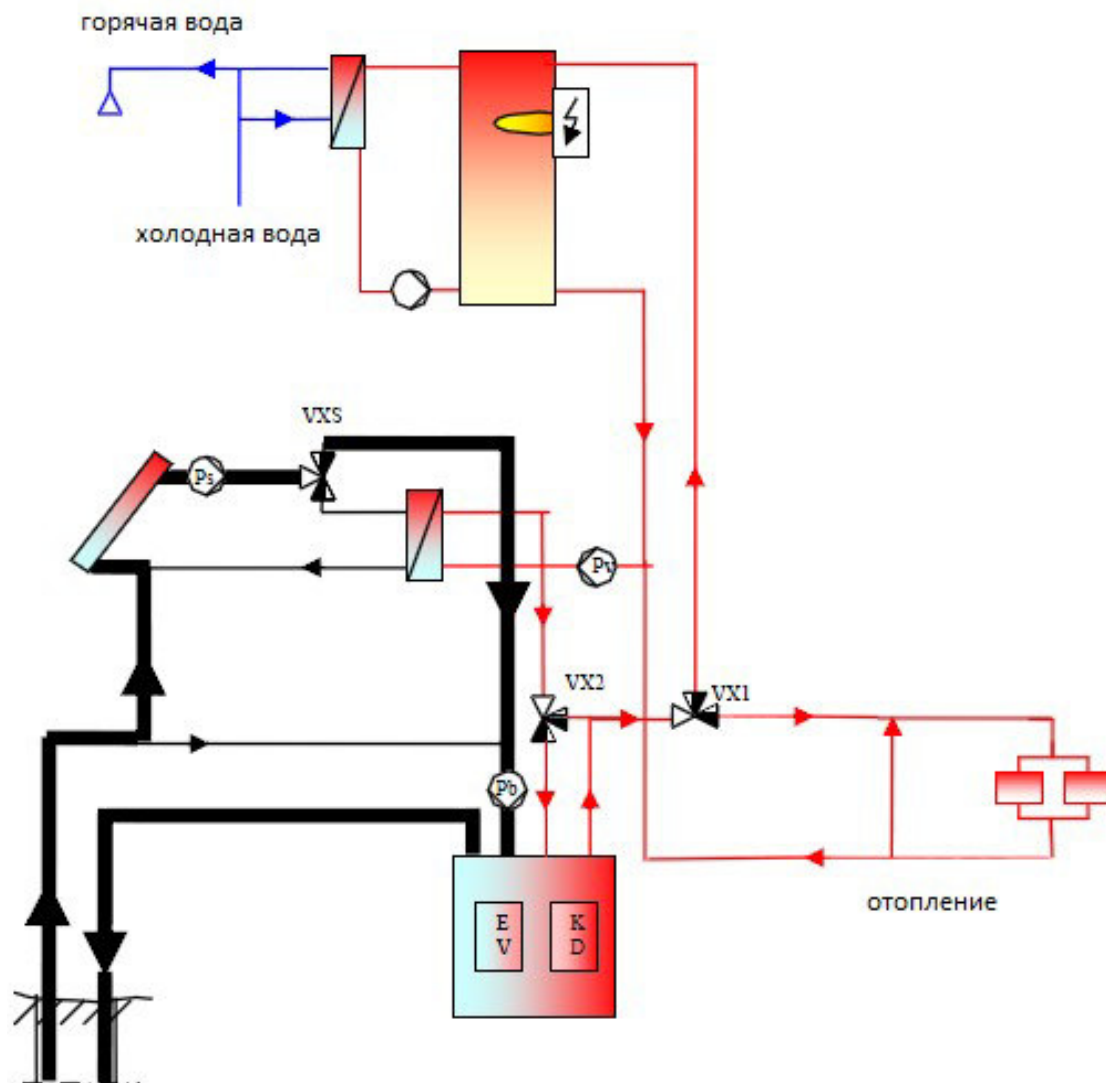


Рис. 2.6 - Технічний режим роботи системи 4 - гнучкий режим роботи: вся теплота від сонячного колектора йде на підвищення температури робочої рідини випарника або температури ґрунтового масиву (режим роботи 1).

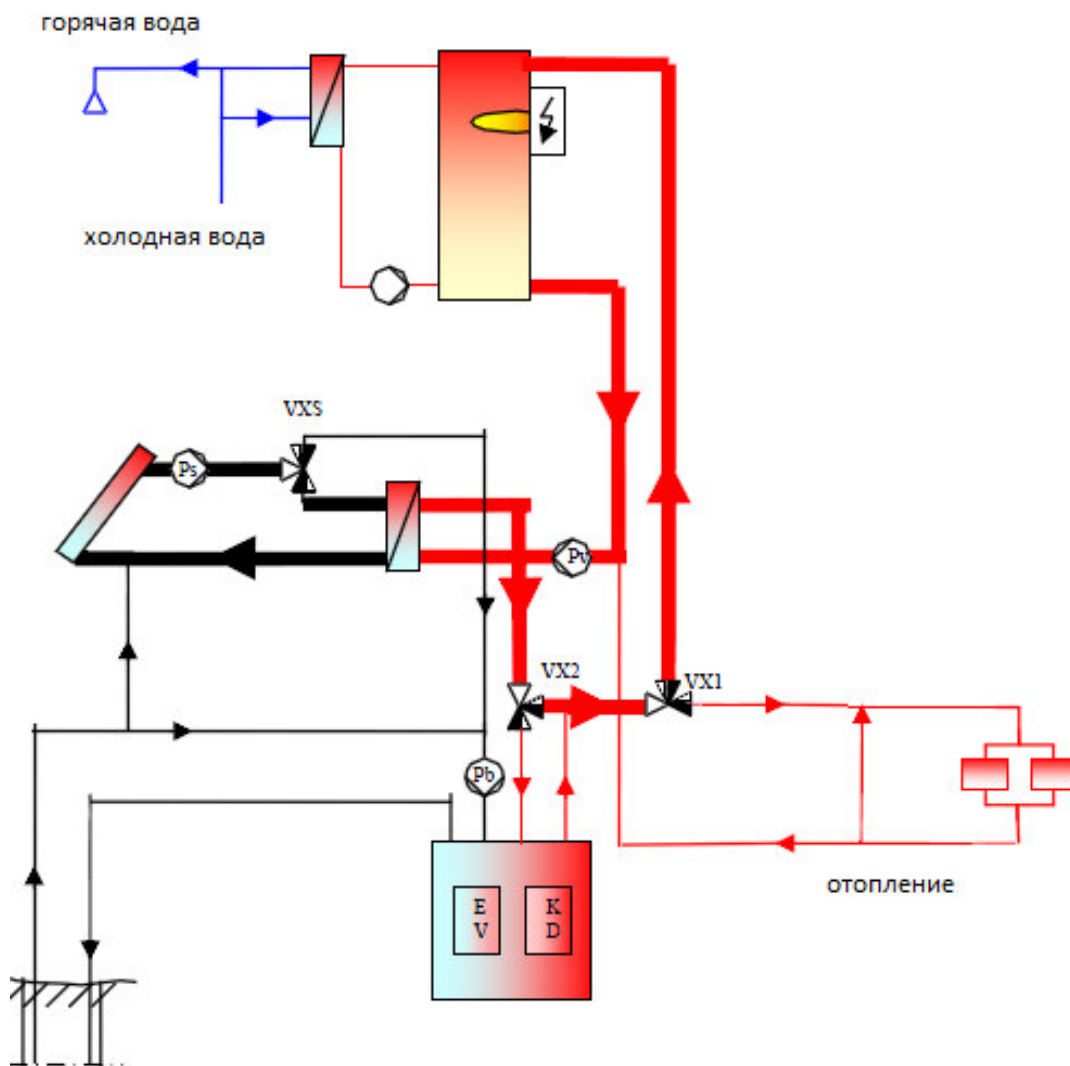


Рис. 2.7 - Технічний режим роботи системи 4 - гнучкий режим роботи: вся теплота від сонячного колектора йде на потреби ГВП та/або опалення

На рис. 2.6 и 2.7 показана схема з гнучким режимом роботи геліотеплонасосної системи, коли теплова енергія від сонячного колектора надходить через випарник теплового насоса в ґрунтову свердловину чи йде на задоволення потреб гарячого водопостачання. Сонячний колектор і ґрунтовий теплообмінник з'єднані в єдину систему і працюють в двох режимах, в залежності від сезону, як показано на рис. 2.6 і 2.7. У зимовий час вся сонячна енергія йде на підвищення температури робочої рідини випарника або температурного поля ґрунтового масиву (режим роботи 1). А в літній час, на підготовку гарячої води (режим роботи 2).

На рис. 2.8 показана схема роботи геліотеплонасосної системи, в якій тепла енергія сонячного колектора надходить в резервуар з робочою рідиною для підвищення її температури перед використанням в тепловому насосі.

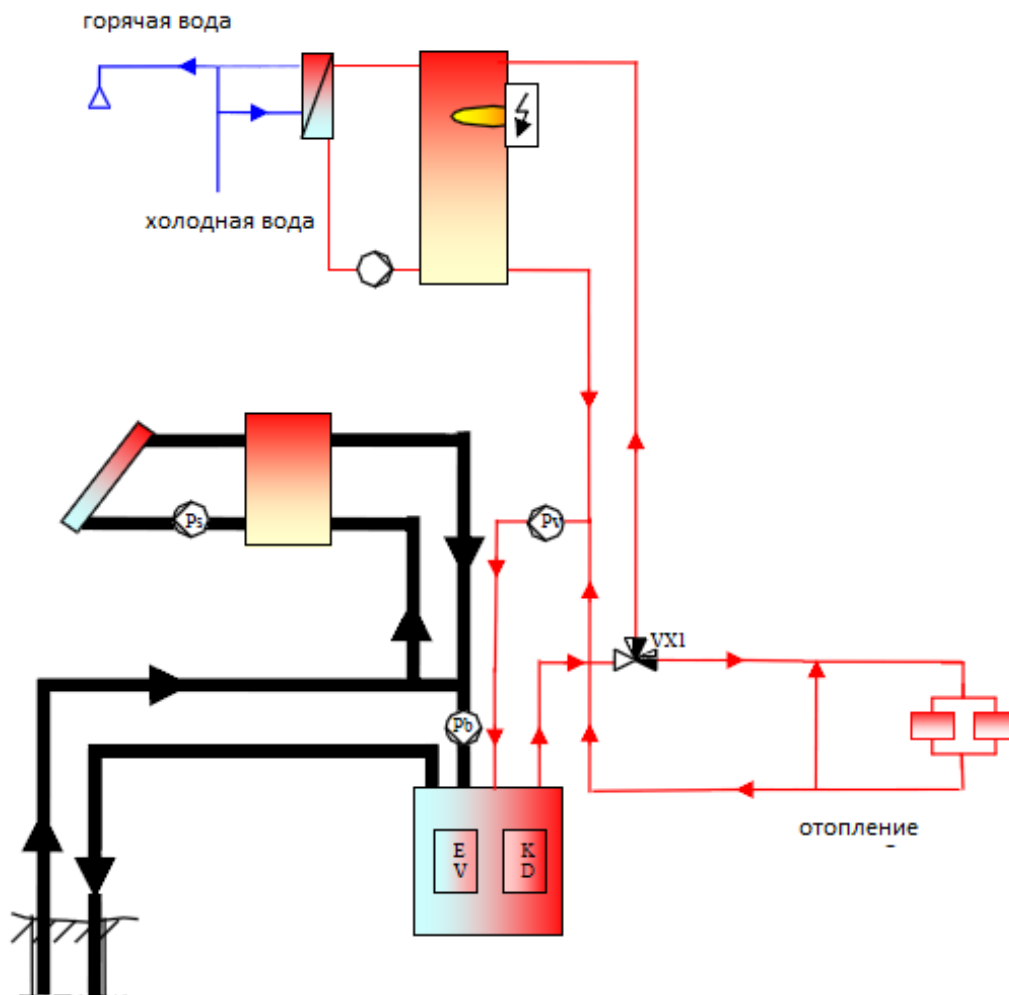


Рис. 2.8 - Технічний режим роботи системи 5: Вся теплота від сонячного колектора надходить в резервуар з робочою рідиною, з'єднаний з тепловим насосом і ґрунтовим теплообмінником

Класифікація систем за типом з'єднання представлена в діаграмі на рис. 2.9. Переважна кількість систем (61%) завдяки своїм конструктивним особливостям, простоті установки та експлуатації домінують на ринку. Системи з паралельним з'єднанням (6%) і тільки для підвищення температурного поля (регенерації) ґрунтового масиву (1%) зустрічаються

рідше. Системи з поєднанням вищевказаних режимів роботи займають не менше 33% ринку.

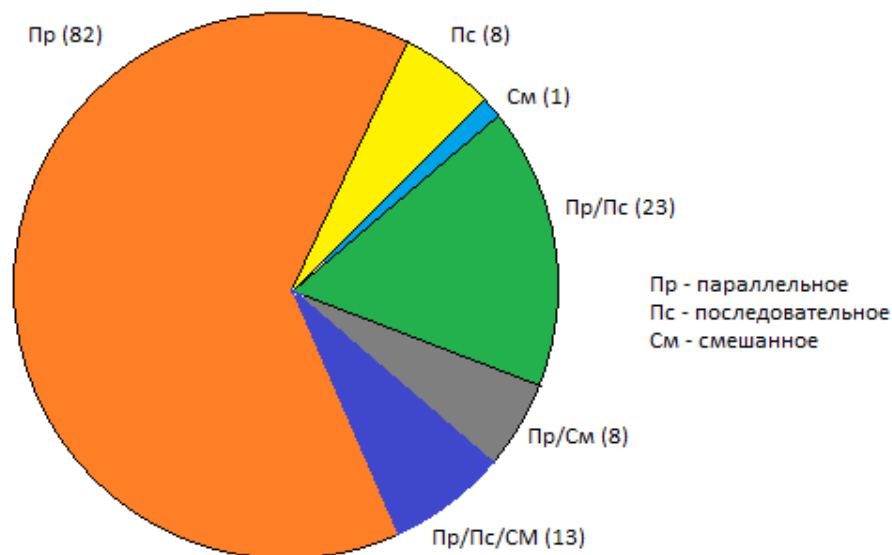


Рис. 2.9 - Класифікація систем за типом з'єднання

Найбільш поширені теплоносії для теплового насоса в досліджуваних системах - навколишнє повітря (27%) та ґрунт (23%). Використання води (9%) і відпрацьованого повітря (2%) незначне (рис. 2.10).

Класифікація систем за типом використання сонячного колектора представлена на рис. 2.11.

Практично в половині досліджених систем використовується плоский сонячний колектор (47%), а вакуумними колекторами оснащені тільки 2% систем. Незасклені колектори використовуються в 7% систем.

З вищесказаного можна зробити висновок, що ринок розвинених країн пропонує великий вибір комбінованих сонячно-теплонасосних систем. Компанії-виробники найчастіше пропонують комбіновані геліотеплонасосні системи, які покривають потреби, як опалення, так і гарячого водопостачання та оснащені плоским сонячним колектором і ґрунтовим або повітряним тепловим насосом.

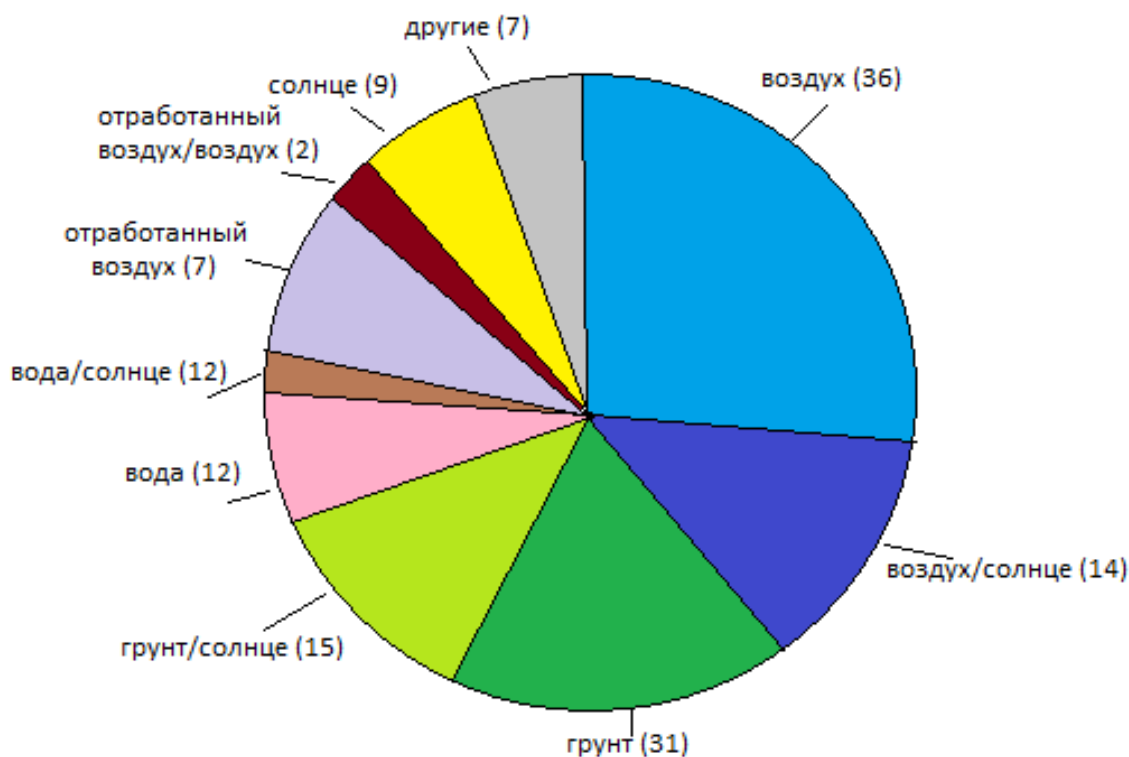


Рис. 2.10 - Класифікація систем за типом теплоносія, що використовується



Рис. 2.11 - Класифікація систем за типом сонячних колекторів

2.2 Электрозабеспечение на базе возобновляемых источников энергии

Актуальність використання відновлюваних джерел енергії продовжує зростати, у тому числі і в Україні. Чималий інтерес представляє використання сонячної та вітрової енергетики, як найбільш зручних і економічно доцільних способів прямої генерації електроенергії. Сучасна вітроенергетика дає щороку 200 ТВт·год електричної енергії, що еквівалентно 1,3% від її світового виробництва, а в деяких країнах і регіонах світу частка вітроенергетики в загальному балансі виробітку електроенергії складає 40% і навіть більше.

Світовий ринок з виробництва вітрових енергетичних установок (ВЕУ) збільшується з кожним роком. Лідерами ринку продовжують бути європейські компанії. Деякі зарубіжні виробники горизонтальних вітрогенераторів невеликої номінальної електричної потужності (2 - 20 кВт), представлені на ринку станом на 2013 рік: ARI Green Energy, Aeolos Wind Turbine, Aerosmart, Aircon, Aventa, BergeyWindpower, BetriebsführungEisenschmidt, Braun Windturbinen GmbH, Craftskills, East Wind Power, First Renewable Energy Group Limited, First Wind Turbine Manufacturing, FlexiEnergy, Huamin WindPower, Kestrel Wind Turbines, Prowin, Renewable Engineered Systems, The Windfactory, Ventera Energy Corp, Wind Turbine Industries та інші.

Сучасний ринок вітроенергетики України представлено 16 діючими вітростанціями (ВЕС), а також власними потужностями по виробництву сучасних віротурбін мегаватного класу. В 2018 році потужність встановлених вітроенергетичних потужностей в Україні збільшилось на 150,7 МВт. Таким чином, до кінця 2018 року сумарна потужність вітроенергетики України склала 301,8 МВт, з яких 276,8 МВт були приєднані до національної енергомережі. Ринок малих віротурбін базується на автономних установках, приєднаних до електроакумуляторів. Останні роки гідрідно вітро-фотоелектричні системи стають все більш популярними. Географічний розподіл малих віротурбін включає в себе всі регіони України.

Для українського ринку найбільш типовими виробниками вітроагрегатів малої потужності горизонтального типу є: Windelectric, Winder, Eurowind

iFlamingo. З цього ряду можна виділити бренд Flamingo, який призводить зазначену номінальну швидкість вітрогенераторів в 9 м/с і менше, в той час як деякі інші виробники номінальної потужності зіставляють швидкість в 12 м/с. Більшість установок різних потужностей вищевказаних виробників має номінальну швидкість 10 м/с, в свою чергу у Flamingo діапазон номінальних швидкостей вітру лежить в межах 7,5 - 9 м/с.

При роботі вітроустановок для потреб житлового сектора також необхідно враховувати, що при висоті щогли понад 30 м необхідні спеціальні дозволи для роботи агрегату. Варто згадати, що зі зміною висоти вартість щогли, установки вітроагрегату, як і збільшення генерації електроенергії, зростає нелінійно. Тому висоту щогли трохи менше 30 м можна вважати оптимальною для встановлення вітрогенераторів малої потужності. Вищевказаної щоглі непогано підійдуть установки потужністю близько 20 кВт, що враховуючи коефіцієнт використання номінальної потужності для установок подібного класу (близько 15 - 30%, залежно від вітрової площадки) надасть до 6 кВт усередненої потужності, що приблизно складе потужність одного автономного споживача електроенергії, або адекватну точку генерації для підключення в низьковольтні мережі без додаткових витрат у чималій відсотку випадків.

Фотоенергетика в Україні за рахунок зеленого тарифу розвивається досить динамічно.

На ринку України можна відзначити китайського виробника ETSolar, з полікристалічним сонячним модулем ET - P660240WW ціна якого становить близько 0,8 євро за Вт встановленої потужності (в Україні відповідно).

Фотомодулі зручно ставити номінальною потужністю в 4 - 6 кВт, що відповідає одиничній потужності однофазних інверторів, так як прагнення до великих потужностям як у вітроенергетиці не спостерігається, а змонтувати такі потужності порівняно легко, капіталовкладення помірні.

Основним чинником, що стимулює розвиток відновлюваної енергетики, є державна підтримка. Дуже важливо правильно вибрати обладнання,

насамперед виходячи з його техніко - економічних показників, а в подальшому повністю використовувати місцевий потенціал низькопотенційної навколишньої енергії, так як оперувати установками дуже малих потужностей (2 кВт встановленої потужності і менше) економічно недоцільно і затратно.

Схема використання установок відновлюваної енергетики вельми проста, при належному менеджменті і розвиненому ринку, з'являється можливість, поступової часткової заміни традиційних електрогенеруючих потужностей альтернативними, в тому числі, в житловому секторі.

3 ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДИНКІВ ПАСИВНОГО ТИПУ

На житлово-комунальний сектор припадає найбільша частина кінцевого споживання енергії, зокрема в ЄС - 42% енергії. При цьому в житлових будинках створюється емісія близько 35% всіх парникових газів, що визначає необхідність охорони навколишнього середовища та аспекти здорового способу життя. В Україні на житлово-комунальний сектор припадає понад 40% спожитої енергії, а ефективність можливих енергозберігаючих заходів у цій галузі в масштабі держави перевищує можливу економію таких традиційно енергоємних галузях як металургія, хімічна промисловість та ін.

Високе споживання енергії за повний цикл експлуатації будинків складає в Україні в середньому понад 300 кВтгод/м² на рік опалюваної площі і повинне бути значно скорочене в майбутньому за рахунок енергозбереження та підвищення енергоефективності інженерних мереж. При цьому має змінитись також структура споживання енергії, що призведе до використання інших, інноваційних техніко-технологічних рішень у будівництві та системах енергозабезпечення сучасних будівель.

Одним з напрямків вирішення цієї проблеми є будівництво пасивних будинків. Пасивний будинок – це об'єкт із низькою енергетичною потребою (щонайбільше 15 кВт·год/м² протягом року). Настільки незначна потреба в енергії дає змогу відмовитися від традиційних систем обігрівання і охолодження. Архітектори захоплені ідеєю створення будинку, який буде сам себе обігрівати та охолоджувати, в якому активні джерела енергії будуть замінені на пасивні, тобто на теплову енергію, що виділяється людьми у приміщення, працюючими електроприладами, теплом – як сонячним, так і вилученим із вентиляційного повітря. А якщо також передбачити в проекті традиційну систему обігріву, то тільки для підтримки теплового режиму під час найхолодніших днів у році. Однак поняття «пасивний будинок» зовсім не означає, що це будинок із нульовою потребою в енергії.

Основними вимогами до пасивного будинку в Європі є:

- питомі витрати теплової енергії на опалення, визначені за допомогою «Пакету проектування пасивного будинку» (PHPP), не повинні перевищувати $15 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ в рік;
- загальне споживання первинної енергії для всіх побутових потреб (опалення, гаряча вода та електрична енергія), не повинне перевищувати $< 120 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ в рік.

Щоб забезпечити необхідну величину питомих витрат теплової енергії на опалення пасивних будинків у кліматі Середньої Європи встановлені наступні обов'язкові вимоги:

- коефіцієнти теплопередачі U для зовнішніх стін, покрівлі та підлоги першого поверху повинні складати менше $0,15 \text{ Вт}/(\text{мК})$. коефіцієнт теплопередачі застосування $U_{\text{ст}} < 0,7 \text{ Вт}/(\text{мК})$, коефіцієнт теплопередачі для віконного профілю $U_{\text{проф}} < 0,8 \text{ Вт}/(\text{мК})$;
- зведений коефіцієнт теплопередачі вікна з урахуванням монтажу в стіну $U_{\text{вікн}} < 0,85 \text{ Вт}/(\text{мК})$;
- максимально можливе зниження негативного ефекту від теплових мостів;
- ККД рекуператора системи вентиляції повинен бути більше 75%, щоб забезпечувалось ефективне повернення тепла (рекомендується більше 80%);
- повинна забезпечуватися герметичність зовнішньої оболонки будівлі.

Крім того, пасивний будинок є екологічною конструкцією, сприятливою для його мешканців. В ньому не буває протягів, панує оптимальний температурний комфорт, повітря завжди чисте і свіже. Навіть взимку вікна із зовнішнього боку теплі. В такому будинку підтримується оптимальний рівень вологості.

Для України рекомендовані наступні стандарти енергоефективних будинків.

Стандарт енергоефективного будинку.

Впровадження цього стандарту повинно, в умовах наявності стандартних енергетичних мереж, забезпечувати окупність заходів з підвищення теплозахисних властивостей огорожуючих конструкцій. Така окупність буде реальною на тлі прогнозованих цін на енергоносії, якщо в результаті зміни огорожуючих конструкцій підвищити опір теплопередачі стін до $R = 3,5 - 4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, вікон до $R = 0,75 - 0,85 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ та використовувати пасивні сонячні колектори-веранди (оранжереї) з їх інтеграцією до планувальної структури і орієнтацією на південь, а також при використанні рекуператорів тепла з ККД в межах 50 - 60%. Цей стандарт є реальним для впровадження в більшості будівель, які забезпечені сучасними зовнішніми мережами і не потребують (як обов'язковий захід) у більшості випадків альтернативних джерел енергопостачання.

Стандарт енергонезалежного будинку.

Цей стандарт стає окупним уже на момент будівництва для житлових районів і будівельних майданчиків, в яких відсутні інженерні мережі газопостачання, а також централізовані теплові мережі, а потужність електричних мереж менше необхідного навантаження для житлового району. Необхідне доведення опору теплопередачі стін до $R = 4,0 - 7,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, вікон до $R = 0,85 - 1,15 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, а також використання пасивних сонячних колекторів-веранд (оранжереї) з їх інтеграцією у планувальну структуру та орієнтацією на південь, а також при обов'язковому використанні високоефективних рекуператорів, які охоплюють повернення тепла не тільки вентиляційних систем, але й каналізованих стоків з ККД в межах 60 – 90% (в середньому 75%). Обов'язковою вимогою зазначених систем є використання альтернативних джерел і способів енергопостачання – теплових насосів, сонячних колекторів та вітряно-сонячних електростанцій та різноманітних акумуляційних систем тепла і електроенергії, для яких передбачаються окремі, як правило достатньо великі за розміром приміщення, резервуари і акумулятори. Забезпечення енергопостачання будинку енергією від

альтернативних джерел робить одночасно енергонезалежний будинок екологічним, що не надає небезпечних викидів в атмосферу.

На рис. 3.1 показано принципову відмінність пасивного будинку від традиційного з звичайною системою опалення.

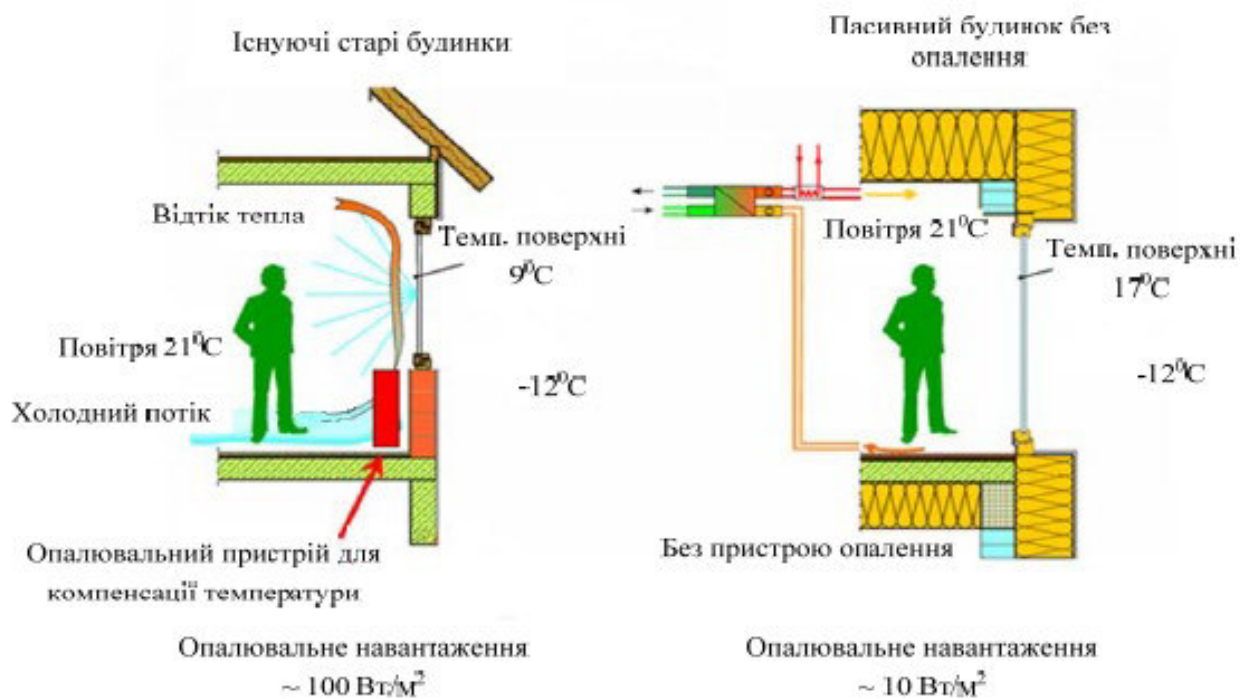


Рис. 3.1 – Відмінності у теплозабезпеченні пасивного будинку та традиційного

До будівельної частини слід віднести уточнення, пов'язані з посиленням теплоізоляції, використанням енергоефективних вікон, оснащення вентиляційних установок теплообмінниками повітря-повітря і об'єднання їх в єдину систему. Схема пасивного будинку та вимоги щодо забезпечення параметрів пасивного будинку приведені на рис. 3.2.

Особливістю досліджень пасивних будинків є принципи раціонального проектування комбінованих систем теплозабезпечення, що полягають у розробці методів оптимізації по заданому критерію, який би задовольняв всім вимогам чинних будівельних норм при заданих обмеженнях, з урахуванням життєвого циклу будівлі.

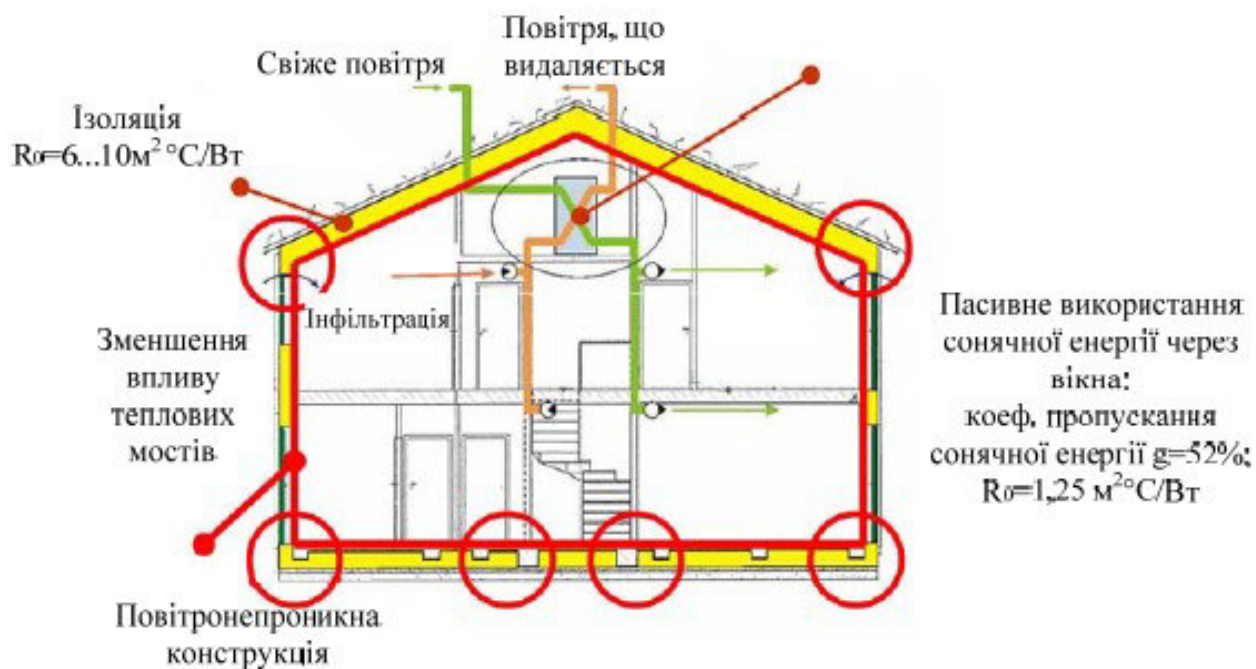


Рис. 3.2 – Схема пасивного будинку

В загальному випадку ці вимоги можна сформулювати у вигляді системи нерівностей у вигляді оператора

$$y_i(x_1, x_2, \dots, x_m) \leq 0 \quad (3.1)$$

де $i = 1, 2, \dots, m$, а x_m – функціонально залежні параметри будівельних конструкцій та інженерних систем будівлі.

Завдання раціонального проектування комбінованих систем теплозабезпечення будинків полягає в тому, щоб при виконанні умов (3.1) забезпечити мінімум критерію, за яким оцінюється проект. Цей критерій залежить від параметрів x_m . В якості цільової функції найчастіше доцільно обирати критерій, приведений до загальної площі будівлі

$$\varepsilon(x_1, x_2, \dots, x_m) = \min \quad (3.2)$$

До критеріїв оптимізації при дослідженні цільової функції можна віднести:

- **критерій економічної ефективності (окупності інвестицій).** Для України на поточному етапі найбільш ефективним слід і вважати не наближення до моделі пасивного будинку, а запровадження заходів з енергозбереження, що дозволять суттєво зменшити витрати тепла на опалення при додаткових капіталовкладеннях у будівництво до 10 - 15%. Серед таких заходів слід розглядати підвищення термічного опору стін до $R = 3,5 - 4,0 \text{ м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт}$, вікон до $R = 0,75 - 0,85 \text{ м}^2\cdot\text{°C}/\text{Вт}$, а також використання пасивних сонячних колекторів-веранд (оранжерей) з їх інтеграцією у планувальну структуру і орієнтацією на південь;

- **критерій енергонезалежності.** В оцінці витрат на будівництво житлових будинків часто не враховується весь комплекс робіт, пов'язаний з приєднанням до зовнішніх інженерних мереж. Є випадки, коли прокладення нових ділянок газових мереж супроводжується витратами, пов'язаними з відчуженням землі на охоронні зони і т.д. Таким чином, в умовах вибіркового будівництва і існуючій забудові, де потужність магістральних зовнішніх мереж вичерпана, будівництва у віддалених районах, в регіонах, де не створені газові розподільчі станції, стає економічно доцільним будівництво енергоефективних або навіть пасивних будинків з використанням альтернативних джерел енергії. Отже, замість будівництва та приєднання до зовнішніх мереж економічно ефективними можуть бути заходи з підвищення енергоефективності майбутнього будинку;

- **критерій екологічної ефективності.** В світі є ціла низка урядових і міжурядових рухів, які забезпечують компенсації для забудовників і власників житла, які гарантують високі екологічні показники і сприяють зменшенню

викидів CO₂. Методи заохочення торкаються грошових компенсацій, безпроцентних субсидій на енергонезалежні проекти та ін.;

- **критерій надійності інвестицій.** Якщо на стадії будівництва житла власник (інвестор) в змозі профінансувати додаткові заходи щодо енергозбереження, це буде найбільшою гарантією того, що будинок можна буде ефективно експлуатувати в майбутньому при постійному зростанні тарифів на енергоносії. Ця обставина одним з головних чинників надійного і довгострокового заощадження коштів. Отже, створення енергоефективного житла є найкращим захистом інвестицій домовласників.

Як зазначено в матеріалах щодо проектування пасивних будинків РНРР 2007, розрізняють наступні етапи проектування систем енергозабезпечення пасивного будинку (рис. 3.3).

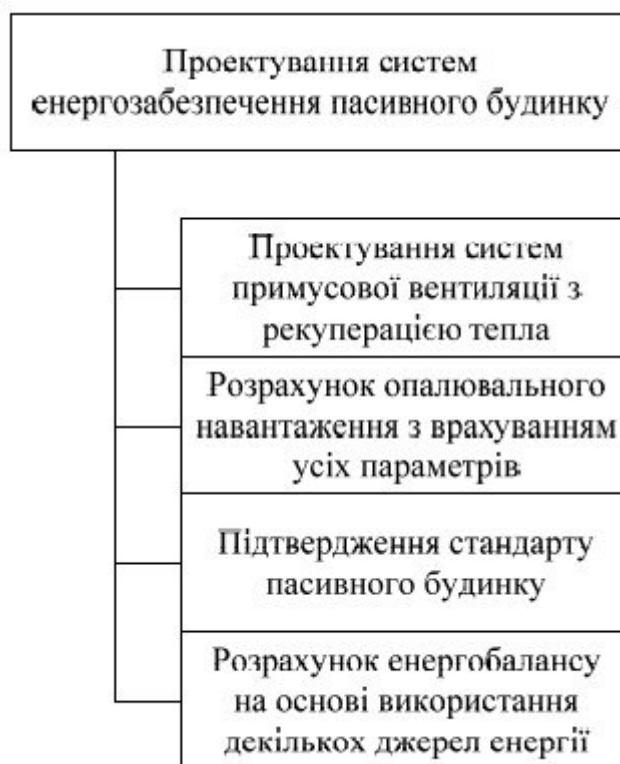


Рис. 3.3 – Етапи проектування систем енергозабезпечення пасивного будинку

Методики розрахунків та крайові умови енергетичного балансу пасивного будинку враховують кліматичні умови, лінійні та точкові теплові мости, норми непрозорих та прозорих будівельних конструкцій. Розрахунок тепловтрат включає трансмісійні тепловтрати через непрозорі огорожуючі конструкції, трансмісійні тепловтрати через вікна, теплові мости, вентиляційні втрати. Розрахунок джерел тепла включає: внутрішні джерела тепла (позитивні – теплота від людей та пристроїв, від’ємні – енергія на нагрівання і випаровування води) та сонячна радіація. Діаграма розподілу надходжень тепла пасивного будинку від внутрішніх джерел зображена на рис. 3.4.

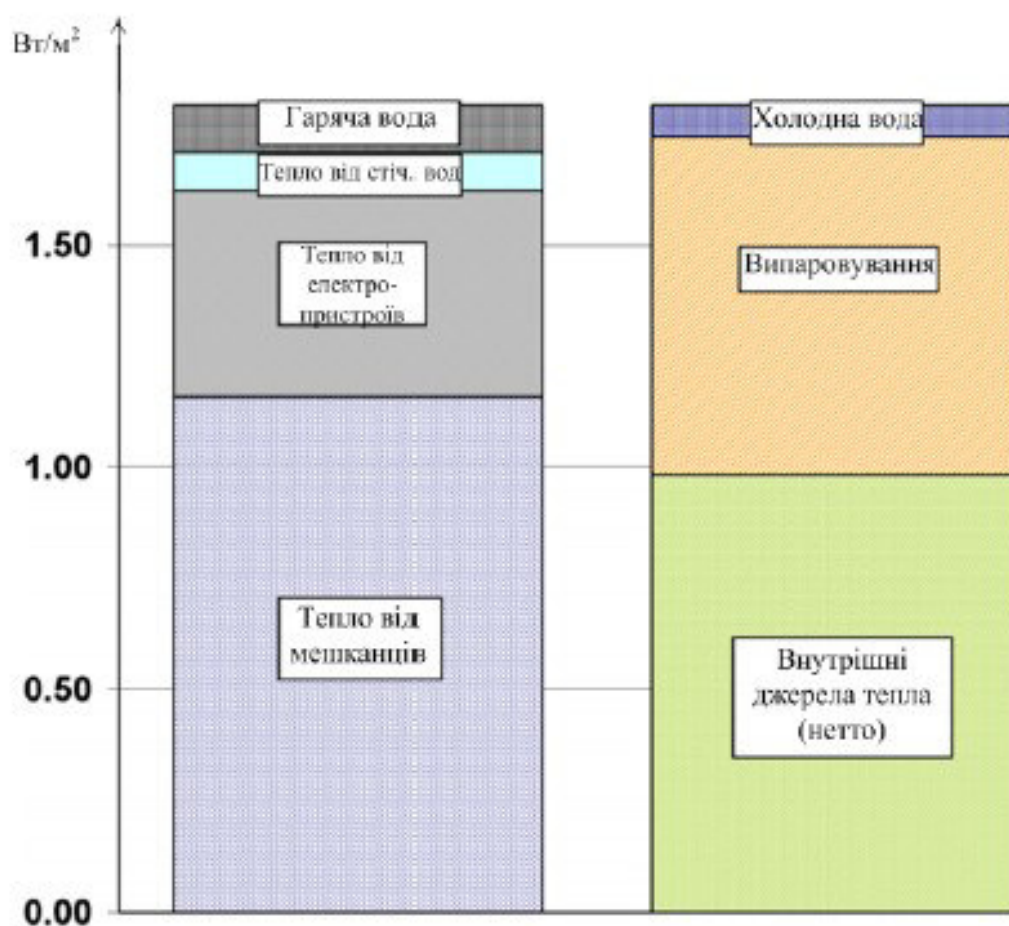


Рис. 3.4 – Діаграма розподілу надходжень теплоти до пасивного будинку від внутрішніх джерел

Порядок розрахунку теплового енергобалансу для пасивного будинку показаний на рис. 3.5.

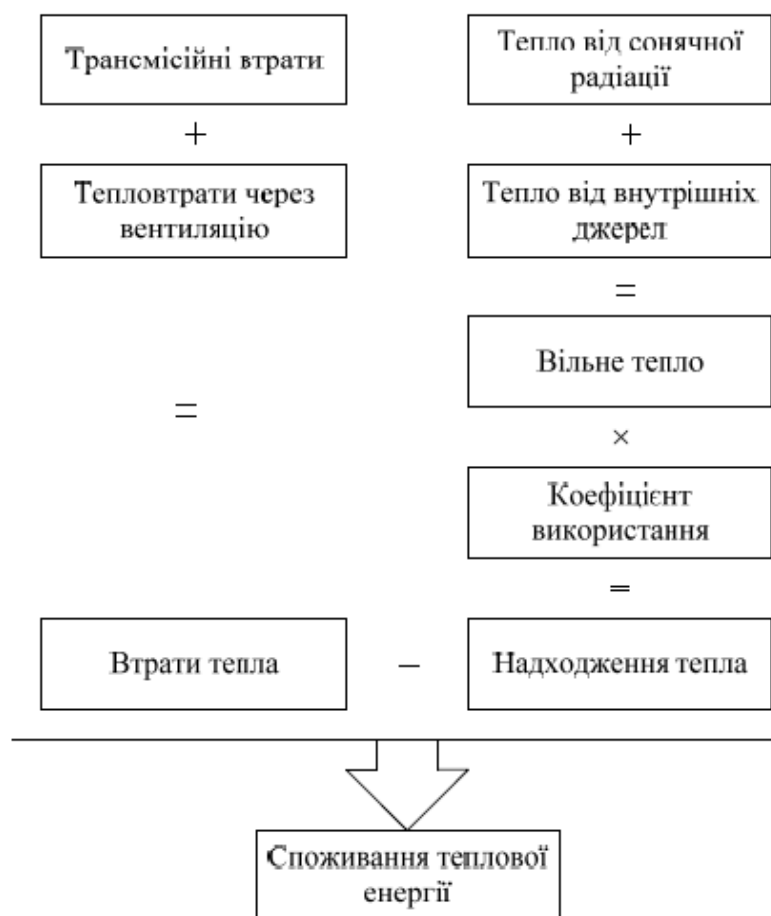


Рис. 3.5 – Тепловий баланс пасивного будинку

Зміна структури споживання енергії пасивного будинку вимагає іншого підходу при формуванні технічної бази системи теплозабезпечення. Із структури теплоспоживання пасивного будинку впливає, що забезпечення мікроклімату є найбільш енергозатратним і може бути реалізовано шляхом використання системи примусової вентиляції з рекуперацією теплоти.

Враховуючи всі існуючі передумови, розробка сучасних комбінованих систем теплозабезпечення пасивних будинків набуває широкого значення і є актуальною науковою задачею, вирішення якої потребує енергетичного аудиту, енергоефективних будівельних конструкцій та матеріалів, інтелектуалізації процесу теплоспоживання.

4 МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОВІТРЯНО-ГРУНТОВОГО ТЕПЛООБМІННИКА ДЛЯ СТВОРЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ЗАВІСИ ФАСАДНИХ СТІН ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО БУДИНКУ

4.1 Конструкція геотермальної системи повітряної теплової завіси фасаду будинку

В основу організації повітряно-теплової завіси фасадів покладено ідею нагрівання зовнішнього повітря від відновлюваної теплоти ґрунту за допомогою низки розгалужених горизонтальних трубних теплообмінників неглибокого закладання в ґрунтовому масиві.

Така конструкція забезпечуватиме умови для руху повітря завдяки природній конвекції. При цьому, як наслідок, має місце зменшення температурного градієнту в огорожувальних конструкціях та додаткове видалення надлишкової вологи з їхньої структури

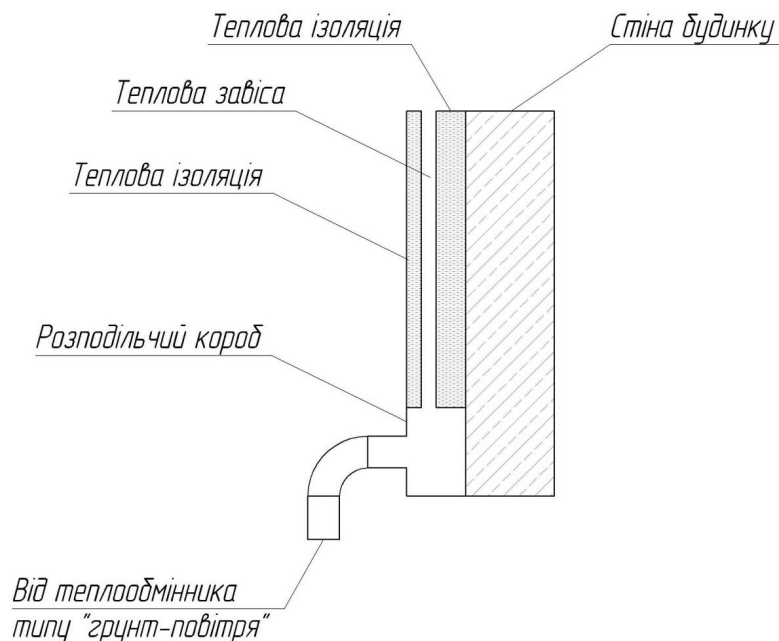


Рис. 4.1 – Схема розподільчого коробу та щілинного зазору теплової завіси

Такий спосіб забезпечення повітряно-теплової завіси теплотою ґрунту, в цілому, дає можливість відмовитися від використання вичерпних джерел енергії (природний газ, вугілля), від застосування теплового насоса і використання електричної енергії, натомість використовувати енергію теплоти ґрунту.

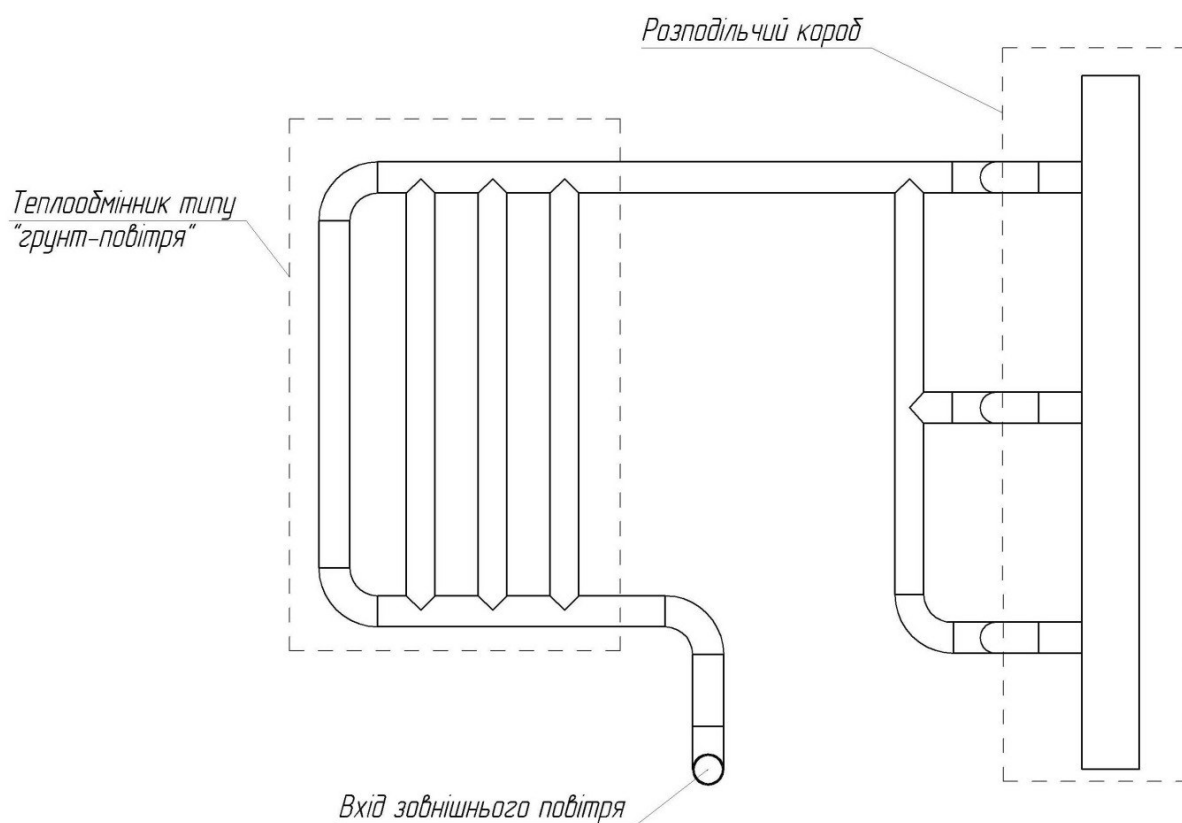


Рис. 4.2 – Поперечний переріз стіни енергоефективного будинку

Використання горизонтальних теплообмінників неглибокого залягання в ґрунтовому масиві дає можливість не витратити кошти на спеціалізовану техніку, а встановлювати їх за допомогою підручних засобів, на прибудинковій території для забезпечення підігрівання повітря.

Застосування розподільчого коробу забезпечить рівномірну подачу підігрітого повітря по всій довжині стіни.

На стіні будинку, проміжок біля віконних отворів заповнюється утеплювачем, задля того, щоб підігріте повітря не виходило на вулицю продовжуючи циркулювати біля стіни і перекриття.

Цей спосіб можна реалізувати наступним чином. Повітря з довкілля через вхідний отвір забірника надходить до ґрунтового теплообмінника. Оскільки температура ґрунтового масиву цілорічно складає приблизно 8°C в географічно-кліматичних умовах м. Києва повітря підігрівається в холодний період року. Далі воно надходить до розподільчого коробу та завдяки стратифікації густини в залежності від температури здійснюється (самотягою) в міжшаровому просторі шириною 50 мм стінової конструкції. Далі охолоджене повітря після проходження прошарком самоплинно видаляється під дахом будинку назовні. При цьому, ґрунтовий теплообмінник розташовано горизонтально нижче глибини промерзання ґрунту та, для уникнення втрат теплоти через поверхню землі, ізолювано захисним шаром. Повітряно-теплова завіса зберігає теплоту в будинку за рахунок зменшення градієнта температур за товщиною стіни.

Запропонований спосіб забезпечення повітряно-теплової завіси теплотою ґрунту дає можливість створити теплову завісу, що яка не залежить від системи теплопостачання будинку та використовує теплову енергію ґрунту. Корисна модель є простою і надійною в експлуатації і дозволяє підтримувати необхідний температурний режим в приміщеннях, та навколо нього, а також попередити вплив надмірної вологи та перехолодження стін будівель.

Перед експериментальною перевіркою такого способу утеплення потрібно визначити такі основні характеристики, як швидкість руху і значення температури повітря в тепловій завісі за допомогою числового дослідження.

4.2 Числове моделювання теплової повітряної завіси стін енергоефективного будинку

У магістерській роботі розглядається стаціонарна задача руху повітря в горизонтальному ґрунтовому теплообміннику та зазорі теплової завіси будинку (рис. 4.1.). Режим течій передбачався ламінарний. В першому наближенні розглядалась двовимірна постановка задачі. Розрахункова область представляла собою поперечний переріз огорожувальної конструкції з подальшим розширенням до області навколишнього середовища. Це розширення необхідно щоб врахувати теплообмін стіни та теплової завіси з навколишнім повітрям.

Використання теплового потенціалу ґрунту для охолодження або нагріву повітря є відомою і дуже давньою технологією. В сучасних умовах, посилена теплоізоляція пасивних будинків дає можливість використовувати такі низько потенціальні джерела теплоти для зменшення енергоспоживання будинків, як взимку так і в літку.

Одним із засобів мінімізації енергоспоживання енергоефективного будинку пасивного типу є обладнання його тепловою завісою фасадних стін. Теплова завіса фасадних стін організовується за допомогою горизонтальних ґрунтово-повітряних теплообмінників неглибокого залягання. Повітряно-ґрунтовий теплообмінник складається з групи повітряних каналів, що розташовані під землею на невеликій глибині.

Принцип експлуатації повітряно-ґрунтового теплообмінника засноване на використанні цілорічної наявності різниці між значеннями температури повітря та ґрунту. Влітку температура ґрунту на певній глибині нижча за температуру зовнішнього повітря, а тому є можливість охолодити повітря, що рухається такими каналами на певну величину. А взимку навпаки, температура ґрунту, що розташований нижче глибини промерзання, вища за температуру повітря, тобто є можливість нагрівати повітря від теплоти ґрунту. Таке нагріте або охолоджене навколишнє повітря зазвичай використовують для вентиляції,

зменшення теплових втрат будинку, або підвищення рівня теплового комфорту людей, що знаходяться в приміщенні.

При розв'язанні задачі про теплообмін повітряно-грунтового теплообмінника інтерес представляють формули, що описують температуру навколишнього повітря впродовж року. Така залежність може використовуватись в якості граничної умови для температури повітря на вході в теплообмінник. Наприклад, може бути використана залежність виду [1]

$$\vartheta_{A,0}(t) = \vartheta_m + (\vartheta_{\max} - \vartheta_m) \cdot \cos\left(2\pi \frac{t}{t_0}\right) \quad (4.1)$$

де ϑ_m – середньорічна температура повітря, °С; ϑ_{\max} – максимальна температура повітря впродовж року, °С; t_0 – тривалість теплового періоду року, с.

При розрахунках за такою формулою графік зміни температури повітря впродовж року, за умови $\vartheta_m=10^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\max}=25^\circ\text{C}$, $t_0=145$ діб, набуває вигляду, що зображений на рис. 4.3.

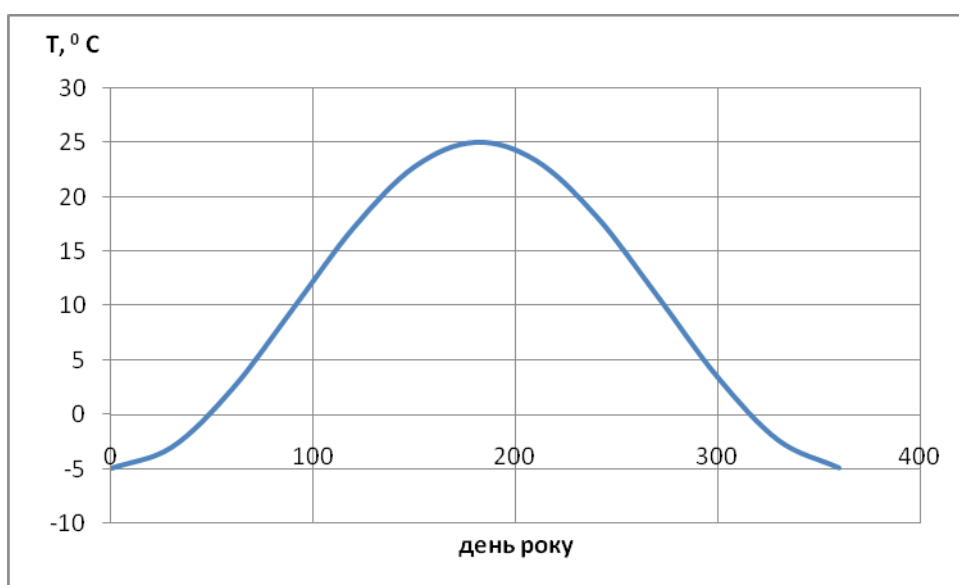


Рис. 4.3 – Графік зміни температури повітря (за формулою (4.3))

Постановка задачі та граничні умови.

В роботі наведено попередні результати розрахунку стаціонарної задачі руху повітря в горизонтальному повітряно-ґрунтовому теплообміннику та зазорі теплової завіси фасадної стіни будинку. Повітряні канали цього теплообмінника, на відміну від попередніх досліджень, мають прямокутний поперечний переріз. Повітря, що надходить в повітряно-ґрунтовий теплообмінник, відбирає теплоту ґрунту, нагрівається, рухається у розподільчий короб і за рахунок різниці температур (нагрітого і холодного повітря) надходить у міжшаровий простір стін будівлі, що знаходиться між утеплювачем та стіною будинку, циркулює в ньому віддаючи теплоту, після цього відпрацьоване повітря викидається назовні. Режим течії в такій конструкції передбачався ламінарним. Розглядалась тривимірна задача, розрахункова схема простору, що розглядається представлена на рис. 4.4.

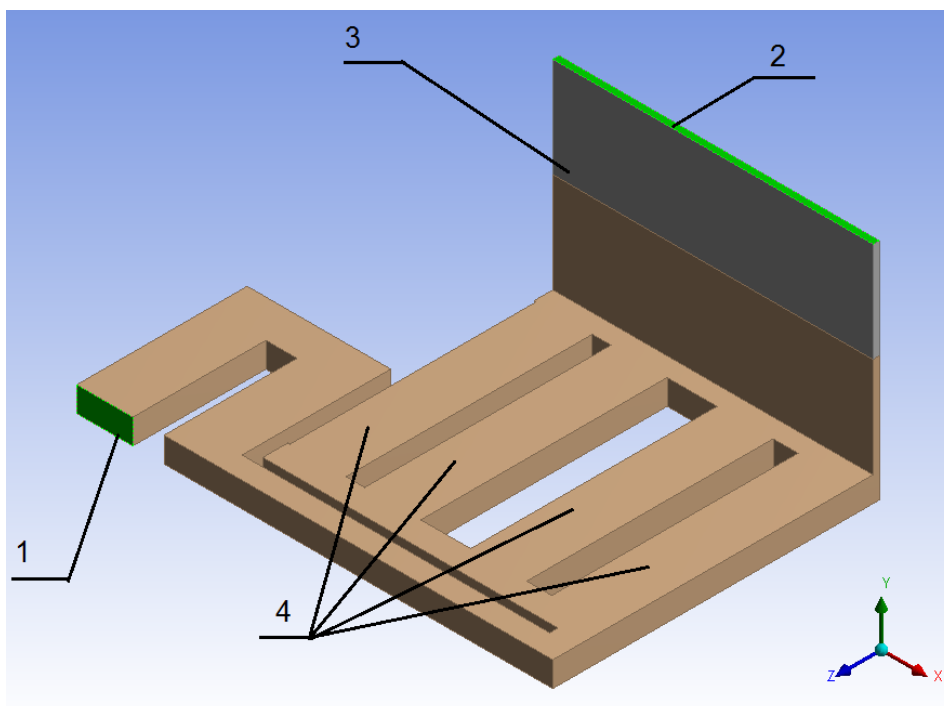


Рис. 4.4 – Розрахункова схема задачі

- 1 - вхід до ґрунтового теплообмінника; 2 – вихід із теплової завіси;
3 – міжшаровий простір у стіні; 4 – багатоложова система повітряних коробів.

Місце розміщення повітряно-грунтового теплообмінника на ділянці поблизу південної стіни енергоефективного будинку представлено на рис. 4.5.

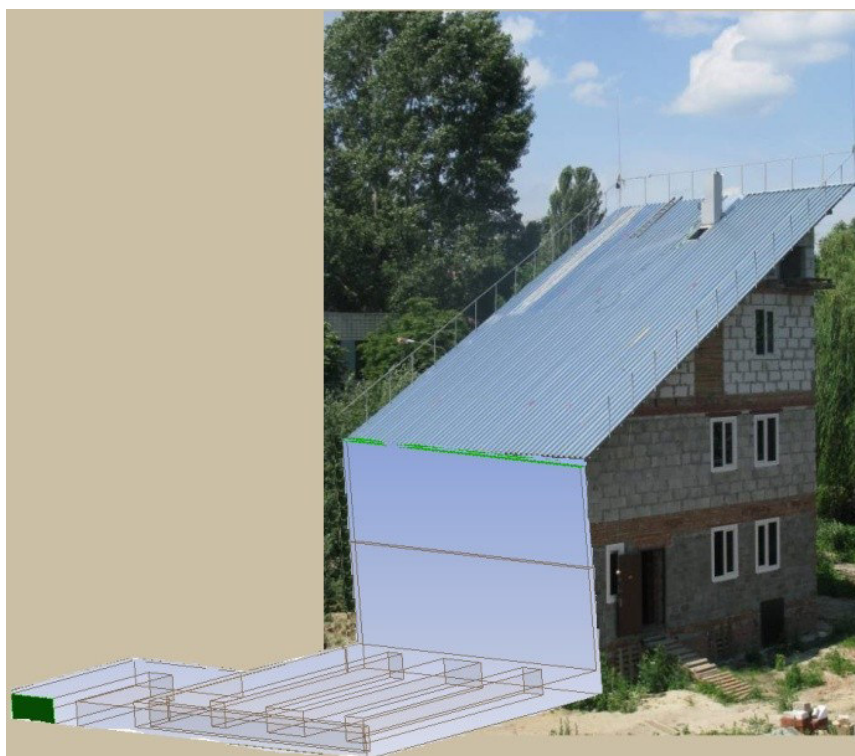


Рис. 4.5 – Розташування теплової завіси фасаду будинку

При проведенні розрахунків розв'язувалась задача про теплообмін та рух всередині повітряно-грунтового теплообмінника завдяки ефекту природної конвекції повітря, що виникає внаслідок різниці температур в повітряному міжшаровому просторі між стіною та утеплювачем. Така побудова повітряно-грунтового теплообмінника дозволить уникнути затрат енергії на створення вимушеного руху повітря у коробі повітряно-грунтового теплообмінника.

При проведенні розрахунків на вході в ґрунтовий теплообмінник 1 (рис. 4.4) та виході з теплової завіси 2 (рис. 4.4), задавалась умова з нульовим надлишковим тиском. Температура повітря, що надходить в короб складала 0 °С. На внутрішній поверхні міжшарової стіни 3 (рис. 4.4) задавались граничні умови першого роду з постійною температурою. Різниця температур між стінами складала 4°С. На поверхні багатоложової системи повітряних коробів,

повітряно-грунтового теплообмінника в першому наближенні теж було задано граничні умови першого роду з постійною температурою, що приймалась рівною 8°C. Природна циркуляція розраховувалась з використанням наближення Бусінеска, в якому густина повітря приймається постійною у всіх розв'язуваних рівняннях [2], за винятком рівняння імпульсу, в якому додається член, що враховує силу Архімеда: $(\rho_0 - \rho)g = \rho_0 \beta (T - T_0)g$, де ρ_0 та T_0 – значення густини та температури за нормальних умов, β – коефіцієнт термічного розширення (для повітря його значення складає 0,00367).

Розрахунок виконано на основі системи рівнянь імпульсу та енергії. Така система диференціальних рівнянь, що характеризує процес теплообміну та аеродинаміки в повітряно-грунтовому теплообміннику, містить рівняння нерозривності

$$\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0. \quad (4.2)$$

Рівняння збереження кількості руху

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right), \quad (4.3)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right), \quad (4.4)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right). \quad (4.5)$$

Рівняння збереження енергії

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right). \quad (4.6)$$

Рівняння теплопровідності ґрунту

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right). \quad (4.7)$$

Для проведення розрахунків використовувався пакет Ansys Fluent 14.0. Основні рівняння розв'язувались за допомогою методу кінцевих об'ємів. В більшості областей сітка мала елементи у вигляді паралелограмів, що створені за допомогою схеми тар. Рівняння Нав'є-Стоксу розраховувались із першим порядком точності [4].

Розрахункова сітка.

До поверхні будинку та ізоляції проводилося згущення сітки. Товщина першої комірки становила 0,010 м. Використовувалася сітка з 10000 комірок.

На вході до ґрунтового теплообмінника 7 (рис. 4.5) та виході з теплової завіси 8 (рис. 4.5), задавалась умова з нульовим надлишковим тиском. На границі 10 задавалась швидкість вітру.

Розрахунок проводився для різних значень швидкості U_0 від 0,05 до 1,5 м/с. Температура основної течії дорівнювала -2°C . На внутрішній поверхні двошарової стіни 1,2 (рис 4.4) задавались комфортні умови всередині приміщення, тобто 20°C . На нижній межі підземної частини ґрунтового теплообмінника температура приймалась рівною 8°C , що відповідає середній температурі ґрунту нижче глибини промерзання.

На стінах будинку та поверхні землі враховувалась умова прилипання. Величина шорсткості всіх поверхонь приймалася рівною нулю. На поверхні землі прийняті адіабатичні умови, а температура поверхні будівлі постійна і дорівнює 2°C . На виході з розрахункової області 9 надлишковий тиск дорівнює нулю. Розглядався вимушений конвективний теплообмін будівлі з

навколишнім середовищем з врахуванням ефектів природної конвекції повітря через різницю густин, що виникає внаслідок різниці температур.

Геометрична модель і розрахункова сітка були створені з використанням інструменту Gambit. Сітка була згенерована з прямокутними елементами, що створені за допомогою схеми *map* [4]. Вигляд сітки, що використовується, наведений на рис. 4.5. Відомий алгоритм *Simple* був використаний для розв'язання рівняння нерозривності [5, 6]. Стандартна схема використовувалась для розрахунку тиску [7 - 10].

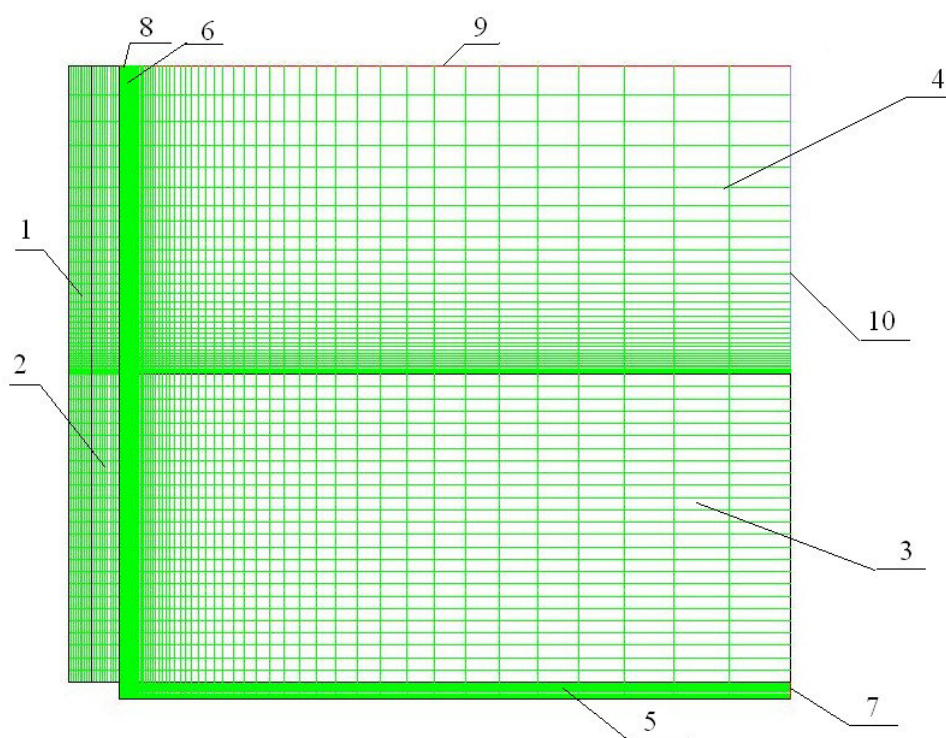


Рис. 4.5 – Схема розрахунку

1, 2 – двошарова стіна; 3 – масив ґрунту над теплообмінником;
4 – повітря, що омиває фасад будинку; 5 – підземна частина теплової завіси (ґрунтовий теплообмінник); 6 – тепла повітряна завіса фасаду; 7 – отвір забору повітря в ґрунтовому теплообміннику; 8 – отвір виходу повітря з теплової повітряної завіси; 9, 10 – доквілля.

Результати досліджень.

Із розв'язку отриманої системи різницевих рівнянь визначались поля

швидкості, тиску та температури в повітряному потоці, що омиває будинок, що розглядається. На підставі отриманих результатів розраховувалась середня швидкість на виході з теплової завіси та температура повітря. На рис. 4.6 представлена залежність температури на виході з теплової завіси від швидкості повітря навколишнього середовища. На підставі отриманої залежності можна зробити висновок, що температура повітря всередині теплової завіси буде зменшуватись із збільшення швидкості вітру назовні. Причому за умови відсутності вітру або незначної його швидкості температура повітря може збільшуватись на 1°C . Рівняння Навьє-Стокса розраховувались із другим порядком.

Як видно з рис. 4.7, 4.8, профіль швидкості істотно змінюється та перетворюється на несиметричний в розподільчому коробі. Тепловий потік, що виходить з поверхні стіни акумулюється в повітряному прошарку теплової завіси, що зменшує теплові втрати будинку.

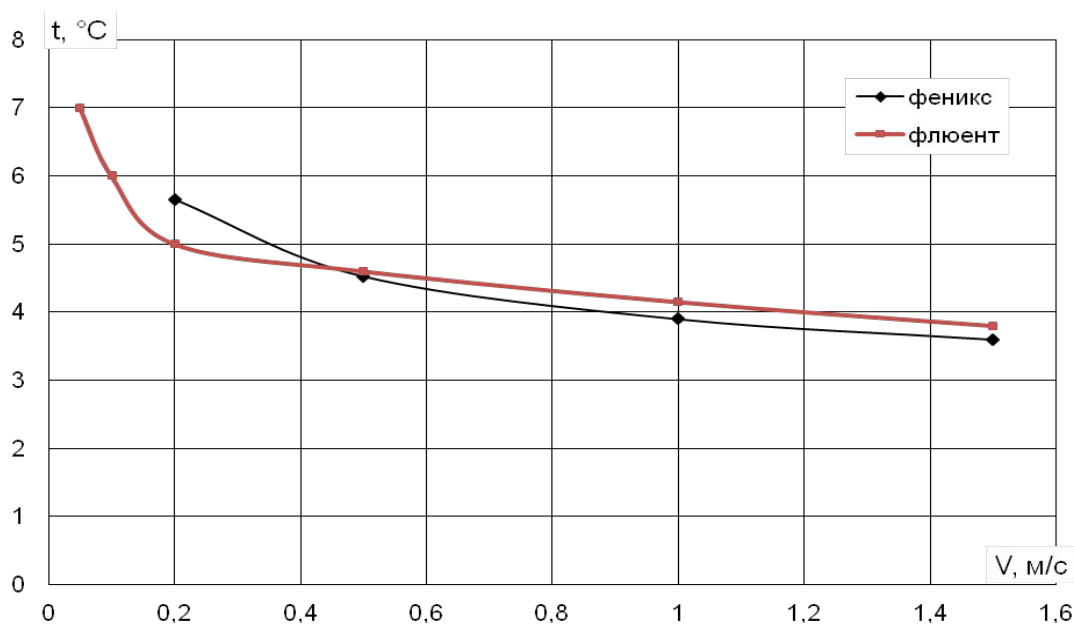


Рис. 4.6 – Залежність температури від швидкості зовнішнього повітря

Наявність руху повітря внаслідок природної циркуляції видно при розгляді поля векторів швидкості рис. 4.7, 4.8.

Крім полів швидкостей і температур цікаво розглянути, наведені на рис.

4.9, профілі швидкості на вході в ґрунтовий теплообмінник та на виході з теплової завіси, також розподіл значень температури (рис. 4.10).

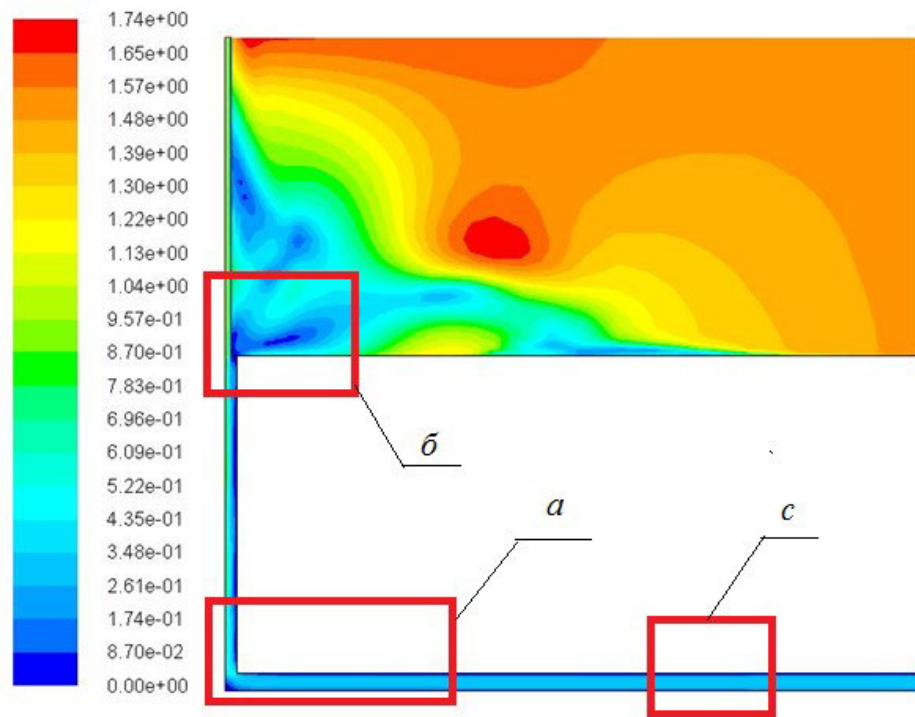
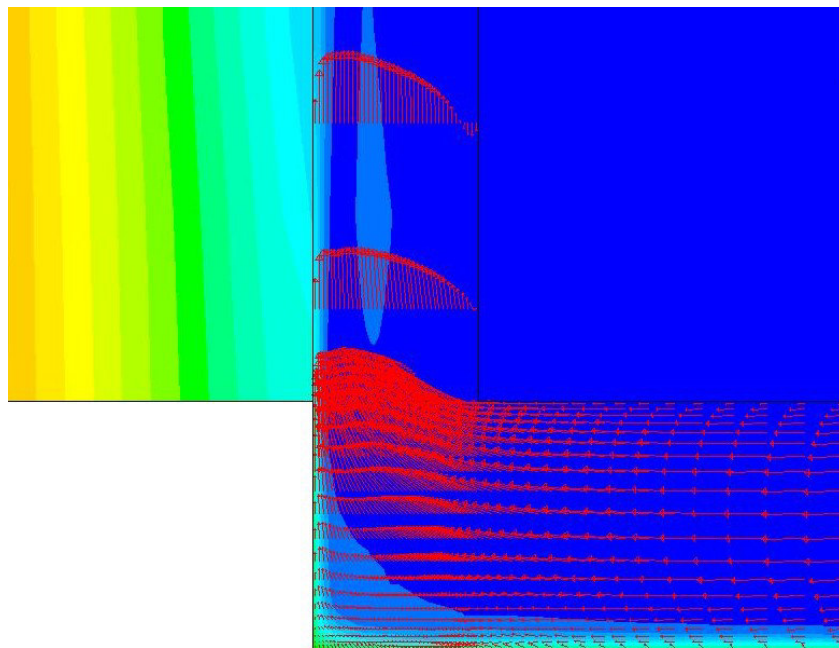
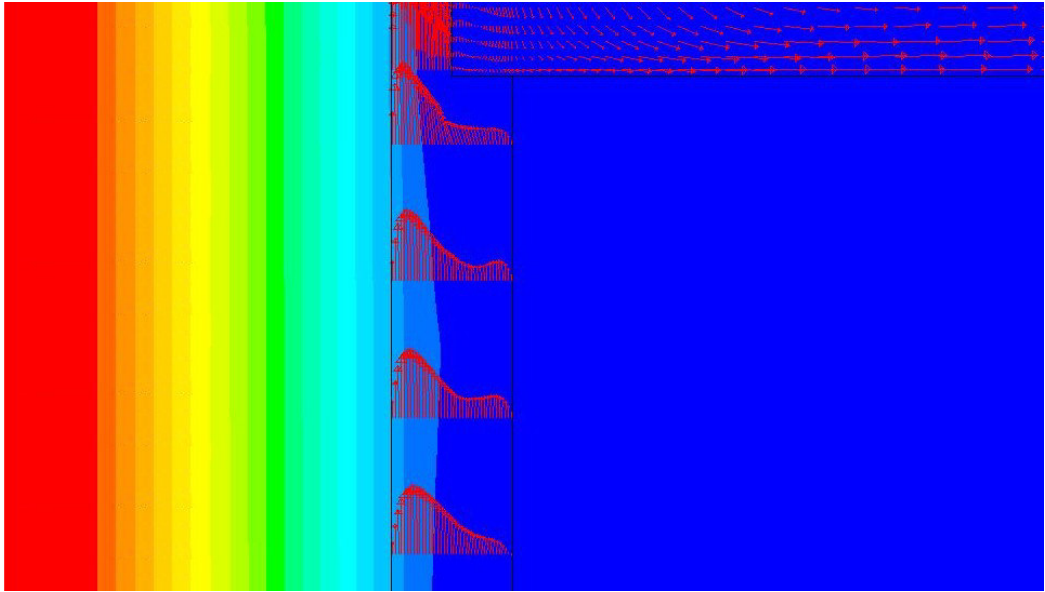


Рис. 4.7 – Поле швидкості руху повітря в ґрунтовому теплообміннику і тепловій завісі: *a*, *b*, *c* – характерні зони.

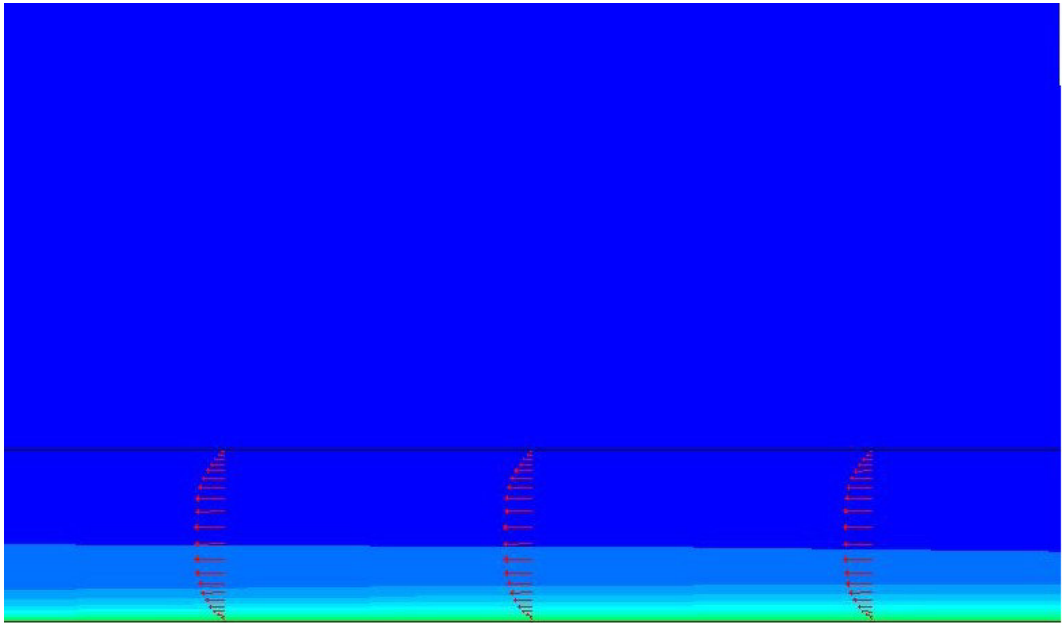


а)



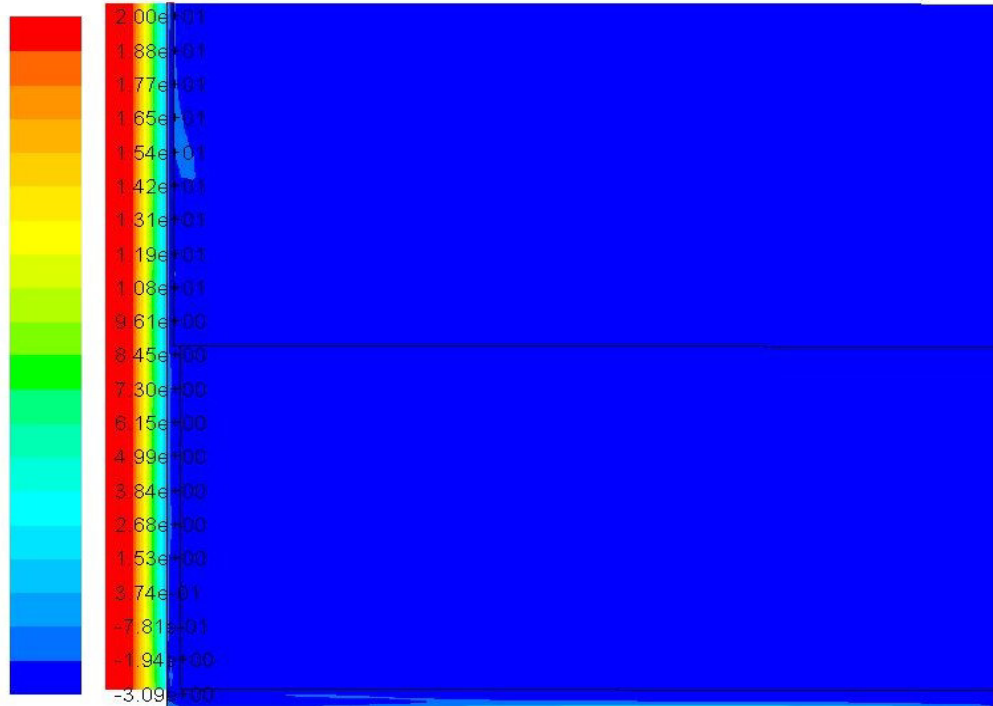
б)

Рис. 4.8 – Поле значень температури повітря з нанесеними на нього векторами швидкості в характерних зонах



с)

Рис. 4.9 – Поле значень температури повітря з нанесеними на нього векторами швидкості в характерній зоні



б)

Рис. 4.10 - Поле значень температури

На рис. 4.11 представлено розподіл температур при виконанні теплової завіси з полікарбонату та без утеплення.

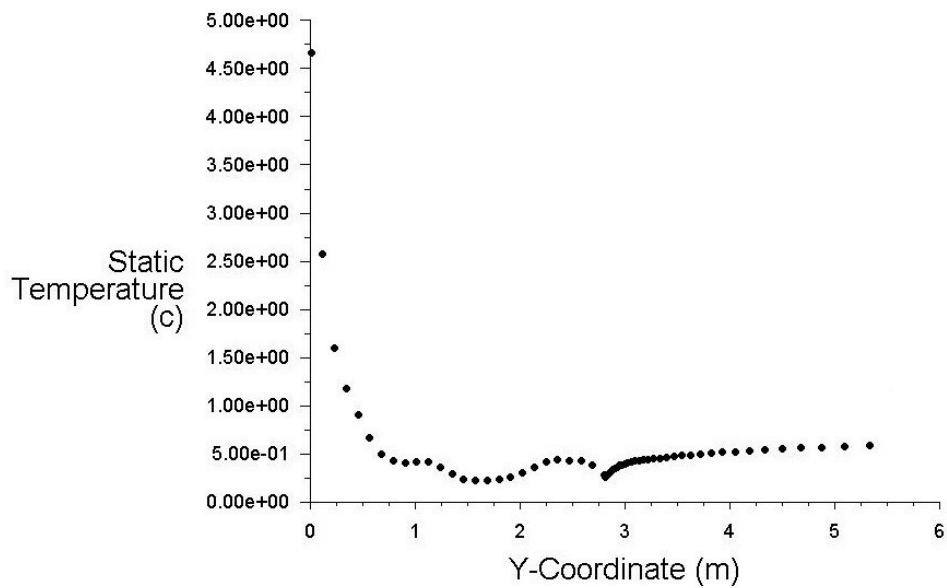


Рис. 4.11 – Зміна температури стінки теплової завіси по висоті за умови виконання її із полікарбонату

Слід зазначити, що за відсутності теплоізоляції на зовнішній поверхні теплової завіси, весь температурний перепад, який отримується в ґрунтовому теплообміннику, буде викристано вже протягом першого погонного метру теплової завіси. Тому для виконання реальної теплової завіси потрібно проводити утеплення полікарбонату теплоізоляційними матеріалами.

Із розв'язку отриманої системи різницевих рівнянь визначалися поля швидкості, тиску та температури в повітряному потоці, що омиває енергоефективний будинок. Результати розрахунку приведені на рис. 4.12.

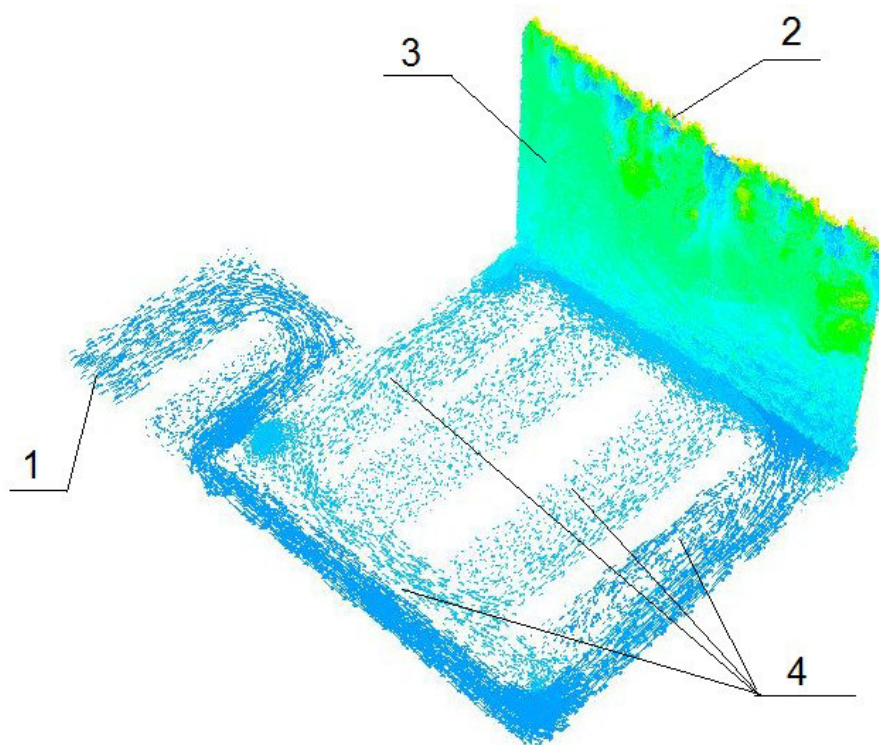


Рис. 4.12 – Поле векторів швидкості, колір яких відповідає температурі нагрітого повітря.

1 – вхід до ґрунтового теплообмінника; 2 – вихід із теплової завіси; 3 – міжшаровий простір у стіні; 4 – багатоходова система повітряних коробів.

Наявність розподілу швидкості повітря на вході до ґрунтового теплообмінника свідчить про те, що при підігріванні повітря теплотою ґрунту можна організувати природну циркуляцію повітря та відмовитись від

використання пристроїв, що споживають електричну енергію. Природна тяга, що виникає внаслідок різниці температур, є достатньою для наявності природної циркуляції повітря.

Проведене математичне моделювання показало, що винайдена конструкція дозволяє організувати природну конвекцію повітря в міжшаровому зазорі стіни будівлі. Крім того за допомогою теплової завіси стін можливо зменшити теплоспоживання будинку.

Таким чином, повітряно-грунтові теплообмінники надають можливість нагрівати зовнішнє повітря на $2 - 10^{\circ}\text{C}$ в залежності від температури довкілля та теплового режиму ґрунтового масиву. Числове моделювання показало, що в міжшаровому просторі стіни будівлі можливий рух повітря за допомогою природної конвекції.

5 АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМІБНОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ ТА ГЕЛІОУСТАНОВКИ

Для аналізу була прийнята система теплопостачання умовного котеджу загальною площею 200 м² (при питомих тепловтратах приміщень до 40 кВт·год/(м²·год) з використанням плоских сонячних колекторів виробництва фірми Афрос (м. Одеса). Апертурна площа одного колектора становить 2 м². Теплопродуктивність теплового насоса виробництва фірми VDE - Україна (м. Бровари) становить близько 6 кВт. В роботі були розглянуті два варіанти теплопостачання: з гарячим водопостачанням і без нього.

Результати попередніх оціночних розрахунків основних теплових показників, проведених за відповідними інженерними методиками, наведені в таблиці 5.1. При цьому бралися середньомісячні температури для міста Києва такі: січень = - 4,3°C, лютий = - 3,3°C, березень = 1,3°C, квітень = 8,9°C, травень = 15,1°C, червень = 18,3°C, липень = 19,5°C, серпень = 18,9°C, вересень = 13,8°C, жовтень = 7,9°C, листопад = 1,8°C, грудень = - 2,0°C [3].

У першому варіанті була розглянута система теплопостачання без гарячого водопостачання (ГВП). Необхідна при цьому площа колекторів склала 26 м².

Таблиця 5.1 – Результати розрахунків основних теплових показників системи без ГВП

Місяць року	$Q_0, \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{місяць}}$	$Q_{\text{кол}}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{місяць}}$	$\Delta Q, \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{місяць}}$
Січень	6175,20	676,26	-5498,94
Лютий	5349,12	1230,84	-4118,28
Березень	4754,16	2860,52	-1893,64
Квітень	1364,40	3699,80	2335,40
Травень	0	5152,68	5152,68

Червень	0	4798,82	4798,82
Липень	0	5318,82	5318,82
Серпень	0	4798,82	4798,82
Вересень	0	2868,08	2868,08
Жовтень	1490,40	1629,68	139,28
Листопад	4478,40	640,38	-3838,02
Грудень	5594,80	501,80	-5093,00

У таблиці 5.1 представлені наступні значення:

Q_0 - Теплові втрати приміщень загальною площею 200 м² по календарним місяцям. Так, як опалювальний період триватиме з 15 квітня по 15 жовтня, то протягом періоду з травня по вересень включно теплові втрати будівлі приймаємо рівними нулю.

$Q_{s,e}$ - Середньомісячна надходження теплоти від сонячного колектора в систему опалення.

ΔQ - Різниця між загальними тепловими втратами приміщень Q_0 і середньомісячними надходженнями теплоти від сонячного колектора $Q_{s,e}$. Величина ΔQ з позитивним знаком показує, яка кількість теплоти можливо акумулювати для подальшого вилучення, а з негативним знаком – яку кількість теплових втрат необхідно покрити за допомогою теплового насоса і акумульованої теплоти.

Таким чином сума втрат, що не покриваються колектором, становить 20441,9 кВтгод/місяць, а сума середньомісячного надходження теплоти від сонячного колектора в систему опалення з квітня по жовтень, з урахуванням коефіцієнта акумулювання, який прийнятий рівним 0,8, становить 20443,89 кВтгод/місяць. У результаті розрахунків доходимо висновку, що 13 колекторів достатньо для повного покриття теплових втрат приміщень площею 200 м² протягом опалювального періоду.

У другому випадку розглянута система тепlopостачання з урахуванням ГВС. Її основні теплові показники наведені в таблиці 2. У розрахунках

приймалося, що в котеджі проживають 4 дорослих людини, і витрата гарячої води на кожного становить 100 л на день. Необхідна площа колекторів при цьому склала 36 м².

У таблиці 5.2 представлені наступні, дещо відмінні від таблиці 5.1, значення:

$Q_{ГВП}$ – кількість теплоти на ГВП по місяцях;

ΔQ – Різниця між сумарним тепловим навантаженням $Q_0 + Q_{ГВП}$ і середньомісячними надходженнями теплоти від сонячного колектора $Q_{сг}$.

Таблиця 5.2 – Результати розрахунків основних теплових показників системи з ГВП

Місяць року	$Q_0, \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{місяць}}$	$Q_{\text{кол}}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{місяць}}$	$Q_{ГВП}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{місяць}}$	$\Delta Q, \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{місяць}}$
Січень	6175,20	936,36	864,90	-4373,94
Лютий	5349,12	1704,20	781,20	-2863,72
Березень	4754,16	3960,72	864,90	-71,46
Квітень	1364,40	5122,80	837,00	2921,40
Травень	0	7134,48	864,90	6269,58
Червень	0	6644,52	837,00	5807,52
Липень	0	7364,52	864,90	6499,62
Серпень	0	6652,08	864,90	5787,18
Вересень	0	3971,16	837,00	3134,16
Жовтень	1490,40	2256,48	864,90	98,82
Листопад	4478,40	886,68	837,00	-2754,72
Грудень	5594,80	694,80	864,90	-4035,10

Отже, при збереженні тенденції підвищення цін на органічні енергоносії перехід до комбінованих систем теплопостачання з використанням альтернативних джерел теплоти представляється безальтернативним. Результати проведених розрахунків показують, що використання ГВП у складі системи теплопостачання типового котеджу із застосуванням сонячних

колекторів і теплового насоса знижує в цілому термін окупності капітальних витрат.

ВИСНОВКИ

1. В магістерській роботі проаналізована важлива науково-прикладна проблема підвищення енергетичної ефективності будівель на стадіях проектування нових та термомодернізації існуючих, що включає в себе поєднання архітектурних прийомів в рамках будівельної теплофізики із технологічними аспектами сучасних систем теплозабезпечення. Такий, концептуальний підхід, є актуальним та затребуваним в умовах існуючого енергодефіциту в країні, а також стрімкого розвитку технологій кліматизації приміщень. Нарощування товщини теплоізоляції огорожувальних конструкцій має екстенсивні можливості, обмеження яких можуть бути обумовлені техніко-економічними факторами.

2. Зміна структури споживання енергії пасивного будинку вимагає іншого підходу при формуванні технічної бази системи теплозабезпечення. Із структури теплоспоживання пасивного будинку впливає, що забезпечення мікроклімату є найбільш енергозатратним і може бути реалізовано шляхом використання системи примусової вентиляції з рекуперацією теплоти.

Враховуючи всі існуючі передумови, розробка сучасних комбінованих систем теплозабезпечення пасивних будинків набуває широкого значення і є актуальною науковою задачею, вирішення якої потребує енергетичного аудиту, енергоефективних будівельних конструкцій та матеріалів, інтелектуалізації процесу теплоспоживання.

3. Запропонований спосіб забезпечення повітряно-теплової завіси теплотою ґрунту дає можливість створити теплову завісу, яка не залежить від системи теплопостачання будинку та використовує теплову енергію ґрунту. Корисна модель є простою і надійною в експлуатації і дозволяє підтримувати необхідний температурний режим в приміщеннях, та навколо нього, а також попередити вплив надмірної вологи та перехолодження стін будівель.

4. Проведене математичне моделювання показало, що винайдена конструкція дозволяє організувати природну конвекцію повітря в

міжшаровому зазорі стіни будівлі. Крім того за допомогою теплової завіси стін можливо зменшити теплоспоживання будинку.

Таким чином, повітряно-грунтові теплообмінники надають можливість нагрівати зовнішнє повітря на $2 - 10^{\circ}\text{C}$ в залежності від температури довкілля та теплового режиму ґрунтового масиву. Числове моделювання показало, що в міжшаровому просторі стіни будівлі можливий рух повітря за допомогою природної конвекції.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Yi Yang, Ming Gu, Xinyang Jin. New inflow boundary conditions for modeling the neutral equilibrium atmospheric boundary layer in sst k- ω model The Seventh Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, November 8-12, 2009, Taipei, Taiwan.
2. Jonatan Hjul, Inge-Mette Kjemtrup, Thomas Bank Lauridsen. Wind Conditions Around High-rise Buildings Master Thesis Master of Science in Structural and Civil Engineering. Completed: 4th June 2010. Number of pages: 152
3. ДБН В.2.6-31:2006 "Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель".
4. A. Parente C. Benocci On the RANS simulation of neutral ABL flows. The Fifth International Symposium on Computational Wind Engineering (CWE2010) Chapel Hill, North Carolina, USA May 23-27, 2010.
5. D. Cabezón, A. Iniesta, E. Ferrer, I. Martí Comparing linear and non linear wind flow models.
6. A. Sehli*, A. Hasni, M. Tamali The potential of earth-air heat exchangers for low energy cooling of buildings in South Algeria. Energy Procedia 18 (2012) 496 – 506.
7. A. Tzaferis and D. Liparakis, M. Santamouris, A. Argiriou Analysis of the accuracy and sensitivity of eight models to predict the performance of earth-to-air heat exchangers. Energy and Buildings, 18 (1992) 35-43.
8. M. KRARTI and J. F. KREIDER Analytical model for heat transfer in an underground air tunnel. Energy Convers. Mgmt Vol. 37, No. 10, pp. 1561-1574, 1996.
9. Badescu V. Simple and accurate model for the ground heat exchanger of a passive house. Renew Energy 2007; 32:845–855.
10. Давыденко Б.В. Метод матричной прогонки для решения сеточных уравнений гидродинамики. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2008. № 5(35). С. 7 – 11.