

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра Архітектури та інженерних вишукувань**

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри
Архітектури та інженерних
вишукувань
_____ Бородай Д. С.

«___»_____2025р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим рівнем вищої освіти

На тему: «Впровадження енергоефективних рішень при будівництві 9-ти
поверхового житлового будинку в м. Київ»

Виконав (ла)

С. Є. Полозенко

(підпис)

(Прізвище, ініціали)

Група

ЗПЦБ 2401м

(Науковий)
керівник

А. С. Бородай

(підпис)

(Прізвище, ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: Архітектури та інженерних вишукувань
Спеціальність: 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Полозенко Сергій Євгенович

Тема роботи: Впровадження енергоефективних рішень при будівництві 9-ти поверхового житлового будинку в м. Київ

Затверджено наказом по університету № 40/ОС від " 07 " 01 2025р.
Строк здачі студентом закінченої роботи: " 10 " 12 2025 р.

Вихідні дані до роботи:

Дані інженерно-геологічних вишукувань, типові проекти, завдання проектування _____

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці)

Розділ 1. Загальна характеристика роботи, Розділ 2. Бібліографічний огляд досліджень, 2.1 Опис технології теплових насосів, 2.2 Класифікація теплових насосів, Розділ 3. Впровадження енергоефективних рішень, 3.1 Ефективність використання теплового насосу, 3.2 Техніко-економічні характеристики системи, Розділ 4. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі, 4.1 Ситуаційний план, 4.2 Об'ємно-планувальне рішення, 4.3 Архітектурно-конструктивне рішення, Список використаних джерел

5. Перелік графічного та або мультимедійного матеріалу (з вказівкою обов'язкових креслень)

15 слайдів мультимедійного матеріалу

Керівник :		А. С. Бородай
	(підпис)	(Прізвище, ініціали)
Консультант		А. С. Бородай
	(підпис)	(Прізвище, ініціали)
Завдання прийняв до виконання:		
Здобувач		С. Є. Полозенко
	(підпис)	(Прізвище, ініціали)

Анотація

Полозенко Сергій Євгенович «Впровадження енергоефективних рішень при будівництві 9-ти поверхового житлового будинку в м. Київ» – Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

Робота складається із змісту, загальної характеристики роботи та її кваліфікаційних ознак, огляду досліджень за обраною темою, розділів основної частини, висновків за результатами МКР (українською та англійською мовами).

Сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження, методи наукового дослідження.

Перехід від традиційних газових систем опалення до сучасних технологій теплових насосів є важливим напрямком у сфері сталого житлового будівництва. Для багатоповерхового будинку, розташованого в холодному помірному кліматі, використання вискоелективного теплового насоса, інтегрованого з низькотемпературною системою опалення та вентиляцією з рекуперацією тепла, значно покращує загальну енергоефективність будівлі. Такі системи використовують відновлювану теплову енергію, що видобувається з землі, зменшуючи залежність від викопного палива та сприяючи поліпшенню екологічної безпеки та зниженню викидів парникових газів протягом життєвого циклу будівлі.

Загальна концепція проекту включає геотермальний тепловий насос, систему розподілу тепла за допомогою водяного підлогового опалення та контрольовану механічну вентиляцію. Тепловий насос перетворює природне накопичене тепло в корисну теплову енергію з високою сезонною ефективністю, а система підлогового опалення забезпечує стабільний комфорт у приміщенні при нижчих температурах подачі, зменшуючи втрати тепла. Вентиляція з рекуперацією тепла підтримує здорові умови повітря в приміщенні та зменшує річну потребу в опаленні, повертаючи частину тепла витяжного повітря назад у систему.

Видобуток геотермального тепла забезпечується за допомогою набору вертикальних свердловин, розташованих по периметру будівлі. Ці свердловини утворюють замкнутий підземний контур, який передає теплову енергію від ґрунту до теплового насоса. Встановлення системи вимагає бурових робіт, монтажу труб та підключення до інженерної інфраструктури будівлі, але після завершення вона працює без процесів горіння, що виключає утворення місцевих забруднюючих речовин. Хоча початкова вартість установки теплових насосів вища, ніж традиційного газового опалення, міжнародні програми фінансової підтримки та національні стимули для підвищення енергоефективності можуть значно зменшити капітальні витрати, що робить цю технологію економічно привабливішою в довгостроковій перспективі.

Ключові слова: опалення, тепловий насос, житловий будинок.

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

1. Полозенко С.Є. Впровадження енергоефективних рішень при будівництві 9-ти поверхового житлового будинку в м. Київ // Матеріали 87-ї Міжнародної наукової конференції студентів університету, 7–11 квіт. 2025 р. Харків, 2025.

В додатках наведено тези конференції, альбом слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи.

Робота складається з основного тексту на 44 сторінках, у тому числі 4 таблиці та 8 рисунків. Текст роботи містить загальну характеристику роботи, 4 розділи, висновки і рекомендації за результатами роботи, список з 18 використаного джерела. Графічна частина складається з 15 слайдів мультимедійної презентації.

Abstracts

Polozenko Serhiy “Implementation of energy-efficient solutions in the construction of a 9-story residential building in Kyiv” – Master's thesis in manuscript form.

Master's thesis in the specialty 192 “Construction and Civil Engineering.” – Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

The thesis consists of a table of contents, a general description of the thesis and its qualification characteristics, a review of research on the chosen topic, sections of the main part, and conclusions based on the results of the MCR (in Ukrainian and English).

The purpose, objectives, object and subject of the research, and methods of scientific research are formulated.

The transition from traditional gas heating systems to modern heat pump technologies is an important direction in the field of sustainable housing construction. For a multi-story building located in a cold temperate climate, the use of a high-efficiency heat pump integrated with a low-temperature heating system and heat recovery ventilation significantly improves the overall energy efficiency of the building. Such systems use renewable thermal energy extracted from the ground, reducing dependence on fossil fuels and contributing to improved environmental safety and reduced greenhouse gas emissions throughout the building's life cycle.

The overall design concept includes a geothermal heat pump, a water-based underfloor heating system for heat distribution, and controlled mechanical ventilation. The heat pump converts naturally stored heat into useful thermal energy with high seasonal efficiency, while the underfloor heating system provides stable indoor comfort at lower supply temperatures, reducing heat loss. Heat recovery ventilation maintains healthy indoor air conditions and reduces annual heating requirements by returning some of the heat from the exhaust air back into the system.

Geothermal heat is extracted using a set of vertical wells located around the perimeter of the building. These wells form a closed underground loop that transfers

heat energy from the ground to the heat pump. Installation of the system requires drilling, pipe installation, and connection to the building's engineering infrastructure, but once completed, it operates without combustion processes, eliminating the formation of local pollutants. Although the initial cost of installing heat pumps is higher than that of traditional gas heating, international financial support programs and national incentives for energy efficiency can significantly reduce capital costs, making this technology more economically attractive in the long term.

Keywords: heating, heat pump, residential building.

List of student publications and/or conference presentations:

1. Polozenko S. Implementation of energy-efficient solutions in the construction of a 9-storey residential building in Kyiv // Materials of the 87th International Scientific Conference of University Students, 7–11 April 2025. Kharkiv, 2025.

The appendices contain the conference abstracts and a slide album of the multimedia presentation.

Structure of the work.

The work consists of the main text on 44 pages, including 4 tables and 8 figures. The text of the work contains a general description of the work, 4 sections, conclusions and recommendations based on the results of the work, and a list of 18 sources used. The graphic part consists of 15 slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

Розділ 1. Загальна характеристика роботи.....	9
Розділ 2. Бібліографічний огляд досліджень.....	11
2.1 Опис технології теплових насосів.....	11
2.2 Класифікація теплових насосів.....	15
Розділ 3. Впровадження енергоефективних рішень.....	20
3.1 Ефективність використання теплового насосу.....	20
3.2 Техніко-економічні характеристики системи.....	29
Розділ 4. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі.....	35
4.1 Ситуаційний план.....	35
4.2 Об'ємно-планувальне рішення.....	35
4.3 Архітектурно-конструктивне рішення.....	36
Список використаних джерел.....	43

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми: Сучасна будівельна та енергетична політика в Україні вимагає ефективних та екологічно чистих рішень для опалення житлових будинків. Зростання тарифів на природний газ та електроенергію, а також необхідність скорочення викидів парникових газів роблять особливо актуальним впровадження високоефективних теплових насосів та низькотемпературних систем опалення в багатоповерхових житлових будинках.

Мета і завдання дослідження: Метою дослідження є оцінка техніко-економічної ефективності системи опалення житлового будинку з використанням сучасного високоефективного теплового насоса з оптимізаціями в порівнянні з традиційною газовою системою опалення. Завдання включають визначення теплової потреби будівлі, розрахунок експлуатаційних та капітальних витрат, а також оцінку терміну окупності в умовах субсидій та зеленого тарифу на електроенергію.

Об'єкт дослідження: Дев'ятиповерховий житловий будинок в місті Київ.

Предмет дослідження: Впровадження системи опалення на основі теплового насоса при будівництві житлового будинку.

Методи дослідження: Дослідження проводилося шляхом аналітичного розрахунку енергетичних потреб будівлі, моделювання теплових навантажень з урахуванням низькотемпературного опалення системою теплої підлоги, а також порівняння капітальних та експлуатаційних витрат двох альтернативних систем опалення. Використовувалися параметри сучасних високоефективних теплових насосів та поточні тарифи на електроенергію та газ у Києві.

Наукова та технічна новизна одержаних результатів: Наукова новизна дослідження полягає у комплексній оцінці високоефективних теплових насосів для багатоповерхових житлових будинків із сучасними оптимізаціями. Технічна новизна полягає у визначенні повної конфігурації системи, включаючи конкретні параметри обладнання, трубопроводи та монтажні роботи, а також у розрахунку

капітальних та операційних витрат з урахуванням міжнародних субсидій, що дозволяє оцінити економічну ефективність сучасних альтернатив газовим котлам в реальних умовах українського ринку.

Практичне значення одержаних результатів: Практичне значення результатів полягає в тому, що вони демонструють, що інтеграція високоефективного геотермального теплового насоса з низькотемпературним підлоговим опаленням та вентиляцією з рекуперацією тепла може стати технічно здійсненою та екологічно стійкою альтернативою традиційному газовому опаленню для багатоповерхових житлових будинків. Аналіз показує, що, незважаючи на вищі початкові капітальні витрати, система забезпечує нижчі експлуатаційні витрати, стабільний тепловий комфорт та зменшення викидів парникових газів протягом усього терміну експлуатації будівлі.

Апробація та публікація результатів роботи: 1. Полозенко С.Є Впровадження енергоефективних рішень при будівництві 9-ти поверхового житлового будинку в м. Київ // Матеріали 87-ї Міжнародної наукової конференції студентів університету, 7–11 квіт. 2025 р. Харків, 2025.

РОЗДІЛ 2

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Опис технології теплових насосів

Тепловий насос — це термодинамічна установка, призначена для перенесення теплової енергії від середовища з нижчою температурою до середовища з вищою температурою, що забезпечує ефективне опалення та підготовку гарячої води в житлових будинках. Принцип роботи базується на зворотному циклі Карно, в якому механічна робота, що подається на компресор, дозволяє теплу текти проти природного теплового градієнта. Система складається з чотирьох основних компонентів: випарника, компресора, конденсатора та розширювального клапана. Випарник діє як теплообмінник, який витягує низькотемпературну теплову енергію з навколишнього середовища, такого як ґрунт, вода або повітря, викликаючи випаровування холодоагенту при низькому тиску. Компресор підвищує температуру і тиск випареного холодоагенту, після чого конденсатор вивільняє цю енергію в опалювальний контур будівлі через систему розподілу води або повітря. Потім холодоагент проходить через розширювальний клапан, який знижує його тиск і температуру, дозволяючи циклу повторюватися[17].

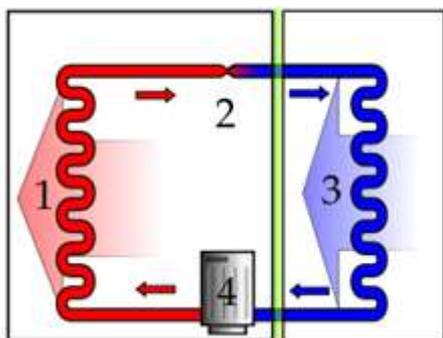


Рис. 2.1 Принцип роботи теплового насосу (1 - конденсатор, 2 - дросель, 3 - випарник, 4 - компресор)

Ефективність теплового насоса залежить від коефіцієнта корисної дії, який визначається як відношення теплової потужності до спожитої електричної енергії. Для сучасних житлових систем це значення коливається від 3,0 до 5,0 за

номінальних умов, що означає, що на кожен кіловат-годину спожитої електроенергії система забезпечує від 3 до 5 кВт-год тепла. Коефіцієнт залежить насамперед від різниці температур між випарником і конденсатором: із збільшенням цієї різниці ефективність системи знижується через більшу потребу в потужності компресора. Для підтримки високої продуктивності конструкція повинна мінімізувати підвищення температури шляхом оптимізації як низькопотенційного джерела тепла, так і системи розподілу тепла. Низькотемпературні контури, такі як підлогове опалення, що працюють при температурі 35–45 °С, дозволяють тепловому насосу досягати значно вищої сезонної ефективності в порівнянні з високотемпературними радіаторними системами.

Відмінною перевагою теплових насосів є їх здатність використовувати відновлювані та розсіяні джерела енергії, які постійно доступні в навколишньому середовищі. Сюди входить геотермальне тепло з ґрунтових шарів, підземних вод або зовнішнього повітря. Оскільки маса доступного джерела тепла набагато більша за об'єм, що нагрівається, температура середовища джерела залишається стабільною, забезпечуючи безперебійну роботу навіть при тривалому тепловому навантаженні. Зокрема, системи з використанням ґрунтового джерела підтримують стабільну продуктивність у холодні періоди, оскільки температура ґрунту на глибині 50–100 м залишається близько +7 °С протягом усього року[18].

Сучасні теплові насосні системи демонструють високу надійність експлуатації завдяки використанню автоматизованих модулів управління, які контролюють роботу компресора, рівні тиску та потік холодоагенту, тим самим мінімізуючи необхідність регулярного технічного обслуговування. Їхня робота майже безшумна, рівень шуму не перевищує 45 дБ на відстані одного метра, а компактні внутрішні блоки не перевищують розміри стандартних побутових приладів. Термін служби залежить від підсистеми: ґрунтові теплообмінники можуть функціонувати до 80–100 років, а компресори та допоміжні компоненти служать 20–30 років за умови належного технічного обслуговування.

Теплові насоси також сприяють екологічній стійкості сучасного житла, повністю усуваючи процеси спалювання на місці та пов'язані з цим викиди вуглекислого газу, сірки та оксидів азоту. Холодоагенти, що використовуються в сучасних системах, є безпечними для озонового шару та відповідають міжнародним екологічним стандартам. Це робить теплові насоси однією з найбільш екологічно безпечних та енергоефективних технологій для опалення.

Основні недоліки теплових насосів пов'язані з їх термодинамічними обмеженнями, складністю монтажу та початковими інвестиційними витратами. Один з головних недоліків полягає у відносно низькій температурі теплоносія, що виробляється системою. У стандартних конфігураціях сучасні теплові насоси для житлових приміщень забезпечують нагрівання води до температури, що не перевищує 55–60 °С. Підвищення температури на виході вище цього рівня призводить до значного зниження коефіцієнта корисної дії та зменшує загальну надійність і термін служби компресора. Отже, оптимальна робота досягається в низькотемпературних розподільних системах, таких як контури підлогового або настінного опалення, що працюють в діапазоні 35–45 °С[16].



Рис. 2.2 Тепловий насос

Незважаючи на постійний технологічний прогрес, економічний фактор залишається одним з обмежуючих аспектів впровадження теплових насосів у багатоповерховому житлі. Загальна вартість установки високоякісної системи повітря-вода для житлових приміщень в даний час становить в середньому 45 000–65 000 грн за кіловат теплової потужності, залежно від виробника, діапазону потужності та складності гідравлічної системи. Системи з використанням енергії ґрунту значно дорожчі через необхідність буріння та встановлення колекторів, а середня вартість становить 70 000–90 000 грн за кіловат. Таким чином, для середньої установки потужністю 10 кВт загальна інвестиція може становити від 450 000 до 900 000 грн, залежно від конфігурації проекту та ґрунтових умов. Термін окупності варіюється від 6 до 10 років за поточних тарифів на енергію і має тенденцію до скорочення у міру зростання цін на природний газ та електроенергію[18].

Істотним обмеженням геотермальних систем є необхідність використання технічно складних і дорогих підземних теплообмінників. Горизонтальні колектори вимагають великих площ землі, а вертикальні зонди – буріння свердловин глибиною 70–120 м для досягнення стабільної температури під землею. На ефективність цих систем сильно впливає тип ґрунту та вміст вологи. Типові показники вилучення тепла становлять 30–40 Вт на метр довжини труби в піщаних ґрунтах і 50–60 Вт на метр у вологих глинистих ґрунтах, причому дещо вищі значення можна досягти в насичених або багатих на ґрунтові води шарах. Горизонтальні колектори встановлюють на 30–50 см нижче глибини промерзання, дотримуючись відстані 1,2–1,5 м між сусідніми трубами для забезпечення достатнього теплообміну. Правильне засипання та гідравлічне балансування є необхідними для довгострокової стабільності роботи.

Термодинамічна ефективність теплових насосів, виражена коефіцієнтом корисної дії безпосередньо залежить від різниці температур між випарником і конденсатором. Чим менша ця різниця, тим вища ефективність. У практичних умовах, коли температура джерела становить близько +7 °С, сучасні системи

інверторного типу досягають значень 3,5–4,5, тоді як при температурі навколишнього повітря $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ефективність знижується до 1,8–2,2. Це зниження відбувається тому, що компресор повинен виконувати більше механічної роботи, щоб підтримувати ту саму теплову потужність. Сезонна середня продуктивність для систем поточного покоління, встановлених в кліматичних умовах Центральної Європи становить 3,0–3,8, залежно від конфігурації та рівня ізоляції будівлі.

2.2 Класифікація теплових насосів

Класифікація теплових насосів визначається принципом їх роботи, типом джерела теплової енергії та способом подачі енергії. Теплові насоси в основному поділяються на компресійні та абсорбційні. Компресійні теплові насоси працюють на електроенергії, де компресор переносить теплову енергію від джерела з низькою температурою до контуру з більш високою температурою. Сучасні компресійні системи демонструють коефіцієнт корисної дії в діапазоні від 3,5 до 5,2 за стандартних умов випробувань при температурі джерела $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ і температурі контуру опалення $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Абсорбційні теплові насоси, навпаки, використовують теплову енергію отриману від спалювання палива або відпрацьованого тепла для приведення в дію циклу абсорбції-десорбції використовуючи робочі пари аміак-вода або бромід літію-вода. Їхні значення ефективності знаходяться в діапазоні від 1,4 до 1,8, але вони мають переваги в стабільності роботи та можливості використання відновлюваних або відпрацьованих теплових потоків як джерела приводу[17].

Залежно від джерела тепла теплові насоси класифікуються як системи ґрунтово-водні, повітряно-водні та водно-водні. Ґрунтово-водні, або геотермальні, системи видобувають тепло зі стабільної температури ґрунту, яка в кліматичних умовах Києва залишається в межах $+8\dots+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ на глибині 1,5–2 м. Теплообмінники встановлюються горизонтально або вертикально. Горизонтальні колектори вимагають приблизно 40–60 м поліетиленової труби ($\text{Ø}32\text{ мм}$) на кіловат теплової потужності, тоді як вертикальні свердловини досягають глибини

70–120 м із питомою тепловіддачею 45–55 Вт/м. Ці системи досягають ККД 4,5–5,0, забезпечуючи стабільне опалення навіть при температурі навколишнього повітря нижче $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Рис. 2.3 Схема геотермального теплового насосу

Системи повітря-вода є більш економічно доступними, оскільки не вимагають буріння або земляних робіт. Однак їхня продуктивність значно залежить від температури зовнішнього повітря: при $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ коефіцієнт корисної дії становить 3,5–4,0, але знижується до 2,0–2,3 при $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Новітні інверторні повітряно-водні теплові насоси, що використовують холодоагенти R32 або R290, можуть працювати при температурі до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Рис. 2.4 Схема повітряного теплового насосу

Водяні теплові насоси використовуються там, де є доступні джерела підземних або поверхневих вод з температурою не нижче +5 °С. Їхня ефективність є найвищою серед усіх типів, досягаючи значень 5,0–6,0, але вони вимагають гідрогеологічних досліджень та постійного обслуговування теплообмінників для запобігання утворенню мінеральних відкладень та біологічного забруднення.

Таблиця 2.1 Температурний діапазон основних джерел тепла

Джерело теплоти	Температурний діапазон
Зовнішнє повітря	-10/+5
Витяжна вентиляція	15/25
Озерна вода	0/10
Річкова вода	0/10
Морська вода	3/8
Ґрунт	0/10
Ґрунтові води	>10
Геотермальна вода	20/50

Глобальне впровадження теплових насосних систем за останнє десятиліття пережило період інтенсивного зростання, ставши одним з найбільших сегментів ринку опалювального обладнання. До факторів, що сприяють цьому, належать міжнародна політика декарбонізації, постійне зростання цін на викопне паливо та швидке вдосконалення технологій теплових насосів, що забезпечують стабільну роботу навіть у регіонах з холодним кліматом. До 2025 року загальна кількість встановлених теплових насосів у світі перевищила 60 мільйонів, причому майже половина цього обсягу припадає на Європейський Союз. Тільки в 2024 році в 19 європейських країнах було встановлено понад 2,3 мільйона нових систем, що свідчить про річний темп зростання на 35 % порівняно з 2023 роком.

Найвища щільність встановлених теплових насосів зафіксована в скандинавських країнах, де ця технологія практично замінила традиційні системи опалення. У Норвегії кількість теплових насосів досягає понад 600 одиниць на 1000 домогосподарств, а у Фінляндії та Швеції цей показник коливається від 500 до 550 одиниць. Таких результатів вдалося досягти завдяки державним програмам підтримки, сприятливим геологічним умовам та

стабільному попиту на відновлювані джерела енергії. У Центральній та Західній Європі найактивнішими ринками є Німеччина, Франція та Польща, де реалізуються масштабні програми модернізації житлового фонду, що призводить до встановлення сотень тисяч повітряно-водних систем щорічно. За межами Європи лідируючі позиції належать Китаю та Японії, на які разом припадає понад 40 % світового виробництва та використання теплових насосів. Тільки в Китаї в 2024 році було встановлено понад 2,2 мільйона систем, а Японія зберігає один з найвищих у світі рівнів зрілості ринку, майже повністю перейшовши на опалення побутової води за допомогою теплових насосів[17].

З точки зору технологічного розподілу, на світовому ринку домінують повітряні теплові насоси, які становлять близько 80 % усіх встановлених систем завдяки відносно низькій вартості капітальних вкладень та простоті монтажу. Найпоширенішими рішеннями є повітряно-водні системи, які можуть бути інтегровані в централізовані або індивідуальні опалювальні контури. Їх ефективність значно зросла завдяки впровадженню компресорів з інверторним приводом, мікроканалних теплообмінників та холодоагентів з низьким потенціалом глобального потепління, таких як R32 і R290, які забезпечують стабільну роботу до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ і сезонний коефіцієнт продуктивності до 4,5.

Геотермальні системи займають меншу частку ринку, але залишаються найбільш ефективною і довговічною категорією. Ці системи досягають значень ефективності від 4,5 до 5,5, а термін служби підземних контурів перевищує 50 років. Їх використання найбільш раціональне в регіонах зі стабільними геологічними умовами і достатньою площею для розміщення колекторів.

Сучасні тенденції розвитку ринку теплових насосів визначаються кількома ключовими технологічними напрямками. Першим є широке впровадження інверторних систем для холодного клімату з адаптивним регулюванням компресора, що забезпечує ефективну роботу в континентальному кліматі де температура взимку може досягати $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Другим є інтеграція гібридних конфігурацій, що поєднують теплові насоси з допоміжними газовими або

електричними котлами та сонячними фотоелектричними системами, що дозволяє частково покривати електроспоживання системи за рахунок відновлюваних джерел. Третім напрямком є активне впровадження природних холодоагентів, таких як пропан, вуглекислий газ та аміак, які мають майже нульовий потенціал глобального потепління і повністю відповідають екологічним стандартам[17].

Не менш важливим є поява інтелектуальних систем управління з дистанційним моніторингом, алгоритмами машинного навчання та прогнозним режимом роботи на основі прогнозів погоди та тарифів на електроенергію. Ці інтелектуальні системи оптимізують роботу компресорів і циркуляційних насосів, збалансовуючи теплове навантаження і зменшуючи річне споживання енергії на 10–15 %. Нарешті, ринок поступово розширюється в бік районних і напівцентралізованих теплових насосних мереж, де кілька будівель мають спільний геотермальний або водяний контур. Такі системи вже активно впроваджуються в Швеції, Данії та Німеччині, демонструючи рівні енергоефективності, недосяжні для традиційних централізованих теплових мереж.

РОЗДІЛ 3

ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ РІШЕНЬ

3.1 Ефективність використання теплового насосу

Відповідно до чинних українських будівельних норм енергоефективності (ДБН В.2.6-31:2021 та ДБН В.2.5-67:2013), теплова оболонка житлового будинку в кліматичній зоні I, до якої входять Київ та більша частина північної України, повинна забезпечувати мінімальні питомі тепловтрати протягом опалювального сезону. Нормалізована річна питома потреба в теплі для опалення приміщень визначається як функція опалювальної площі (F_h , m^2) та коефіцієнта висоти будівлі (h) і становить від 50 до 70 kWh на квадратний метр на рік для сучасних енергоефективних будинків класу А.

Для окремого житлового будинку із загальною опалювальною площею 200 m^2 розрахункова річна потреба в теплі для підтримки проектної температури в приміщенні $+20\text{ }^\circ C$ при проектній температурі зовнішнього повітря $-22\text{ }^\circ C$ і середній температурі зовнішнього повітря протягом опалювального періоду $-1,6\text{ }^\circ C$, при тривалості опалювального сезону 185 днів становить 11 000–12 000 kWh на рік. Це відповідає питомій тепловій навантаженні 55–60 W на квадратний метр, що визначає необхідну теплову потужність системи опалення. Отже, номінальна потужність теплового насоса для такого будинку повинна становити 12 kW [8].

Розрахунок необхідної теплової потужності використовує поняття еквівалентної тривалості опалювального сезону. Вона отримується шляхом множення кількості днів в опалювальному сезоні на 24 години та коригування відповідно до співвідношення різниці температур всередині приміщення та зовні до загальної різниці температур між проектними умовами всередині приміщення та зовні. Для Києва це дає еквівалентну тривалість 2100 годин. Якщо розділити річну потребу в теплі 12 500 kWh на цю кількість годин, отримаємо питому теплову навантаження в 59,5 W на квадратний метр, що відповідає раніше визначеному розрахунковому значенню.

Система повинна бути спроектована як низькотемпературна гідронічна мережа, оскільки ефективність теплового насоса збільшується із зменшенням різниці температур між випарником і конденсатором. При використанні систем теплої підлоги з температурою подачі води 30–40 °С сучасні інверторні теплові насоси досягають сезонних значень ефективності від 4,0 до 4,5[16].

Для підвищення надійності під час сильних морозів застосовується бівалентна схема опалення, де тепловий насос покриває 70–80 % проектного теплового навантаження, а решта 20–30 % забезпечується допоміжним джерелом тепла, таким як електричний котел, який автоматично активується, коли температура зовнішнього повітря опускається нижче точки бівалентності від –15 до –17 °С. У цій конфігурації теплоносій від теплового насоса та допоміжного джерела змішується в балансувальному баку перед входом у опалювальний контур, що забезпечує стабільне постачання та мінімізує перебої в роботі.

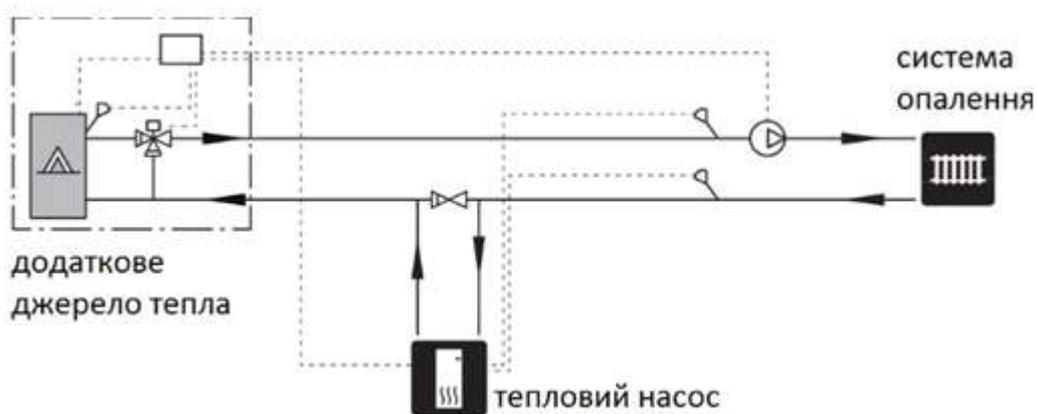


Рис. 3.1 Бівалентна схема опалення

У разі використання геотермального теплового насоса контур з розчином, що містить незамерзаючу рідину (наприклад суміш пропіленгліколю і води з температурою замерзання –25 °С), циркулює через горизонтальні або вертикальні ґрунтові теплообмінники. Проходячи через ґрунт, рідина поглинає геотермальну енергію, яка потім передається через випарник до контуру холодоагенту. Тепло, видобуте з ґрунту, стискається і використовується для

опалення приміщень та приготування гарячої води для побутових потреб, після чого повертається в ґрунтовий контур, щоб повторити цикл.

Управління системою теплового насоса здійснюється за допомогою датчиків температури, які контролюють як джерело тепла, так і тепловідвід. Система працює в автоматичному режимі, регулюючи швидкість компресора і перемикаючи допоміжні нагрівальні елементи в залежності від відхилення температури в приміщенні або на вулиці[17].

Ефективність сучасного теплового насоса інверторного типу характеризується коефіцієнтом корисної дії, який представляє собою відношення між виробленою тепловою енергією та спожитою електричною енергією. Наприклад, якщо система видає 12 кВт тепла, споживаючи 3 кВт електроенергії, її ККД становить 4,0, що означає, що 1 кВт·год електроенергії виробляє 4 кВт·год корисного тепла.

Визначення коефіцієнту корисної дії:

$$COP = \frac{Q}{E}$$

де Q – теплова енергія передана споживачеві, Вт

E – споживання електричної енергії, Вт.

Для запропонованого житлового будинку з річною потребою в опаленні приміщень 12 000 кВт·год, електрична енергія, необхідна для сучасного інверторного теплового насоса, що працює з сезонним коефіцієнтом продуктивності 4, дорівнює корисній потребі в теплі, поділеній на продуктивність, а саме 12 000 кВт·год тепла, поділене на 4, дає споживання електроенергії 3000 кВт·год на рік. За тарифом на електроенергію для житлових приміщень 4,32 грн за кВт·год це відповідає річним витратам на енергію для роботи теплового насоса приблизно 3000 кВт·год × 4,32 грн = 12 960 грн[8].

Для прямого порівняння з традиційним газовим котлом споживання палива обчислюється на основі необхідної кількості тепла та ККД котла: при тепловому ККД котла 92 % загальна необхідна енергія палива становить 12 000 кВт·год ÷

$0,92 = 13\ 043,5$ кВт·год енергії газу. Використовуючи типову теплоту згорання природного газу $9,5$ кВт·год на кубічний метр, об'ємне споживання газу дорівнює $13\ 043,5$ кВт·год $\div 9,5$ кВт·год/м³ ≈ 1373 м³ на рік. За поточної ціни на газ $7,96$ грн за кубічний метр це означає річні витрати на паливо в 1373 м³ $\times 7,96$ грн $\approx 10\ 929$ грн.

Результати порівняння показують, що за поточних тарифів на енергію річні витрати на опалення з використанням теплового насоса майже еквівалентні витратам на газову систему. Однак значно вищі початкові інвестиції, необхідні для встановлення системи теплового насоса, включаючи придбання агрегату, допоміжного обладнання та встановлення теплового джерела (земляного контуру або повітряного модуля), роблять загальну економічну ефективність менш вигідною в короткостроковій перспективі. Для житлових будинків капітальні витрати на повну систему теплового насоса можуть перевищувати витрати на традиційну котельню в два-три рази, що істотно подовжує термін окупності, незважаючи на подібні експлуатаційні витрати[4].

Тому для підвищення конкурентоспроможності теплових насосних систем необхідно розглянути методи оптимізації та підвищення ефективності як у проектуванні, так і в експлуатації систем. Підвищити загальну ефективність системи можна за допомогою використання більш досконалих технологій теплових насосів з вищими сезонними коефіцієнтами корисної дії, інтеграції низькотемпературних систем опалення, таких як підлогове опалення, та поліпшення теплоізоляційних характеристик оболонки будівлі. Крім того, оптимізація управління системою, правильний підбір розмірів компонентів та використання відновлюваних джерел електроенергії, таких як фотоелектричні панелі для часткового самозабезпечення, можуть значно зменшити як експлуатаційні витрати, так і залежність від тарифів на електроенергію, що робить застосування теплових насосів більш економічно виправданим та стійким у довгостроковій експлуатації.

Перший і найбільш технічно значущий підхід до підвищення ефективності системи передбачає вибір та інтеграцію сучасних високоефективних агрегатів, розроблених з використанням новітніх інверторних технологій. Сучасні європейські виробники випускають теплові насоси, які досягають сезонного коефіцієнта продуктивності від 4,5 до 5,5 в кліматичних умовах Центральної Європи та близько 4,0–5,0 в умовах холоднішої зими, типової для Києва. Це поліпшення досягається в першу чергу за рахунок компресорів з інвертором змінної швидкості, вдосконалених пластинчастих теплообмінників з мікроканалною конструкцією та використання нових холодоагентів з низьким потенціалом глобального потепління, таких як R-32 або R-454B, які забезпечують чудові термодинамічні властивості та дозволяють системі підтримувати стабільну продуктивність навіть при температурі навколишнього середовища до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ [18].

На відміну від попередніх агрегатів з фіксованою швидкістю, компресори з інверторним приводом безперервно модулюють свою потужність відповідно до миттєвого теплового навантаження, тим самим мінімізуючи цикли запуску-зупинки та зменшуючи енерговтрати, пов'язані з перехідним режимом роботи. Це адаптивне регулювання не тільки збільшує річний коефіцієнт корисної дії, але й подовжує термін служби компресора за рахунок зменшення механічного навантаження. Крім того, сучасні спіральні або подвійні роторні компресори мають вищу об'ємну ефективність та покращене змащення, що забезпечує стабільну роботу в умовах змінного тиску. Інтеграція електронно керованих розширювальних клапанів ще більше підвищує ефективність випарника, підтримуючи оптимальний рівень перегріву незалежно від коливань навантаження, а вдосконалена геометрія теплообмінника та гідрофільні покриття покращують теплообмін при низьких зовнішніх температурах і зменшують накопичення інею.

З практичної точки зору, ці високоефективні теплові насоси повітря-вода забезпечують температуру води на виході до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ без електричного резервного

живлення, що робить їх сумісними як з традиційними радіаторами, так і з низькотемпературними системами підлогового опалення. Геотермальні (грунтові) установки досягають ще більшої стабільності в роботі, оскільки температура ґрунту залишається постійною протягом усього опалювального сезону (близько +8 до +12 °С в Київській області). В результаті їх продуктивність може досягати 5,0–5,3, хоча це вимагає більш складного і дорогого монтажу вертикальних свердловин або горизонтальних колекторних контурів.

Ціна таких сучасних теплових насосних систем на українському ринку в 2025 році коливається від 2200 до 2800 грн за встановлений ват теплової потужності для повітряних систем і від 3200 до 3800 грн за ват для геотермальних конфігурацій, залежно від марки, технології холодоагенту та допоміжного обладнання. Для 12-кВт установки це відповідає загальним інвестиціям у розмірі 26 000–34 000 грн для систем з повітряним джерелом тепла і до 45 000 грн для систем з ґрунтовим джерелом тепла, без урахування розподільної мережі[10].

Хоча ці капітальні витрати значно вищі, ніж у газового котла, операційна ефективність, досягнута завдяки сучасній конструкції компресора та оптимізації холодоагенту, може зменшити річне споживання електроенергії на 15–25 % порівняно з традиційними тепловими насосами, що значно покращує економічну ефективність протягом терміну експлуатації та енергетичну стійкість.

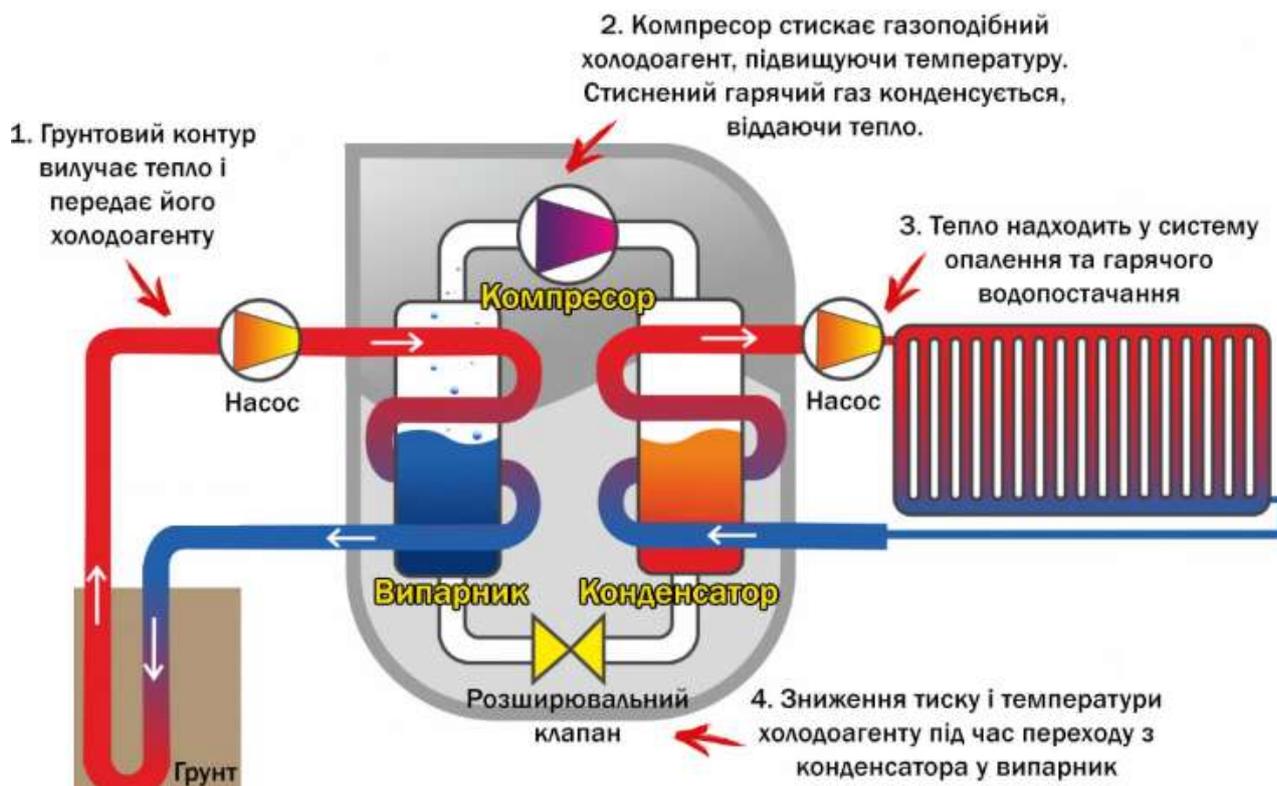


Рис. 3.2 Принцип роботи сучасного геотермального насосу

Наступний етап оптимізації стосується вдосконалень на рівні системи, які мають на меті знизити робочу температуру контуру опалення та синхронізувати роботу теплового насоса з реальною тепловою динамікою будівлі. Найефективнішою стратегією є перехід на низькотемпературні системи розподілу тепла, такі як теплі підлоги, які потребують температури води лише 30–40 °С. Оскільки ефективність будь-якого теплового насоса обернено пропорційна різниці температур між випарником і конденсатором, навіть зниження температури подачі на 5 °С може збільшити ККД на 10 %. Таким чином, оптимізація контуру опалення для більш низьких робочих температур безпосередньо призводить до відчутної економії енергії[17].

Крім того, гідравлічне балансування всієї системи забезпечує рівномірний розподіл тепла і запобігає надмірній швидкості циркуляції, яка призводить до марнування енергії насоса. Правильно відрегульовані клапани регулювання потоку та сучасні циркуляційні насоси з електронним регулюванням швидкості

підтримують постійний перепад тиску, покращуючи як комфорт, так і ефективність системи.

Ще одним компонентом оптимізації на рівні системи є інтеграція накопичувача теплової енергії. Буферний бак об'ємом 200–300 літрів стабілізує роботу компресора, зменшуючи короткі цикли, які в іншому випадку знижують ефективність і прискорюють знос. У поєднанні з інтелектуальними алгоритмами управління накопичувальний бак дозволяє тепловому насосу працювати в періоди низького споживання електроенергії, накопичуючи тепло для подальшого використання і тим самим знижуючи загальні експлуатаційні витрати.

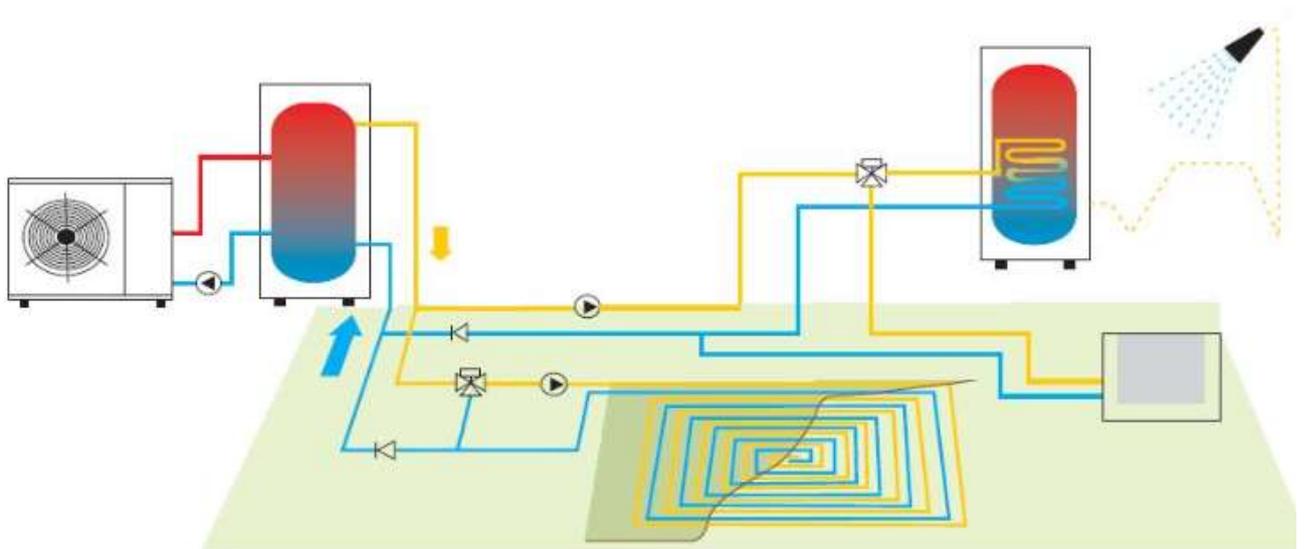


Рис. 3.3 Принцип роботи буферного бака

Важливим напрямком оптимізації роботи та економічної доцільності теплових насосних систем є використання відновлюваної електроенергії та застосування національних або міжнародних фінансових стимулів для енергоефективних технологій. В Україні станом на 2025 рік роздрібний тариф на електроенергію для побутових споживачів у Києві становить 4,32 грн за кВт·год, включаючи плату за передачу та розподіл. Однак у разі придбання електроенергії за «зеленими» двосторонніми контрактами — наприклад, безпосередньо від приватних або кооперативних фотоелектричних станцій, розташованих у

Київській або Житомирській областях — вартість електроенергії може знизитися до 3,2–3,8 грн за кВт·год, залежно від обсягу річного споживання та умов підключення. Це зниження ціни на 20–25 % призводить до пропорційного зменшення сезонних витрат на опалення[10].

Подальше підвищення економічної ефективності проекту можливе завдяки участі в державних та міжнародних програмах підтримки, спрямованих на просування низьковуглецевих технологій опалення. Наприклад, Український фонд енергоефективності продовжує надавати часткову компенсацію до 30–35 % вартості проектів модернізації опалення, включаючи встановлення теплових насосів та відповідних систем автоматизації. Залежно від розміру проекту та технічної документації, підтримка для односімейного житлового будинку може становити 70 000–120 000 грн. Подібні механізми співфінансування підтримуються кількома міжнародними ініціативами, такими як програми енергетичної трансформації ЄС та USAID, які субсидують впровадження відновлюваних джерел енергії та інтелектуальних систем управління як у житлових, так і в громадських будівлях.

Крім того, національні фінансові установи надають пільгові кредитні лінії для відновлюваного та енергоефективного обладнання. Кредити в рамках «зеленої модернізації» видаються під 7–9 % річних, порівняно з 16–18 % для стандартних споживчих кредитів. Ця різниця істотно скорочує термін окупності системи. У деяких випадках домогосподарства, які замінюють системи опалення на основі викопного палива на електричні або відновлювані, також можуть претендувати на часткове відшкодування витрат на підключення до місцевої електророзподільної мережі.

У сукупності ці економічні інструменти — знижені тарифи на електроенергію завдяки прямому постачанню відновлюваної енергії, державні субсидії та низьковідсоткове фінансування — створюють кумулятивний економічний ефект, який може знизити ефективну вартість теплогенерації на 25–40 % порівняно з базовим сценарієм використання електроенергії з мережі за

стандартними тарифами. У поєднанні з інтелектуальним енергоменеджментом та передовими технологіями управління система теплових насосів стає не тільки екологічно стійкою, але й фінансово конкурентоспроможною альтернативою опаленню природним газом[12].

3.2 Техніко-економічні характеристики системи

Об'єктом даного дослідження є дев'ятиповерховий житловий будинок, розташований у Києві, загальною висотою 31,35 м і типовою висотою житлового поверху 2,7 м. Площа забудови становить 24,30 м на 23,40 м, що дає загальну площу поверху 568,62 м². Перший поверх займають комерційні приміщення, на другому-восьмому поверхах розташовано по шість стандартних квартир, а на дев'ятому поверсі – чотири більші квартири, що в цілому становить сорок шість житлових одиниць. Для цілей проектування системи опалення та подальшого техніко-економічного порівняння загальна опалювальна площа житлових приміщень прийнята 4 548,96 м².

Зовнішня оболонка утворена стіною з піноблоків товщиною 300 мм із зовнішнім теплоізоляційним шаром з плит пінополістиролу товщиною 150 мм, а будівля обладнана стандартними вікнами з подвійним склінням, типовими для сучасного будівництва. Передбачається механічна вентиляція з рекуперацією тепла (система подачі та витяжки з рекуператором) для обмеження втрат тепла при вентиляції та зменшення чистої потреби в опаленні, пов'язаної з обміном свіжим повітрям. Всі проектні параметри мікроклімату в приміщенні відповідають сучасній будівельній практиці для житлових будинків: проектна температура в приміщенні +20 °С.

Підключення до інженерних мереж є муніципальним та централізованим: природний газ та електроенергія постачаються з міських мереж, а закупівля «зеленої» електроенергії буде моделюватися як зовнішній двосторонній контракт (позамайданчикове постачання відновлюваної енергії) за передбачуваною пільговою ціною 3,50 грн за кВт·год як реалістичний шлях оптимізації.

Стандартні міські тарифи на газ (ринкова ставка) будуть використовуватися для газової альтернативи в порівняльному аналізі.

Кліматичні граничні умови, використані в подальших розрахунках, відображають континентальний помірний режим Києва. Проектна температура зовнішнього повітря для найхолоднішого дня прийнята на рівні $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ відповідно до загальноприйнятої національної практики для регіону, середня температура протягом опалювального сезону прийнята на рівні близько $-1,5\dots -1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, а тривалість опалювального сезону приймається 185 днів (4440 годин), що відповідає ефективному еквівалентному періоду опалення 2100–2150 зважених годин для розрахунку стаціонарного розміру та оцінки річного енергетичного балансу[8].

Перший розглянутий варіант опалення – традиційна централізована газова система, встановлена в підвалі. Вона працює на основі двох конденсаційних газових котлів загальною номінальною потужністю 300 кВт і діапазоном модуляції від 20 % до повного навантаження. Тепловий режим $75/55\text{ }^{\circ}\text{C}$ підтримує стандартне радіаторне опалення. Газ подається через 100-міліметрове підключення до магістралі з вимірюванням, регулюванням тиску та пристроями безпеки, включаючи автоматичні запірні клапани та контроль витоків.

Гідравлічна конфігурація складається з буферного бака на 2 000 л, гідравлічного сепаратора на 350 кВт та пластинчастих теплообмінників з нержавіючої сталі, що розділяють контури опалення та гарячого водопостачання. Циркуляція підтримується двома насосами з частотним регулюванням з сумарною продуктивністю $45\text{ м}^3/\text{год}$. Опалювальна мережа влаштована з головними стояками діаметром 100 мм і розподільними лініями діаметром 50 мм на кожен поверх. Гаряча вода для побутових потреб готується шляхом непрямого нагрівання в двох ізольованих накопичувальних баках об'ємом 1 000 л з безперервною рециркуляцією при температурі $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Всі компоненти контролюються автоматизованою системою, що забезпечує регулювання температури та безпеки, електричний захист та контроль тиску.

Альтернативна конфігурація опалення використовує систему геотермальних теплових насосів, оптимізовану відповідно до сучасних принципів проектування. Вона складається з чотирьох інверторних геотермальних теплових насосів потужністю 60 кВт кожен, із загальною встановленою потужністю 240 кВт. Система досягає сезонного коефіцієнта продуктивності 5,0 при температурі на вході розсолу +8 °С і на виході нагрітої води 40 °С. Витяг тепла з ґрунту здійснюється через 37 вертикальних свердловин глибиною 120 м кожна, що містять подвійні U-подібні поліетиленові колектори (Ø32 мм), заповнені водо-гліколевим розчином. Свердловини заповнені теплопровідною бентоніт-цементною сумішшю і розташовані на відстані 6 м одна від одної для запобігання тепловим перешкодам. Первинний контур оснащений циркуляційними насосами із змінною швидкістю, що забезпечують загальний потік 40 м³/год.

На вторинній стороні тепло передається до низькотемпературної системи радіаційного опалення, що працює при 40/30 °С. Розподільна мережа включає два буферні баки об'ємом 1 000 л і пластинчастий теплообмінник з нержавіючої сталі потужністю 300 кВт. Опалювальні елементи будівлі складаються з контурів підлогового опалення, утворених багатошаровими трубами PEX-AL-PEX діаметром 16 мм, вбудованими в стяжку підлоги. Система гідравлічно збалансована за допомогою розподільних колекторів на рівні підлоги, оснащених термостатичними приводами та клапанами регулювання потоку. Гаряча вода для побутових потреб готується так само, як і для газової системи — шляхом непрямого нагрівання в двох ізольованих накопичувальних баках об'ємом 1 000 л з безперервною рециркуляцією при температурі 55–60 °С.

У технічному приміщенні встановлено повністю автоматизований блок управління, інтегрований в систему управління будівлею. Він регулює компресори теплового насоса, буферні баки та циркуляційні насоси на основі компенсації погоди та адаптивного управління навантаженням. Електропостачання здійснюється з міської мережі напругою 400 В, з загальною

піковою потужністю близько 60 кВт, що розподіляється через підземну кабельну систему на відстані 100 м.

Передбачається, що електроенергія постачається за «зеленим» тарифом 3,5 грн/кВт·год, а природний газ постачається з міської мережі за тарифом 7,96 грн/м³ (0,85 грн/кВт·год теплової енергії), причому підключення до газової мережі включає додаткові витрати на проектну документацію та дозволи, які не потрібні для системи теплового насоса.

Капітальні витрати на систему теплового насоса, з урахуванням усіх необхідних компонентів та оптимізацій, складають:

- Тепловий насос із загальною тепловою потужністю ~1800 кВт – 32 400 000 грн;
- Трубопроводи, колектори та насосна група – 5 500 000 грн;
- Підлогове опалення та низькотемпературні панелі – 3 500 000 грн;
- Система вентиляції з рекуперацією тепла – 4 200 000 грн;
- Монтаж та підключення – 4 500 000 грн.

Таким чином, загальні капітальні витрати становлять 50 100 000 грн. Однак дані енергоефективні рішення є частиною глобальної політики сталого розвитку та підтримуються численними міжнародними організаціями та державними програмами. З використанням подібних пільг загальну вартість монтажу обладнання можна зменшити до 50 % або до 25 050 000 грн. Для порівняння, вартість газової системи, що включає котел великої потужності, трубопроводи, монтаж та підключення до міської мережі, оцінюється в 15 000 000 грн.

Річна потреба будівлі в опаленні, з урахуванням підвищення ефективності завдяки підлоговому опаленню, становить 1 558 050 кВт·год. Для теплового насоса споживання електроенергії становить 311 610 кВт·год на рік, що дає річні витрати на опалення 1 090 635 грн. Для газової системи, припускаючи ефективність котла 92 %, потреба в газі становить 1 694 620 кВт·год на рік, що відповідає річним витратам 1 440 427 грн.

Порівнюючи системи, після врахування субсидій, ефективні капітальні витрати для теплового насоса становлять 25 050 000 грн проти 15 000 000 грн для газової системи. Річні експлуатаційні витрати становлять 1 090 635 грн для теплового насоса і 1 440 427 грн для газу, що дає річну економію витрат на опалення приблизно 349 792 грн. Отже, простий термін окупності системи теплового насоса становить:

$$25\,050\,000 - 15\,000\,000 = 10\,050\,000 \text{ грн} \div 349\,792 \text{ грн/рік} \approx 28,7 \text{ років.}$$

Це порівняння підкреслює, що, хоча тепловий насос забезпечує нижчі річні експлуатаційні витрати та дозволяє уникнути додаткових витрат на проект і дозвіл, пов'язаних з підключенням газу, значні початкові інвестиції залишаються головним фактором, що впливає на термін окупності.

Таблиця 3.1 Порівняльна таблиця

Показник	Газова система опалення	Геотермальна система з тепловим насосом
Опалювальна площа будівлі, м ²	4 548,96	4 548,96
Річна потреба в тепловій енергії, кВт·год	1 558 050	1 558 050
ККД / COP системи	92 %	5,0
Річне споживання енергоносія	1 694 620 кВт·год (газ)	311 610 кВт·год (електроенергія)
Тариф на енергоносії	0,85 грн/кВт·год (газ)	3,50 грн/кВт·год (зелений тариф)
Річні експлуатаційні витрати, грн	1 440 427	1 090 635
Капітальні витрати без субсидій, грн	15 000 000	50 100 000
Капітальні витрати з урахуванням субсидій, грн	15 000 000	25 050 000
Річна економія експлуатаційних витрат, грн	–	349 792
Різниця капітальних витрат, грн	–	10 050 000
Термін окупності, років	–	≈ 28,7

Висновок

У висновку, аналіз систем опалення для описаного 9-поверхового житлового будинку в Києві демонструє, що сучасний високоефективний тепловий насос у поєднанні з системою теплої підлоги та вентиляцією з рекуперацією тепла є технічно здійсненою та екологічною альтернативою традиційній системі газового котла. Система теплового насоса значно зменшує річні витрати на енергію порівняно з газом, одночасно усуваючи додаткові витрати на затвердження проектів та дозволи, необхідні для підключення газу.

Однак початкові капіталовкладення в систему теплового насоса залишаються значно вищими, ніж у випадку газового рішення, навіть з урахуванням 50% субсидії від міжнародних та державних програм. З розрахунковим терміном окупності в 28,7 років, економічна доцільність цього рішення є неоднозначною.

Загалом, незважаючи на тривалий термін окупності, система теплового насоса має очевидні переваги з точки зору енергоефективності, зменшення викидів парникових газів та сумісності з відновлюваними джерелами електроенергії. Для довгострокового планування та сталого проектування будівель такі системи є стратегічною інвестицією, що відповідає сучасним екологічним стандартам та цілям енергетичної трансформації.

РОЗДІЛ 4. ОПИС АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОГО РІШЕННЯ

БУДІВЛІ

4.1 Ситуаційний план



Рис. 4.1 Ситуаційний план

Дев'ятиповерховий житловий будинок розташовано в місті Київ на вулиці Теремківській.

4.2 Об'ємно-планувальне рішення

Висота дев'ятиповерхового житлового будинку становить 31,35 м, висота типового житлового поверху — 2,7 м, висота підвалу — 2,0 м, а висота горища — 2,5 м. Розміри будівлі становлять 24 300 мм вздовж осей 1–8 і 23 400 мм вздовж осей А–Ж, утворюючи компактну форму, оптимізовану для житлового використання, з урахуванням допоміжних і комунальних приміщень[2]. Архітектурна об'ємність підкреслює раціональну композицію функціональних зон, забезпечуючи чітке розділення між громадськими та приватними зонами. Будівля має один під'їзд, що забезпечує просту вертикальну циркуляцію та контроль доступу.

Конструктивно будівля складається з залізобетонного каркасу з квадратними колонами і балками. Каркасна система підтримує перекриття і полегшує гнучке розділення квартир і спільних зон. Перший поверх відведений під громадські приміщення, включаючи фітнес-центр, перукарню, кафетерій та адміністративні офіси. З другого по восьмий поверх планування включає шість житлових одиниць на поверсі. На дев'ятому поверсі розташовані чотири квартири з збільшеною площею.

4.3 Архітектурно-конструктивне рішення

Фундамент та підземна частина будівлі

Будівля побудована на пильовому фундаменті, спроектованому для забезпечення стабільності як під вертикальним, так і під бічним навантаженням. Палі мають довжину до 12 м і діаметр 300 мм, розташовані з рівномірним інтервалом в один метр. Залізобетонний ростверк має товщину 700 мм, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження і служить жорсткою платформою для надбудови[11]. Стіни підвалу, також виконані із залізобетону товщиною 700 мм. Бічні поверхні ростверку та стіни підвалу оброблені рідким склом, що забезпечує високий ступінь ущільнення поверхні та водостійкість, а також додатково утеплені 100-міліметровим шаром екструдованого полістиролу, створюючи ефективний тепловий бар'єр, що мінімізує втрати тепла та підвищує енергоефективність. Над рівнем землі передбачено влаштування вимощення шириною 1,2 метра, що доповнює гідроізоляцію та тепловий захист зони фундаменту.

Паралельно з цим, будівля оснащена високоефективною геотермальною системою опалення. Система складається з чотирьох інверторних геотермальних теплових насосів, кожен з яких має номінальну потужність 60 кіловат, що забезпечує загальну встановлену потужність 240 кіловат. Геотермальна енергія видобувається через 37 вертикальних свердловин глибиною 120 метрів кожна, оснащених подвійними U-подібними поліетиленовими колекторами діаметром 32 міліметри, заповненими водо-гліколевим розчином для оптимізації

теплопередачі. Свердловини засипані теплопровідною сумішшю бентоніту і цементу, що забезпечує механічну стабільність і ефективну теплопровідність, і розташовані на відстані шести метрів одна від одної, щоб запобігти тепловим перешкодам між сусідніми свердловинами[15].

Зовнішні, внутрішні стіни та перегородки

Стіни будівлі побудовані з самонесучих газобетонних блоків щільністю 500–600 кг/м³ і міцністю на стиск 5–6 МПа. Зовнішні стіни мають товщину 300 мм і в критичних точках армовані горизонтальною сталеву арматурою для підвищення стійкості та стійкості до тріщин. Перегородки між квартирами також мають товщину 300 мм, а внутрішні перегородки між кімнатами – 200 мм. Ці стіни мають теплопровідність 0,12–0,15 Вт/(м·К), що забезпечує ефективну ізоляцію. Всі дверні та віконні прорізи перекриті залізобетонними перемичками, виготовленими з бетону C25/30 із сталеву арматурою A500. Ці перемички мають переріз 200×250 мм і призначені для передачі навантаження від стін і підлог над прорізами без деформації або утворення тріщин.

Зовнішні стіни додатково утеплені 150 мм екструдованого полістиролу з теплопровідністю 0,032 Вт/(м·К), нанесеного на зовнішню поверхню. Ця ізоляція зменшує втрати тепла через стіни та мінімізує теплові мости, сприяючи загальній енергоефективності будівлі[5].

Каркас будівлі

Будівля зведена на залізобетонній каркасній системі, яка забезпечує основну несучу конструкцію та гарантує стабільність під вертикальними та бічними навантаженнями. Каркас складається з квадратних залізобетонних колон з перерізом 400×400 мм, виготовлених із бетону C30/37 та армованих високоміцною сталлю A500. Залізобетонні балки розміром 400×500 мм з'єднують колони в поздовжньому і поперечному напрямках, створюючи жорсткий каркас, здатний протистояти згинальним моментам і зсувним силам. Балки також виготовлені з бетону C30/37 з армуванням A500, призначені для підтримки плит перекриття та забезпечення поперечної стійкості каркаса[9].

В залізобетонний каркас інтегровані центральна сходово-клітка та ліфтова шахта. Ліфтова шахта розташована в центрі будівлі. Стіни сходової клітки та ліфтової шахти мають товщину 400 мм, виготовлені з монолітного залізобетону, що забезпечує високу жорсткість та вогнестійкість[1]. Сходи збірні і встановлені за допомогою вбудованих сталевих пластин і з'єднувальних деталей, що забезпечує точне вирівнювання і структурну цілісність. Ліфт з номінальною вантажопідйомністю 630 кг і швидкістю 1,0 м/с виконаний з металевих каркасу та покритий пластинами з нержавіючої сталі.

Перекриття та покрівля

Плити перекриття будівлі виконані з монолітного залізобетону товщиною 200 мм, виготовленого з бетону марки С30/37 і армованого сталевими стрижнями А500. Ці плити виконують функцію основних горизонтальних несучих елементів, передаючи як власну вагу конструкції, так і динамічні навантаження від житлових і службових приміщень на опорні балки і колони. Монолітна залізобетонна конструкція забезпечує високу жорсткість, вогнестійкість і звукоізоляцію між поверхами.

Дах будівлі спроектований як плоска дахова система з декількома функціональними шарами, інтегрованими для забезпечення теплової ефективності, гідроізоляції та захисту конструкції. Безпосередньо над бетонною плитою нанесено суцільний пароізоляційний шар, виготовлений з поліетилену високої щільності товщиною 0,2 мм, який запобігає проникненню водяної пари зсередини в ізоляційний шар і виникненню конденсату або погіршенню якості матеріалу. Над пароізоляційним шаром теплоізоляція складається з екструдованих полістирольних плит товщиною 150 мм. Ізоляція забезпечує високу міцність на стиск (≥ 300 кПа), придатну для навантажень на плоский дах, мінімізує втрати тепла взимку і зменшує нагрівання влітку, забезпечуючи відповідність сучасним стандартам енергоефективності[13].

На верхній частині ізоляції встановлюється цементно-піщана вирівнювальна стяжка під нахилом в 1-2 градуси товщиною 40-80 мм для

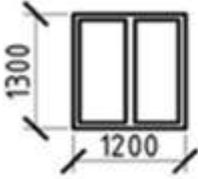
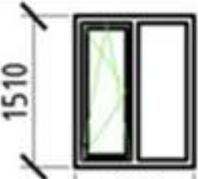
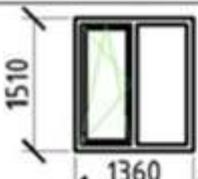
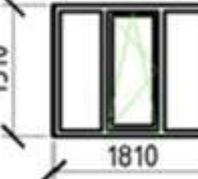
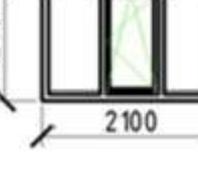
стікання дощової води. Остаточним водонепроникним шаром є двошарова модифікована бітумна мембрана, нижній шар якої наноситься паяльною лампою для приклеювання до стяжки, а верхній шар захищений мінеральними гранулами для захисту від ультрафіолетового випромінювання, механічного впливу та довготривалої міцності.

Дах обладнаний системою водовідведення, що складається з внутрішніх водостічних труб, інтегрованих у конструкцію будівлі, які збирають воду з поверхні даху і безпечно направляють її до дренажної мережі, запобігаючи утворенню калюж і потенційному проникненню води. Периметр даху огорожений залізобетонною парапетною стіною товщиною 250 мм і висотою 900 мм над плитою даху. Парапетна стіна забезпечує структурну підтримку краю даху і захищає мембрану даху від підйому вітром.

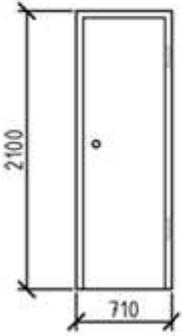
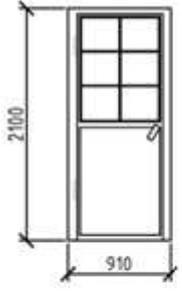
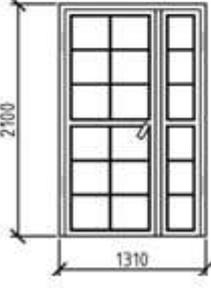
Зовнішнє та внутрішнє опорядження

Зовнішні оздоблювальні роботи будівлі включають нанесення високоякісної акрилової фасадної фарби на зовнішні утеплені стіни. Утеплювальний шар під фарбою покритий армованим базовим шаром і скловолокнистою сіткою для запобігання утворенню тріщин, що забезпечує рівномірну адгезію і довготривалу міцність. Фасадна фарба наноситься у два шари загальною товщиною 0,25 мм, що забезпечує стійкість до УФ-випромінювання, вологи та перепадів температури. Віконні та дверні наличники оброблені силіконовими герметиками та крапельними профілями для запобігання проникненню води та підвищення довговічності[14]. Парапетні стіни по периметру даху покриті стійкою до атмосферних впливів акриловою фарбою та мають металеві відливи з оцинкованої сталі для захисту країв покрівельної мембрани[5].

Таблиця 4.1 Експлікація віконних отворів

Марка по проекту	Позначення, ескіз	Найменування елемента	Площа, м ²	Кількість, шт.	Примітка
1	2	3	4	5	6
ВК-1		Металопластикове вікно фірми REHAU з подвійним склопакетом	1,56	12	
ВК-2		Металопластикове вікно фірми REHAU з подвійним склопакетом	1,83	40	
ВК-3		Металопластикове вікно фірми REHAU з подвійним склопакетом	2,05	80	
ВК-4		Металопластикове вікно фірми REHAU з подвійним склопакетом	2,73	40	
ВК-5		Металопластикове вікно фірми REHAU з подвійним склопакетом	2,877	20	

Таблиця 4.2 Експлікація дверних отворів

Марка по проекту	Розміри пройому, схема заповнення пройому	Назва	Всього	Примітка
1	2	3	7	8
1		Дерев'яні двері	192	
2		Дерев'яні двері зі склом	75	
3		Дерев'яні двері зі склом	75	

Всередині будівлі оздоблювальні роботи диференціюються за функціональним зонуванням. У житлових приміщеннях стіни покриті гіпсовою штукатуркою товщиною 15–20 мм, оздобленою акриловою фарбою у вітальнях і спальнях. Вологі приміщення, включаючи ванні кімнати та кухні, облицьовані керамічною плиткою 10×10 мм, укладеною на цементному клеї та затертою

водонепроникною епоксидною затіркою. Стелі у всіх приміщеннях оздоблені штукатуркою товщиною 10–15 мм, після чого нанесено акрилову фарбу[7].

На першому поверсі підлоги в службових і громадських приміщеннях, таких як тренажерний зал, кафетерій, перукарня та адміністративні офіси, оздоблені керамічною плиткою товщиною 12 мм з протиковзкою поверхнею. Підлоги в житлових приміщеннях покриті ламінованим паркетом товщиною 10 мм у вітальнях, спальнях і коридорах, укладеним на 2-міліметрову поліетиленову підкладку для поліпшення звукоізоляції та захисту від вологи[6].

Сходи оброблені керамічною плиткою товщиною 12 мм з протиковзким покриттям на сходинках і підсходинках, з металевими поручнями висотою 1,0 м, встановленими на вбудованих сталевих пластинах. Двері мають суцільну серцевину, товщиною 40 мм, вогнестійкі та покриті міцним ламінатом або фарбою. Вікна мають подвійне скління з алюмінієвими або ПВХ рамами, ущільнені силіконом для забезпечення герметичності та запобігання проникненню води[3].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009 [Чинний від 2011-01-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 45 с. (Національні стандарти України).
2. Благоустрій територій (зі Змінами): ДБН Б.2.2-5:2011 [Чинний від 2012-09-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2019. – 44 с. (Національні стандарти України).
3. Вікна та двері: ДСТУ EN 14351-1:2020.
4. Довідково-інформаційний збірник ресурсів та одиничних розцінок на будівельно-монтажні роботи. Суми : СНАУ, 2011.
5. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією: ДБН В.2.6-33:2018.
6. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Підлоги.
7. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Оздоблювальні роботи.
8. Кошторисні норми України «Настанова з визначення вартості будівництва» [Чинний від 2021-11-09]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2021. – 44–46 с. (Національні стандарти України).
9. Навантаження і впливи. Норми проектування: ДБН В.1.2-2:2016 [Чинний від 2017-10-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2016. – 13–16 с. (Національні стандарти України).
10. Нормування праці та кошториси в будівництві. Суми : «Мрія – 1», 2010. – 452 с.
11. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення: ДБН В.2.1-10:2018.
12. Організація будівельного виробництва: ДБН А.3.1-5:2016 [Чинний від 2016-01-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2016. – 44–46 с. (Національні стандарти України).

13. Покриття будівель і споруд: ДБН В.2.6-220:2017.
14. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28:2018 [Чинний від 2019-02-28]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2018. – 7 с. (Національні стандарти України).
15. Склад та зміст проектної документації на будівництво: ДБН А.2.2-3-2014 [Чинний від 2014-10-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2014. – 10 с. (Національні стандарти України).
16. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016 [Чинний від 2016-10-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2017. – 15 с. (Національні стандарти України).
17. Ткачук К. К. Перспективи застосування теплових насосів в Україні // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». 2015. Вип. 27. С. 144–153.
18. Bezrodnyi M. K., Prytula N. O. Effectiveness of heat pump heating systems using pre-heated air // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. № 1/8 (91). С. 38–45.