

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра екології, хімії та технологій захисту довкілля

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«ЕФЕКТИВНА ЕКОЛОГІЗАЦІЯ СФЕРИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ МЕТОДУ РАЦІОНАЛЬНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГООЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ»

Виконав: студент 2-го курсу, групи ТЗД-23м
спеціальності 183 – Технології захисту
навколишнього середовища

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Фурман О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор кафедри ЕХТЗД

Полив'янчук А.П.

(прізвище та ініціали)

«10» грудня 2024 р.

Опонент: к.т.н., доцент кафедри ЕХТЗД

Гітов Т.С.

(прізвище та ініціали)

«10» грудня 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕХТЗД

к.т.н., доц. Іщенко В.А.

(прізвище та ініціали)

«10» грудня 2024 р.

Вінниця – 2024 рік

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Вінницький національний технічний університет
Факультет Будівництва, цивільної та екологічної інженерії
Кафедра Екології, хімії та технологій захисту довкілля
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 18 - «Виробництво та технології»
Спеціальність – 183- «Технології захисту навколишнього середовища»
Освітньо-професійна програма – «Технології захисту навколишнього середовища»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Завідувач кафедри ЕХТЗД
Іщенко В.А.
(підпис)

«17» вересня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Фурману Олександрові Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «ЕФЕКТИВНА ЕКОЛОГІЗАЦІЯ СФЕРИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ МЕТОДУ РАЦІОНАЛЬНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГООЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ»

керівник роботи Полив'янчук Андрій Павлович

затверджені наказом вищого навчального закладу від «17» вересня 2024 року № 310

2. Строк подання студентом роботи: «10» грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Результати аналізу літературних джерел за темою дослідження, технічні та еколого-економічні характеристики натурних об'єктів, будівель, закладів освіти. Технічна документація системи розумного опалення SMART Comfort.

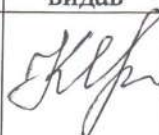
4. Зміст текстової частини:

1. Аналіз енергоефективних технологій в сфері теплопостачання.
2. Метод раціонального впровадження (РВ) енергоефективних технологій (ЕТ) в технічному комплексі (ТК) «виробник-споживач» теплової енергії.
3. Натурні об'єкти будівель для досліджень ефективності методу РВЕТ.
4. Дослідження негативного впливу міського автотранспорту на довкілля непрямыми методами.
5. Оцінювання еколого-економічної ефективності інноваційної енергозберігаючої технології – «розумного» опалення будівлі.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

- 1.Сучасні енергоощадні технології в сфері теплопостачання
- 2.Принципова схема методу РВЕТ в технічному комплексі «виробник-споживач» теплової енергії
- 3.Загальний вигляд досліджуваного натурного об'єкту №1
- 4.Результати оцінки ефективності ЕТ рекомендованих до впровадження на НО №1
- 5.Еколого-економічна оцінка ефективності технології «розумного» опалення

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконав прийняв
5 Оцінювання еколого-економічної ефективності інноваційної енергозберігаючої технології – «розумного» опалення будівлі	в.о. декана ФМІБ Краєвська Алла Станіславівна		

7. Дата видачі завдання « 24 » вересня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим
1	Аналіз літературних джерел за темою досліджень	24.09-02.10.2024	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	24.09-02.10.2024	
3	Обґрунтування методів досліджень	24.09-02.10.2024	
4	Розв'язання поставлених задач	03.10-20.11.2024	
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	05.11-01.12.2024	
6	Виконання розділу «Оцінювання еколого-економічної ефективності інноваційної енергозберігаючої технології – «розумного» опалення будівлі»	21.11-01.12.2024	
7	Підготовка висновків, додатків і переліку посилань	01.12-3.12.2024	
8	Попередній захист МКР	03.12.2024	
9	Рецензування МКР	05.12.2024	
10	Захист МКР	10.12.2024	

Студент

Фурман О.В.

Керівник роботи

Полив'янчук А. П.

ВІДГУК

**наукового керівника на магістерську кваліфікаційну роботу
студента денної форми навчання групи ТЗД – 23м
Фурмана Олександра Вікторовича на тему
«Ефективна екологізація сфери теплопостачання на основі методу
раціонального впровадження енергоощадних технологій»**

Традиційні джерела енергії відносяться до вичерпних природних ресурсів та характеризуються значними викидами у атмосферу парникових газів та забруднюючих речовин. Тому застосування енергоощадних технологій та оптимізація систем теплопостачання дозволяють підвищити ефективність енергоспоживання та мінімізувати вплив комунальної енергетики на навколишнє середовище.

Тема даної магістерської роботи має високу актуальність, оскільки в сучасних умовах зростання вартості енергоресурсів і забруднення довкілля питання енергозбереження в сфері теплопостачання є надзвичайно важливим.

У процесі виконання магістерської класифікаційної роботи студент Фурман О.В провів патентний пошук, опрацював літературні джерела за темою досліджень та проаналізував і класифікував сучасні енергоефективні технології у сфері теплопостачання. На основі цих досліджень магістрантом удосконалено метод раціонального впровадження енергоефективних заходів (технологій) в технічному комплексі «виробник-споживач» теплової енергії, оцінено його енерго-екологічну та економічну ефективність і проведено відпрацювання на натурних об'єктах сфери освіти.

Під час роботи над магістерською роботою студент Фурман О.В проявив самостійність при вирішенні поставленого завдання, вміння працювати з фаховою літературою, володіє достатніми знаннями з екологічних дисциплін та комп'ютерної техніки.

Робота у цілому виконана на високому рівні і заслуговує оцінки «А».

Керівник роботи,

д.т.н., проф. каф. ЕХТЗД



А.П. Полив'янчук

6. Науковий рівень (для робіт дослідницького характеру) та глибина експериментальних досліджень.

Магістерська кваліфікаційна робота має практичне використання та достатній пізнавальний і навчальний рівень.

7. Застосування комп'ютера для вирішення задач основної частини роботи (оптимізація, моделювання, САПР, СУБД, ГІС, технічні розрахунки складних систем та ін.), застосування стандартних та оригінальних програм, наявність аналізу результатів та їх використання у роботі.

Для виконання роботи було використано комп'ютерні програми: Microsoft Word, Exel, Visio.

8. Наявність у пояснювальній записці обґрунтування усіх проектних рішень, стиль її написання (обґрунтовальний чи описовий), відповідність оформлення до вимог діючих стандартів.

Пояснювальна записка оформлена відповідно до діючих стандартів, рішення та рекомендації подані обґрунтовано.

9. Повнота відображення графічних матеріалів основного змісту бакалаврської роботи, відповідність графічних матеріалів конкретному об'єкту дослідження, вимогам діючих стандартів.

Графічний матеріал, представлений у даній роботі, відображає основний зміст роботи, оформлений згідно діючих стандартів і відповідає об'єкту дослідження.

10. Практична цінність роботи, можливість її реалізації.

Магістерська кваліфікаційна робота має практичну цінність, так як містить аналітичні дослідження щодо покращення стану екологічної безпеки галузі комунальної енергетики.

11. У магістерській кваліфікаційній роботі можна відзначити такі недоліки:

Значення представлених у табл. 4.2 і 4.3 умовних скорочень заходів з енергозбереження рекомендованих до впровадження на досліджуваних натурних об'єктах №1 та №2, розкриті не в повній мірі.

Магістерська кваліфікаційна робота у цілому виконана на високому рівні і заслуговує на оцінку А.

Опонент



(підпис)

к.х.н., доц. Т.С. Тітов

6. Науковий рівень (для робіт дослідницького характеру) та глибина експериментальних досліджень.

Магістерська кваліфікаційна робота має практичне використання та достатній пізнавальний і навчальний рівень.

7. Застосування комп'ютера для вирішення задач основної частини роботи (оптимізація, моделювання, САПР, СУБД, ГІС, технічні розрахунки складних систем та ін.), застосування стандартних та оригінальних програм, наявність аналізу результатів та їх використання у роботі.

Для виконання роботи було використано комп'ютерні програми: Microsoft Word, Exel, Visio.

8. Наявність у пояснювальній записці обґрунтування усіх проектних рішень, стиль її написання (обґрунтовальний чи описовий), відповідність оформлення до вимог діючих стандартів.

Пояснювальна записка оформлена відповідно до діючих стандартів, рішення та рекомендації подані обґрунтовано.

9. Повнота відображення графічних матеріалів основного змісту бакалаврської роботи, відповідність графічних матеріалів конкретному об'єкту дослідження, вимогам діючих стандартів.

Графічний матеріал, представлений у даній роботі, відображає основний зміст роботи, оформлений згідно діючих стандартів і відповідає об'єкту дослідження.

10. Практична цінність роботи, можливість її реалізації.

Магістерська кваліфікаційна робота має практичну цінність, так як містить аналітичні дослідження щодо покращення стану екологічної безпеки галузі комунальної енергетики.

11. У магістерській кваліфікаційній роботі можна відзначити такі недоліки:

Значення представлених у табл. 4.2 і 4.3 умовних скорочень заходів з енергозбереження рекомендованих до впровадження на досліджуваних натурних об'єктах №1 та №2, розкриті не в повній мірі.

Магістерська кваліфікаційна робота у цілому виконана на високому рівні і заслуговує на оцінку А.

Опонент

(підпис)

к.х.н., доц. Т.С. Тітов

АНОТАЦІЯ

УДК 502.55; 338:504.05

О.В. Фурман, Ефективна екологізація сфери теплопостачання на основі методу раціонального впровадження енергоощадних технологій Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища, освітня програма – Технології захисту навколишнього середовища. Вінниця: ВНТУ, 2024. 74 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 31 назви; рис.: 18; табл. 4.

В магістерській кваліфікаційній роботі досліджено метод раціонального впровадження енергоощадних технологій (РВ ЕТ), що дозволяє знижувати інвестиційні витрати завдяки потенціалу самофінансування та удосконаленому багатокритеріальному аналізу технологій. Експериментально перевірено ефективність впровадження альтернативних джерел теплової енергії, таких як теплові насоси, геліосистеми та Smart-технології, на прикладі об'єктів Вінницького національного технічного університету. Результати показали значну економію енергетичних ресурсів та коштів на опаленні, а також зменшення викидів і покращення екології. Робота має практичну цінність для розвитку енергозбереження та підвищення енергетичної безпеки в Україні.

Графічна частина складається з 15 слайдів.

Ключові слова: теплопостачання, енергоощадні технології, екологізація, громадські будівлі, ефективність, «розумне» опалення.

ABSTRACT

UDC 502.55; 338:504.05

O.V. Furman, Effective Environmental Optimization of the Heating Sector Based on the Method of Rational Implementation of Energy-Saving Technologies. Master's Thesis in the specialty 183 – Environmental Protection Technologies, Educational Program – Environmental Protection Technologies. Vinnytsia: VNTU, 2024. 74 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 31 titles; illustrations: 18; tables: 4.

This Master's thesis investigates the method of rational implementation of energy-saving technologies (RI EST), which allows for the reduction of investment costs through self-financing potential and an advanced multi-criteria analysis of technologies. The effectiveness of integrating alternative heat energy sources—such as heat pumps, solar systems, and smart technologies—was experimentally validated using facilities at the Vinnytsia National Technical University as case studies. The results demonstrated significant savings in energy resources and heating costs, along with a reduction in emissions and improvement in environmental conditions. The research holds practical value for advancing energy efficiency and enhancing energy security in Ukraine.

The graphical component comprises 15 slides.

Keywords: heat supply, energy-saving technologies, ecologization, public buildings, efficiency, smart heating.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СФЕРІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	9
1.1 Технології термомодернізації будівель.....	10
1.2 Системи «розумного» опалення будівель (HERZ Smart Comfort).....	12
1.3 Альтернативні джерела теплової енергії	15
2 МЕТОД РАЦІОНАЛЬНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ (РВ) ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЗАХОДІВ (ТЕХНОЛОГІЙ) – РВЕЗ(Т) В ТЕХНІЧНОМУ КОМПЛЕКСІ «ВИРОБНИК-СПОЖИВАЧ» ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ	25
2.1 Багатокритеріальна оцінка ефективності ЕТ в сфері теплопостачання .	27
2.2 Сутність та алгоритм реалізації методу РВЕЗ(Т)	30
2.3 Оцінка річної ефективності рекомендованих до впровадження ЕТ	36
2.3 Методика визначення параметрів та оцінка ефективності процедури РВЕЗ(Т).....	38
3 НАТУРНІ ОБ’ЄКТИ БУДІВЕЛЬ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ РВЕЗ(Т)	44
3.1 Натурний об’єкт №1 – сільська школа.....	45
3.2 Натурний об’єкт №2 – навчальний корпус університету.....	47
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ РВЕЗ(Т) НА НАТУРНИХ ОБ’ЄКТАХ	50
4.1 Результати досліджень натурального об’єкту №1	51
4.2 Результати досліджень натурального об’єкту №2	55
5 ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ІННОВАЦІЙНОЇ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ – «РОЗУМНОГО» ОПАЛЕННЯ БУДІВЛІ	59
ВИСНОВКИ	65

ДОДАТОК А	70
ДОДАТОК Б	71

ВСТУП

Актуальність. У сучасних умовах стрімкого виснаження природних енергетичних ресурсів та посилення негативного впливу на навколишнє середовище (НС) питання енергозбереження стає надзвичайно важливим. Традиційні джерела енергії, що активно використовуються в сфері теплопостачання, характеризуються високими рівнями забруднення атмосфери та вичерпністю ресурсів, що погіршує екологічну ситуацію на локальному та глобальному рівнях. Основними проблемами є викиди парникових газів, високі витрати енергії на виробництво тепла та підвищення вартості видобутку ресурсів, що зумовлює зростання витрат на комунальні послуги для населення. З огляду на це, ефективна екологізація сфери теплопостачання є важливою умовою для забезпечення сталого розвитку міст і регіонів. Одним із перспективних напрямів є застосування Smart-технологій та методів раціонального (оптимізованого) впровадження енергоощадних технологій, що дозволяє зменшити втрати тепла, підвищити ефективність використання енергії та мінімізувати негативний вплив на НС. Це забезпечує екологічну, енергетичну та економічну вигоду, яка має значний потенціал для масового впровадження в комунальних системах теплопостачання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дана робота виконувалась у рамках наукового напрямку екології, хімії та технологій захисту довкілля Вінницького національного технічного університету та відповідно до плану виконання держбюджетної теми «Оптимізація енергоощадних технологій у сфері комунального теплопостачання для зниження екологічного навантаження на урбанізовані території».

Метою роботи є розробка та удосконалення методів раціонального впровадження енергоощадних технологій у сфері теплопостачання, що спрямовані на підвищення енергоефективності та екологічної безпеки будівель різного типу.

Завдання роботи:

- 1) Проаналізувати та класифікувати енергоефективні технології у сфері теплопостачання.
- 2) Дослідити метод раціонального впровадження енергоефективних заходів (технологій) – PBEЗ(T) у технічному комплексі (ТК) «виробник-споживач» теплової енергії.
- 3) Визначити та обґрунтувати вибір натурних об'єктів будівель для дослідження ефективності методу PBEЗ(T).
- 4) Дослідити ефективність методу PBEЗ(T) на натурних об'єктах.
- 5) Оцінити еколого-економічну ефективність інноваційної енергозберігаючої технології – «розумного» опалення будівлі.

Об'єкт досліджень – процеси теплопостачання та теплоспоживання в комунальних енергосистемах будівель.

Предмет досліджень – методи раціонального впровадження енергоощадних технологій для підвищення екологічної та енергетичної ефективності теплопостачання.

Новизна одержаних результатів. Удосконалено методи раціонального впровадження енергоощадних технологій на основі Smart-рішень, що дозволяють значно знизити втрати теплової енергії та поліпшити енергоефективність систем теплопостачання. Розроблено математичну модель, яка дозволяє комплексно оцінювати екологічні, енергетичні та економічні аспекти використання теплової енергії в будівлях.

Практична цінність роботи полягає у можливості впровадження розроблених методик та Smart-технологій для підвищення ефективності комунальних систем теплопостачання, що сприятиме зменшенню енергетичних витрат та покращенню екологічної ситуації у містах.

Публікації результатів магістерської кваліфікаційної роботи

Основні положення та результати дослідження були представлені на IX Міжнародному з'їзді екологів на базі Вінницького національного технічного університету та знайшли практичне застосування у пілотних проектах з модернізації систем теплопостачання в будівлях різного типу [1].

1 АНАЛІЗ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СФЕРІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

У контексті глобальної енергетичної кризи та зміни клімату підвищення енергоефективності стає важливим компонентом сталого розвитку. Однією з основних областей, де використання енергозберігаючих технологій має першорядне значення, є теплопостачання. Енергозберігаючі технології не тільки знижують споживання енергії, але і зменшують негативний вплив на навколишнє середовище за рахунок скорочення викидів парникових газів. Тому раціональне впровадження таких технологій у сфері теплопостачання-важливий крок на шляху до екологізації економіки.

Даний розділ присвячений аналізу та класифікації основних енергозберігаючих технологій у сфері теплопостачання. У ньому описуються комплексні заходи і рішення, спрямовані на підвищення ефективності використання теплової енергії в будівлях та інших об'єктах інфраструктури. Одним з ключових напрямків є тепла модернізація будівель, така як ізоляція стін, дахів і підлог, а також модернізація вікон і дверей. Це дозволяє значно знизити тепловтрати і підвищити енергоефективність будівлі [1].

Другим важливим аспектом є інтелектуальна система опалення, така як Herz Smart Comfort, яка автоматизує процес опалення та оптимізує споживання енергії відповідно до фактичних потреб будівлі [2].

Третя область, обговорена в цьому розділі, стосується використання альтернативних джерел теплової енергії. Це включає використання сонячних колекторів, теплових насосів та біомаси в липні як джерела енергії для теплопостачання. Альтернативні джерела енергії можуть значно зменшити залежність від викопного палива та сприяти розвитку відновлюваних джерел енергії [3].

Отже, аналіз і класифікація цих технологій допоможуть визначити найбільш ефективні способи впровадження енергоефективних рішень в області теплопостачання та їх вплив на енергетичний і екологічний баланс.

1.1 Технології термомодернізації будівель

Теплова модернізація будівель-важливий фактор підвищення енергоефективності системи теплопостачання. Це комплекс заходів, спрямованих на зниження тепловтрат і підвищення рівня комфорту в будівлі. Належна модернізація не тільки знизить витрати на опалення, але і допоможе скоротити викиди парникових газів і стане важливим кроком на шляху до екологізації сектора теплопостачання.

Однією з ключових областей термічної модернізації є ізоляція навколишніх конструкцій, таких як стіни, дахи та підлоги. Сучасні технології пропонують кілька підходів до теплоізоляції, в тому числі утеплення зовнішніх і внутрішніх стін. Для цієї мети використовуються такі ізоляційні матеріали, як пінополістирол, мінеральна вата і ековата. (рис 1.1) Ці матеріали володіють високими теплоізоляційними властивостями, що значно знижує тепловтрати в стінах. Ізоляція дахів і підлог також відіграє важливу роль, особливо в приватних будинках, де через ці архітектурні елементи втрачається значна кількість тепла. Правильна ізоляція не тільки знижує енергоспоживання, але і покращує Клімат приміщення в цілому [4].



Рисунок 1.1 – Матеріали для утеплення будівлі

Другим важливим напрямком термомодернізації є модернізація вікон і дверей. Старі вікна та двері можуть пропускати значну кількість тепла через протяги та низьку теплоізоляцію. Сучасні енергоефективні склопакети з низькоемісійними покриттями і вікна, заповнені інертними газами, такими як аргон і криптон, значно знижують теплопровідність. При установці герметиків для усунення можливих протягів також важливо враховувати герметичність вікон і дверей. Тому використання сучасних віконних систем дозволяє значно підвищити енергоефективність будівлі і знизити тепловтрати в зимовий період [4].

Не менш важливим фактором є вибір утеплювача. Сьогодні ринок пропонує широкий асортимент матеріалів, кожен з яких має свої переваги і недоліки. Основними критеріями вибору матеріалу є низька теплопровідність, екологічність, довговічність і вартість. Серед найбільш популярних матеріалів-мінеральна вата, пінополістирол і натуральний утеплювач, які не тільки забезпечують якісну ізоляцію, але і мінімізують вплив на навколишнє середовище. Утеплення будівель з використанням екологічно чистих матеріалів не тільки підвищує енергоефективність, але і сприяє захисту навколишнього середовища [4].

Ще одним важливим аспектом термомодернізації є теплоізоляція інженерних систем. Зокрема, теплоізоляція трубопроводів, що використовуються в системах опалення та гарячого водопостачання, знижує втрати тепла при його транспортуванні. Використання сучасних матеріалів для ізоляції труб, а також установка термостатичних клапанів і циркуляційних насосів не тільки економлять енергію, але і підвищують загальну продуктивність системи опалення, забезпечуючи ефективне і рівномірний розподіл тепла по всій системі [4].

В цілому, термомодернізація будівель є необхідним компонентом процесу підвищення енергоефективності. Її впровадження не тільки знижує витрати на опалення, але і допомагає підвищити комфорт життя і знизити вплив на навколишнє середовище. Приклади успішної термомодернізації,

проведені в Україні та за кордоном, демонструють значні економічні та екологічні наслідки, які роблять цю область одним з ключових напрямків у розвитку енергозберігаючих технологій у сфері теплопостачання [4].

1.2 Системи «розумного» опалення будівель (HERZ Smart Comfort)

Питання оплати комунальних послуг стає все більш актуальним на тлі постійного підвищення тарифів на газ, воду, електрику та опалення. За останні 8 років вартість газу для населення зросла в 19 разів — з 0,37 грн/м³ в 2008 році до 6,88 грн/м³ в 2017 році. Настільки стрімке подорожчання одного з основних енергоресурсів зажадає перегляду підходу до проектування та експлуатації з систем опалення. Зростання тарифів змусить споживачів думати, що Системи опалення як інвестиційний проект матимуть чіткий термін окупності.

У той же час технології продовжують стрімко розвиватися, прагнучи спростити наше життя. В останні роки намітилася тенденція керувати важливими процесами за допомогою смартфонів, такими як оплата рахунків, купівля квитків, замовлення продуктів і GPS-навігація. Це показує, що смартфон поступово перетворюється на Панель управління для нашого комфорту.

Сучасні технології застосовуються і в управлінні системами опалення. Сьогодні за допомогою смартфонів можна управляти як всією кліматичною системою в цілому, так і її окремими елементами. За допомогою пульта дистанційного керування можна значно знизити витрати на опалення в порівнянні з традиційними програмованими термостатами [5].

Рішення від Herz. Компанія Herz пропонує інноваційні рішення в області управління мікрокліматом на українському ринку. Використовуючи комутаційний модуль Cube + в складі системи HERZ Smart Comfort, ви можете зручно регулювати роботу радіатора і знизити витрати на опалення на 30-60%. Завдяки дистанційному регулюванню температури через Інтернет (за

допомогою ПК або смартфона) користувачі можуть економити на опаленні, навіть не дотримуючись чіткого графіка. Ця система має значну перевагу перед програмованим термостатом.

Програмований термостат може регулювати температуру в приміщенні відповідно до розкладу, але якщо приміщення використовується не за планом, ефективність буде знижена [9].

Складові системи HERZ Smart Comfort

Система HERZ Smart Comfort включає кілька основних компонентів:

- Електронний термостатичний радіаторний регулятор ЕТКФ+
- Датчик відкриття вікна
- Настінний термостат для приміщень з кількома радіаторами
- Комутаційний модуль Cube+
- Настінний перемикач режиму опалення Eco Switch+ для всього будинку. (рис 1.2)

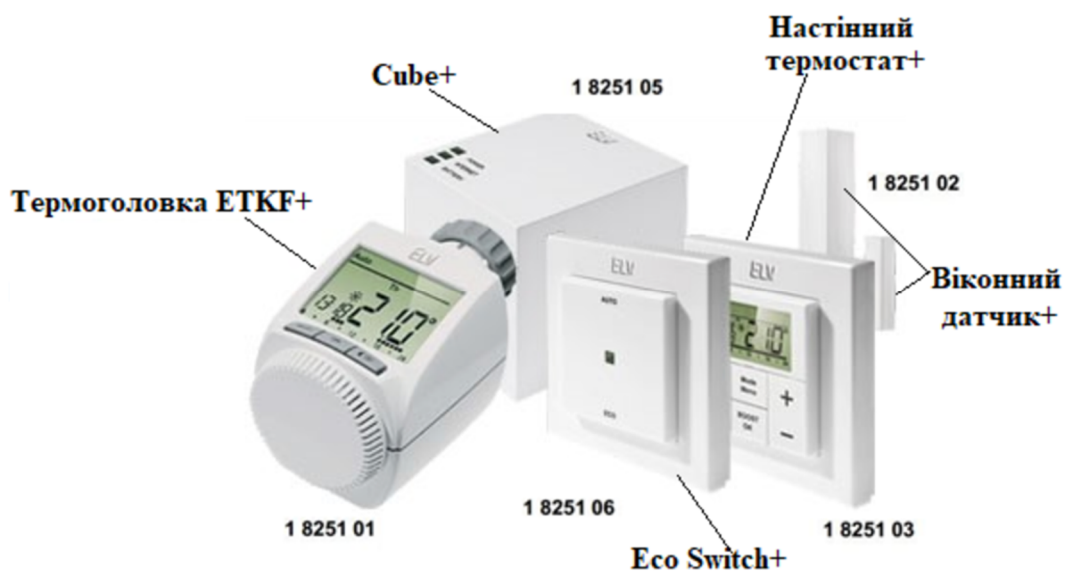


Рисунок 1.2 – Складові системи HERZ Smart Comfort

Як працює система Herz Smart Comfort? Датчик температури, вбудований в термоголовку ЕТКФ+, безперервно контролює температуру повітря в приміщенні і, в залежності від встановленого значення, регулює подачу гарячої води через клапан радіатора для підтримки заданого температурного режиму. Коли вікно відкривається, радіатор автоматично підтримує температуру 17 ° С протягом 15 хвилин (регулюється) [12].

Настінний термостат з власним датчиком управляє всіма термоголовками ЕТКФ + в приміщенні, що спрощує їх налаштування. Це позбавляє від необхідності налаштовувати кожен термоголовку індивідуально.

Користувачі можуть налаштувати до 6 періодів комфортного нагріву, що значно знижує витрати на опалення в періоди, коли комфортна температура не потрібна.

Сумісність з системою опалення. Для використання системи Herz Smart Comfort на радіаторі повинен бути встановлений термостатичний клапан. Електронні термоголовки ЕТКФ + просто встановлюються на ці клапани, а при відсутності клапанів їх необхідно встановлювати замість існуючих фітінгів.

Всі компоненти системи працюють бездротово, що робить їх хорошим вибором для модернізації старих систем без додавання нових систем або кабельних з'єднань. Радіус дії радіосигналів в будинку становить близько 30 метрів, це залежить від дизайну стін і розстановки меблів.

Вибір компонентів системи. Для установки системи HERZ Smart Comfort на радіатор необхідно встановити різьбовий термостатичний клапан для головки термостата m28x 1, 5 мм у приміщенні з 1 радіатором встановлена 1 термоголовка ЕТКФ+ і 1 датчик на вікні [12].

Якщо радіаторів кілька, то для кожного радіатора потрібно термоголовка, а для вікна над ними - датчик. Також рекомендується встановити 1 настінний термостат для управління всіма термоголовками в приміщенні [9].

Установка компонентів системи Herz Smart Comfort. Датчики відкривання вікон, настінні термостати та перемикачі Eco Switch + оснащені двосторонньою клейкою стрічкою та гвинтами для кріплення. Датчик діафрагми доступний в білому і темно-коричневому корпусах і може бути обраний в залежності від кольору віконної рами [9].

Модуль комутації Cube + розташований поруч з маршрутизатором, але також може бути встановлений на стіні. Всі компоненти підключаються по бездротовій мережі натисканням кнопки.

Ефективність системи Herz smart comfort system. Економія тепла в системі може бути досягнута різними способами, від традиційних регуляторів до інтелектуальних систем управління. Основними параметрами для регулювання потужності системи є температура зовнішнього повітря, температура в приміщенні, інтервал часу обігріву і фактична присутність людей.

Чим складніше система енергозбереження, тим більше параметрів враховується і тим більше економія гарантована. Залежно від температури зовнішнього повітря система weather automation регулює температуру води в радіаторі відповідно до заздалегідь встановленим графіком нагріву [9].

1.3 Альтернативні джерела теплової енергії

Альтернативні джерела енергії – це невикопані ресурси, які постійно або нерегулярно присутні в природному середовищі. Використання цих джерел є ключовим компонентом стратегій переходу до сталого розвитку, оскільки вони надають можливості для скорочення викидів парникових газів, зменшення залежності від традиційних викопних видів палива та забезпечення енергетичної незалежності. В Україні Альтернативні джерела теплової енергії стають все більш актуальними, особливо в умовах енергетичної кризи і зміни клімату. До них відносяться:

- Сонячна енергія
- Енергія вітру
- Геотермальна енергія
- Аеротермальна енергія
- Енергія гарячої води
- Енергія хвиль і припливів
- Гідравлічна енергія
- Енергія біомаси
- Газ з органічних відходів
- Газ з очисних споруд
- Біогаз
- Теплова помпа

Одним з найбільш перспективних видів альтернативної енергетики є **сонячна енергія**, яка використовує сонячне випромінювання для вироблення електричної або теплової енергії. Основними технологіями, що використовуються для збору сонячної енергії, є сонячні панелі (SFGP) та сонячні теплові колектори. SFGP перетворює сонячну енергію безпосередньо в електрику, тоді як теплові колектори використовують сонячне тепло для нагрівання води та повітря [6] (рис 1.3).

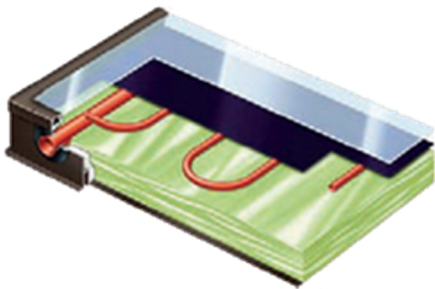
Потенціал сонячної енергетики в Україні. Сонячна енергія безпечна для навколишнього середовища і може вироблятися до тих пір, поки світить сонце. В Україні середньорічний обсяг енергії, що надходить, коливається від 1070 кВт·год/м² на півночі до більш ніж 1400 кВт·год/м² в Автономній Республіці Крим. Сонячні електроустановки можуть ефективно працювати протягом усього року з максимальною продуктивністю від 4 до 10 місяців.

Рекомендується використовувати сонячне енергетичне обладнання для перетворення сонячної енергії в електричну. Наявність сировини, а також виробничої та науково-технічної бази для виготовлення такого обладнання

дозволяє нам не тільки повністю задовольняти внутрішні потреби, а й експортувати більше 3/2 нашої продукції.

Беручи до уваги постійне зниження вартості сонячних електростанцій (СЕС) завдяки досвіду та технологічному розвитку країн ЄС, Україна має потенціал значно збільшити виробництво електроенергії на СЕС.

Види сонячних колекторів



а) плоский



б) вакуумний із прямою передачею тепла воді

Рисунок 1.3 – Види сонячних колекторів

Сучасний стан сонячної енергетики. Досвід ЄС і Північної Америки показує, що сонячну енергію можна використовувати в промислових масштабах навіть вночі. В Іспанії та США є компанії, які виробляють електроенергію в темний час доби за рахунок накопичення тепла протягом дня [6].

Сонячні електростанції, що генеруються solar power systems, безшумні, але їх істотним недоліком є необхідність у великій площі. Наприклад, для створення СЕС потужністю 1 МВт потрібно не менше 1,5 га землі. В даний час СЕС забезпечує близько 4% світового виробництва електроенергії за рахунок відновлюваних джерел енергії. Основним методом перетворення сонячної енергії в електричну є використання сонячних батарей.

Сонячні батареї перетворюють сонячне світло в електрику. В даний час домінують технології виробництва кристалічного кремнію і тонких плівок, на частку яких припадає 85-90% ринку сонячних енергетичних систем [6].

Компанії CSE збирають сонячне випромінювання в приймачі, які передають енергію теплопровідним рідинам, які можуть бути використані для виробництва електроенергії за допомогою парових турбін. Компанії CSE випускають 4 типи параболічних відбивачів, відбивачі Френеля, сонячні вежі і параболічні лотки. Перші 3 типи найбільш поширені для централізованого виробництва електроенергії.

CSE вимагають наявності прямого сонячного випромінювання, що робить їх оптимальним рішенням для районів сонячного поясу, розташованих між 40 градусами північної і Південної широт. Вибір технології установки сонячної енергії часто залежить від компромісу між початковою вартістю та довгостроковою економічною ефективністю.

Енергія вітру – ще одне важливе джерело альтернативної енергії, яке використовує кінетичну енергію вітру для обертання лопатей вітрових турбін для виробництва електроенергії. (рис 1.4) Це джерело енергії є безвідходним та екологічно чистим, що робить його привабливим у контексті сталого розвитку. Український ринок вітроенергетики стрімко розвивається. Вітряні електростанції (ВЕС) розташовані в основному в Одеській і Запорізькій областях, де природні умови сприяють ефективному використанню вітру. У 2023 році загальна встановлена потужність вітряних електростанцій в Україні перевищить 1 ГВт, що забезпечить екологічне виробництво електроенергії та підвищить енергетичну незалежність країни [11].



Рисунок 1.4 – Зразок вітрових турбін

Геотермальна енергія, отримана з внутрішнього тепла землі, також є важливим альтернативним джерелом енергії. Її можна використовувати для опалення будинків або вироблення електроенергії. Геотермальні системи стабільні, оскільки температура під землею залишається відносно постійною. Геотермальна енергія має великий потенціал в Україні, особливо в західних регіонах, таких як Закарпаття, де гаряча вода активно використовується для обігріву житлових і громадських будівель. У Трускавці, наприклад, гаряча вода використовується не тільки для опалення, але і для медичних процедур [21] (рис 1.5).

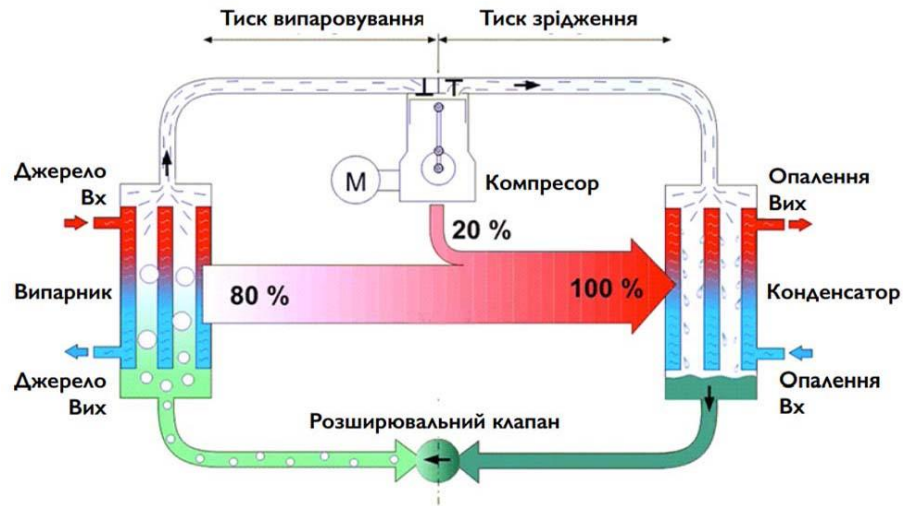


Рисунок 1.5 – Принцип роботи геотермального теплового насосу

Теплова енергія повітря отримується з тепла повітря, яке може бути використано для обігріву приміщення або води. Технології, що використовують теплову енергію повітря, включають повітряно-водяні теплові насоси. Ці системи використовують електричний компресор для вилучення тепла з навколишнього повітря та передачі його в систему опалення або гарячого водопостачання. Аеротермічні системи особливо популярні в Україні завдяки своїй енергоефективності та здатності знижувати витрати на опалення. Наприклад, в таких холодних зимових містах, як Львів і Київ, використання теплових насосів, що працюють на тепловій енергії повітря, скорочує споживання викопного палива, забезпечуючи при цьому комфортну температуру в будинках [11].

Гідротермальна енергетика — ще одна важлива область, де використовується тепло підземних вод або землі. В Україні цей вид енергії не дуже популярний, але має великий потенціал, особливо в районах з гідротермальними зонами. Системи гарячого водопостачання можуть забезпечувати опалення, а також використовуватися для виробництва електроенергії, якщо геотермальний резервуар має достатню температуру. Прикладом використання термальної води в Україні є використання

термальної води на таких курортах, як Трускавець. Ці ресурси не тільки забезпечують опалення, але й використовуються для медичних процедур, що підвищує їх цінність.

Енергія хвиль і припливів також вважається перспективним альтернативним джерелом енергії, яке використовує силу океанських хвиль і припливних течій для виробництва електроенергії. Україна має великий потенціал у цьому регіоні, особливо на берегах Чорного та Азовського морів. Технології, що використовують енергію хвиль, можуть включати в себе спеціальні установки, що перетворюють рух води в електричну енергію. Хоча ця технологія ще не набула широкого поширення в Україні, її розвиток може стати важливим кроком у забезпеченні більш стійкого енергетичного балансу в країні.

Гідроенергетика є одним з найстаріших і найбільш розвинених видів відновлюваної енергії.¹ Україна володіє потужним гідроенергетичним потенціалом, особливо для річок Дніпро, Дністер і Південний Буг. Гідроелектростанції (ГЕС) перетворюють кінетичну енергію води в електричну енергію, забезпечуючи значну частку енергоспоживання в країні. В Україні на гідроелектростанції припадає близько 7% від загального обсягу виробництва електроенергії. Однією з найбільших гідроелектростанцій України є Канівська гідроелектростанція, яка забезпечує стабільне електропостачання, а також допомагає регулювати водний баланс річки Дніпро. Використання гідроенергії не тільки сприяє енергетичній незалежності, але й допомагає боротися зі зміною клімату, оскільки це джерело енергії не виділяє парникових газів в атмосферу [14].

Енергія біомаси є ще одним перспективним джерелом відновлюваної енергії, заснованим на використанні органічних матеріалів, таких як рослинні залишки, сільськогосподарські відходи та деревні відходи. Україна володіє важливими ресурсами біомаси, особливо в сільськогосподарському секторі, де при виробництві сільськогосподарських культур і деревини утворюється велика кількість відходів. Технології перетворення біомаси в енергію можуть

включати біогазові установки, які виробляють газ шляхом анаеробної ферментації і прямого спалювання біомаси для вироблення теплової та електричної енергії. Впровадження біоенергетичних проектів в Україні допоможе знизити залежність від імпорту енергоресурсів і забезпечить стале використання місцевих ресурсів.

Газ, отриманий з органічних відходів, є ще одним важливим джерелом відновлюваної енергії. Процес виробництва біогазу з органічних відходів заснований на переробці органічних відходів в Україні, яка не тільки допомагає переробляти відходи, а й сприяє виробництву екологічно чистої енергії, а також органічних матеріалів, таких як харчові залишки, добрива та інші біологічні відходи, електроенергії, тепла або як паливо для автомобілів. Добрива можуть бути перетворені в біогаз, який використовується для опалення та споживання енергії.

Газ на очисних спорудах є побічним продуктом, що утворюється в процесі очищення стічних вод на очисних спорудах. В Україні існує безліч установок, які можуть бути використані для вироблення енергії з газів, що виділяються при анаеробному зброджуванні органічних сполук у стічних водах. Залежно від технології частина цього газу може бути очищена і використана для виробництва електричної енергії або тепла. Використання стічних вод і очисних споруд не тільки скорочує викиди парникових газів, а й впровадження технологій отримання і використання газів з очисних споруд значно підвищить екологічну безпеку, знизить витрати на електроенергію і допоможе Україні побудувати систему відновлюваної енергетики, оскільки очищені стічні води містять значну кількість органічних матеріалів.

Біогаз — це суміш газів, що утворюються при анаеробному бродінні органічних матеріалів, таких як сільськогосподарські відходи, харчові відходи, гній тварин та інші біологічні матеріали. Біогазові установки стають все більш популярними в Україні завдяки своїй здатності перетворювати відходи в енергію. Таке обладнання може бути використано в сільськогосподарському секторі, в харчовій промисловості, в комунальному

господарстві. Отриманий біогаз можна використовувати для виробництва електроенергії, тепла та автомобільного палива. Використання біогазу допомагає зменшити залежність від традиційних видів палива, а також сприяє зменшенню викидів парникових газів, оскільки викиди CO_2 при спалюванні біогазу значно нижчі, ніж при використанні викопного палива. В Україні реалізуються проекти, спрямовані на розширення виробництва біогазу, що допоможе поліпшити енергетичну ситуацію в країні і знизити вплив на навколишнє середовище.

Теплові насоси — ще одне перспективне альтернативне джерело енергії, яке використовується для обігріву та охолодження будівель. (рис. 1.6)

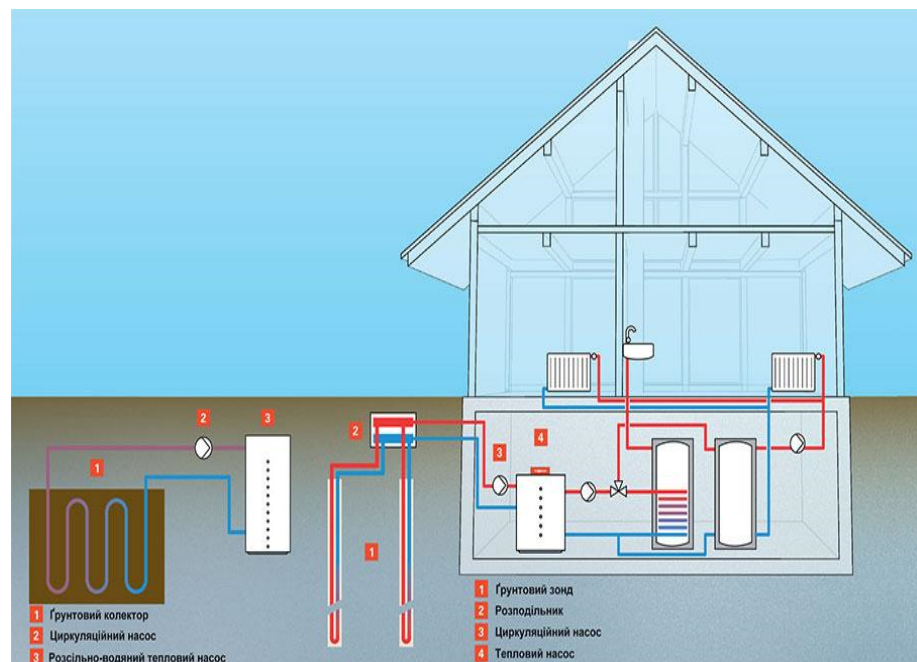


Рисунок 1.6 – Принцип роботи геотермального опалення

Принцип їх роботи полягає в перетворенні тепла з навколишнього середовища (повітря, води, ґрунту) в корисну енергію. Тепловий насос може забезпечувати як обігрів, так і охолодження, що робить його універсальним пристроєм для підтримки комфортного клімату в приміщенні. Теплові насоси стають все більш популярними в Україні, особливо в умовах зростання цін на

традиційні енергоресурси. Вони відрізняються низькими експлуатаційними витратами, а також можуть забезпечити значну економію енергії. Залежно від типу насоса його ККД може перевищувати 300-400%.Тобто на кожен споживаний 1 кіловат електроенергії тепловий насос може виробляти до 4 кіловат тепла. Як результат, тепловий насос не тільки зменшує витрати на електроенергію, але й сприяє зменшенню викидів CO_2 , що робить його екологічно чистим рішенням для опалення та охолодження [16].

2 МЕТОД РАЦІОНАЛЬНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЗАХОДІВ (ТЕХНОЛОГІЙ) – РВЕЗ(Т) В ТЕХНІЧНОМУ КОМПЛЕКСІ «ВИРОБНИК-СПОЖИВАЧ» ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Метод раціонального впровадження енергоефективних технологій РВЕЗ(Т) в технічному комплексі (ТК) «виробник-споживач» теплової енергії є важливим елементом у досягненні енергетичної безпеки та екологічної стабільності. В умовах зростаючих витрат на енергію та необхідності зменшення викидів парникових газів, впровадження ЕТ стає нагальною потребою. Першим кроком у цьому процесі є аналіз існуючої системи теплопостачання, що включає вивчення інженерних систем, споживчих потреб та оцінку теплових втрат. Енергоаудит дозволяє виявити слабкі місця в системі, які потребують модернізації, зокрема ділянки з великими тепловими втратами [20].

Другим етапом є вибір і впровадження енергоефективних технологій. На цьому етапі проводиться дослідження ринку енергоефективних рішень, таких як новітні котли, системи автоматизації, термомодернізація будівель та використання поновлювальних джерел енергії. Важливо, щоб вибрані технології відповідали специфічним умовам ТК «виробник-споживач» і враховували характеристики споживання тепла. Третім етапом є фінансування і реалізація проекту. Для реалізації впровадження ЕТ можуть бути використані державні програми підтримки, міжнародні гранти або приватні інвестиції. Економічна доцільність проекту є важливою, щоб він мав не лише екологічні, а й фінансові переваги, тому встановлення реальних термінів та етапів реалізації проекту дозволяє контролювати хід робіт. (рис 2.1)

Сучасні інформаційні технології також відіграють важливу роль у раціональному впровадженні енергоефективних технологій. Використання систем автоматизації управління дозволяє здійснювати моніторинг енергоспоживання в режимі реального часу, оптимізувати розподіл тепла, реагувати на зміни в споживанні та забезпечувати ефективне використання

ресурсів. Системи «розумний будинок», що інтегрують енергоефективні технології, можуть суттєво підвищити комфорт проживання, зменшуючи при цьому витрати на опалення [20].

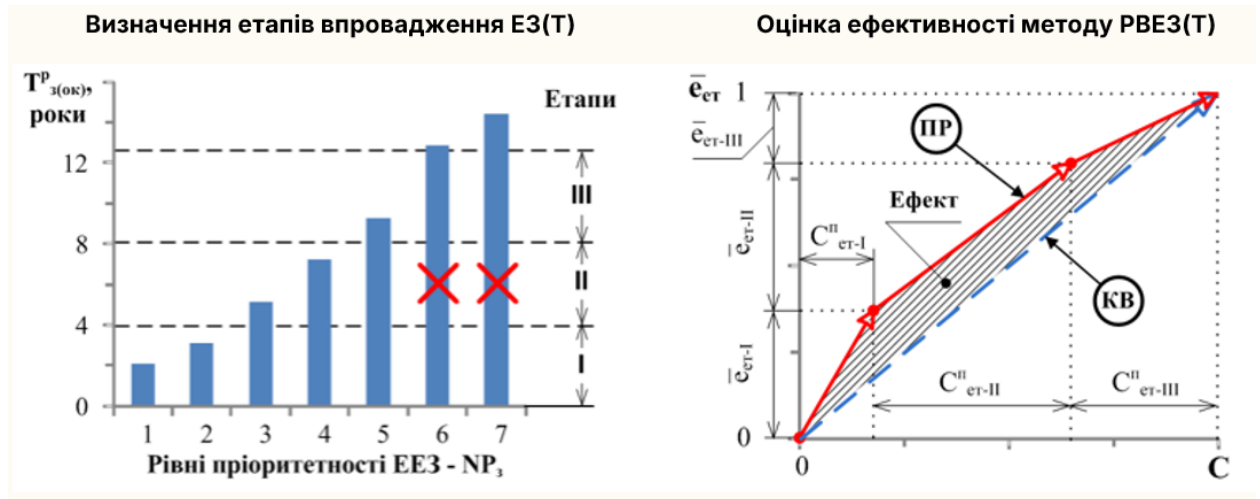


Рисунок 2.1 – Принципова схема методу РВЕЗ(Т) в технічному комплексі «виробник-споживач» теплової енергії

Після реалізації проекту необхідно провести моніторинг і оцінку ефективності впроваджених технологій, щоб підтвердити доцільність їх використання, порівнявши фактичні витрати на опалення з прогнозованими, а також оцінити зменшення викидів парникових газів і покращення комфорту в приміщеннях. Розвиток енергоефективних технологій в Україні стикається з певними викликами, такими як недостатнє фінансування, відсутність кваліфікованих кадрів та необхідність у законодавчій підтримці. Проте, завдяки зростаючій обізнаності суспільства щодо важливості енергозбереження, впровадження енергоефективних технологій стає дедалі актуальнішим. Успішні приклади реалізації проектів в Україні демонструють, що можливе значне зниження витрат на опалення і викидів, а також підвищення комфортності житла. Впровадження енергоефективних технологій у технічному комплексі «виробник-споживач» теплової енергії –

це не лише крок до економії енергоресурсів, але й важливий внесок у забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку країни [20].

2.1 Багатокритеріальна оцінка ефективності ЕТ в сфері теплопостачання

Багатокритеріальна оцінка ефективності енергоефективних технологій у сфері теплопостачання є важливим інструментом для визначення оптимальних рішень з енергомодернізації. Це пов'язано з тим, що впровадження таких технологій має на меті досягнення різних ефектів, які часто мають взаємозалежний характер. Оцінка ефективності вимагає врахування одночасно економічних, екологічних та соціальних факторів, що робить багатокритеріальний підхід необхідним.

На законодавчому рівні в Україні діяльність у сфері енергетичної ефективності будівель регулюється численними нормативними документами, такими як державні будівельні норми та стандарти (ДСТУ), які визначають вимоги до зменшення споживання енергії в будівлях. За оцінками, впровадження енергоефективних технологій може знизити енергоспоживання будівель на 42-48% від загального обсягу первинних енергоносіїв. Це свідчить про значний потенціал технологій збереження енергії та ресурсів у житлово-комунальному господарстві, особливо в системах теплопостачання [19].

Під час впровадження енергоефективних технологій важливо враховувати різноманітні ефекти, які вони генерують. До основних типів ефектів належать: екологічні, економічні та узагальнені еколого-економічні ефекти.

Екологічні ефекти включають підвищення енергоефективності будівель за рахунок енергозбереження, економію палива та зменшення викидів парникових газів і інших забруднювачів у атмосферу. Відповідно до оцінок, втрата теплової енергії під час її виробництва і транспортування може

досягати 28-35%, що підкреслює важливість підвищення ефективності систем теплопостачання для зниження цих втрат. (рис. 2.2)

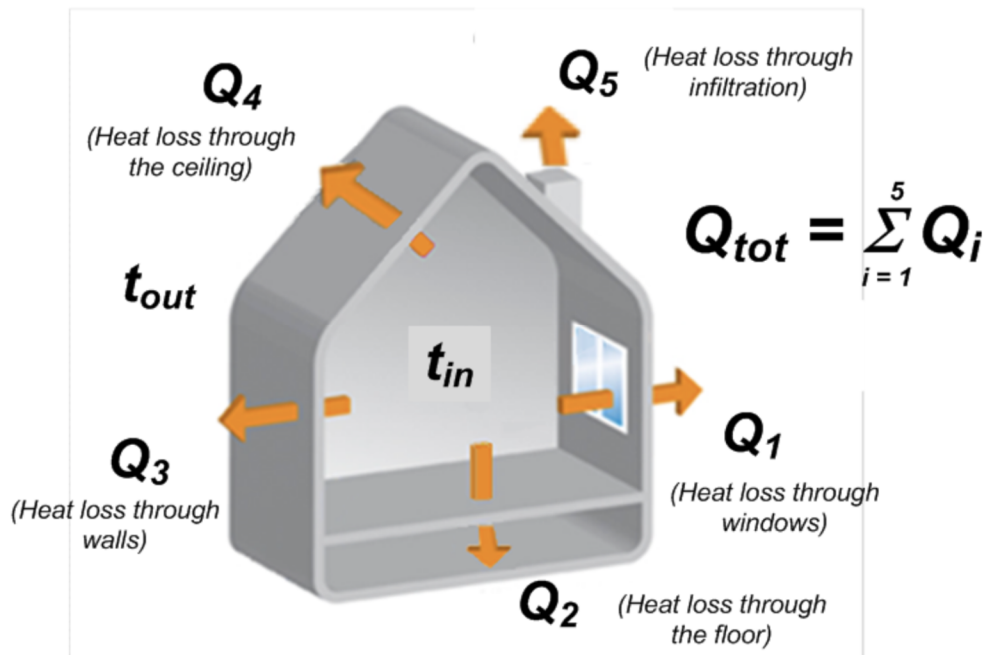


Рисунок 2.2 – Принципова схема для оцінки енергоефективності будівель

Економічний ефект від впровадження енергоефективних технологій виявляється у зменшенні витрат на спожиту теплову енергію при централізованому теплопостачанні або паливо при автономних системах. Така економія дозволяє скоротити витрати як для кінцевих споживачів, так і для виробників теплової енергії, що робить цей підхід економічно привабливим.

Узагальнений еколого-економічний ефект об'єднує різні типи ефектів і дозволяє зручно оцінювати їхній сумарний вплив. Він є безрозмірним показником, який демонструє пропорційність між екологічними та економічними аспектами впровадження технологій. Для більш детального аналізу цей ефект може бути оцінений за допомогою показників питомого або річного ефекту та довгострокового інтегрального ефекту за певний період.

Ключовим моментом багатокритеріальної оцінки є врахування різних компонентів загального ефекту для різних типів систем теплопостачання.

Наприклад, для централізованих систем тепlopостачання основні вигоди можна досягти через модернізацію інфраструктури та зменшення втрат під час транспортування тепла. Для автономних систем — впровадження високоефективних котлів та використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні колектори або теплові насоси [27].

Таким чином, багатокритеріальна оцінка ефективності енергоефективних технологій дозволяє комплексно оцінювати їх вплив на енергоспоживання, фінансові витрати та екологічні наслідки. Вона дає змогу ухвалювати обґрунтовані рішення щодо вибору та впровадження найбільш ефективних технологій у сфері тепlopостачання, забезпечуючи тим самим енерго- та ресурсозбереження, зменшення викидів парникових газів і підвищення економічної ефективності енергомодернізації. (рис 2.3)

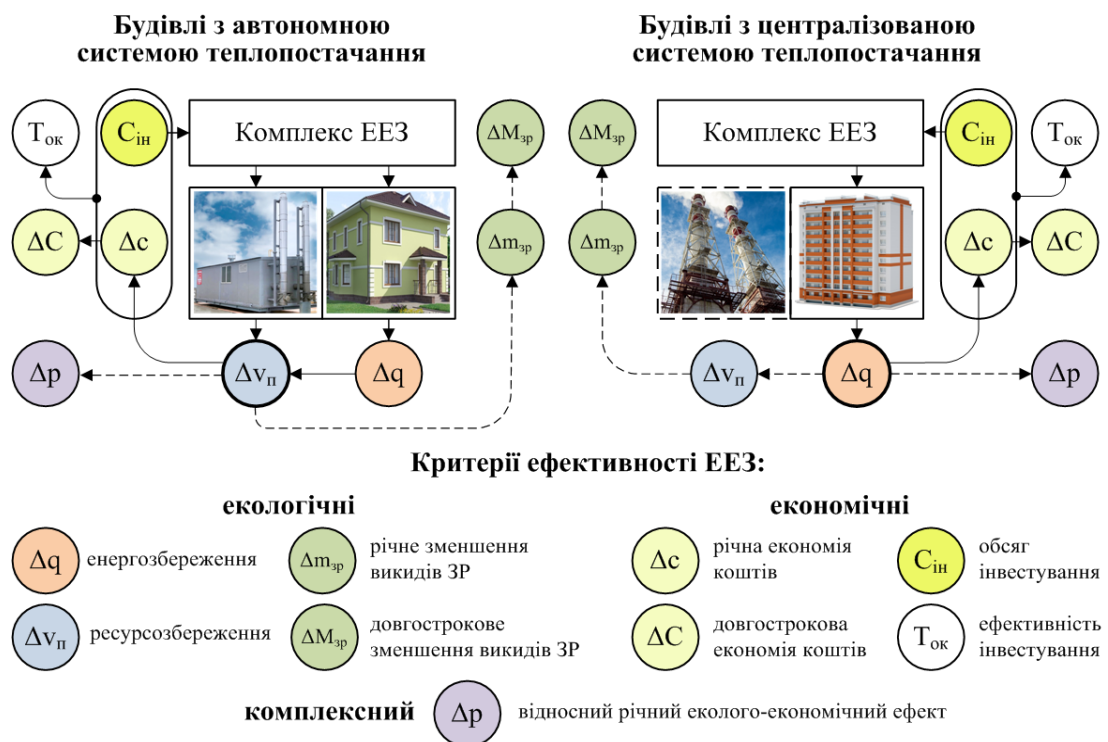


Рисунок 2.3 – Оцінка ефективності енергоощадних заходів

2.2 Сутність та алгоритм реалізації методу РВЕЗ(Т)

Спершу енергозберігаючі заходи (ЕЗЗ), рекомендовані за результатами енергоаудиту, ранжуються за розрахунковим терміном окупності $T^p_{з(ок)}$. Ранжування проводиться за принципом «від найменшого до найбільшого значення $T^p_{з(ок)}$ » (рис. 2.4). Це дає змогу визначити пріоритетність заходів для впровадження, де перевага надається тим, що мають швидший термін окупності. Заходи, окупність яких перевищує 12,5 років, вважаються нерентабельними та недоцільними для реалізації.

Заходи з окупністю до 12,5 років діляться на три групи:

1. Швидкоокупні – з $T^p_{з(ок)} \leq 4$ роки, ці заходи відносяться до I етапу (процедури РВ ЕТ);
2. Середньоокупні – з $4 \text{ роки} < T^p_{з(ок)} \leq 8$ років, ці заходи відносяться до II етапу (процедури РВ ЕТ);
3. Довгоокупні – з $8 \text{ років} < T^p_{з(ок)} \leq 12,5$ років, ці заходи відносяться до III етапу (процедури РВ ЕТ) [20] (рис 2.4).

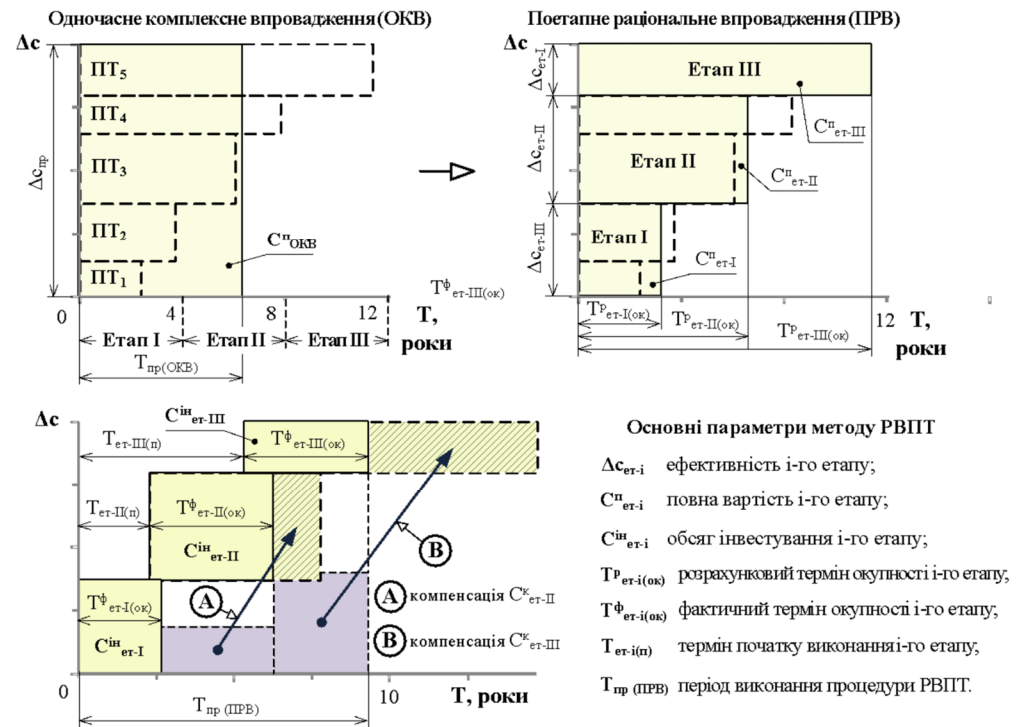


Рисунок 2.4 – Основные параметры процесса рационального внедрения ИТ

Після цього визначаються вартість і термін окупності для кожного етапу реалізації ЕТ. Такий підхід дозволяє організувати впровадження заходів, надаючи перевагу тим, що приносять максимальний економічний ефект за мінімальний час, що, в свою чергу, дозволяє використовувати зекономлені ресурси для фінансування наступних етапів. Після визначення цих характеристик етапів проводиться нормування їх вартості та ефективності, яке відображається на графіку «вартість-ефект». Ця діаграма дозволяє порівняти ефективність етапів із іншими критеріями, такими як короткострокова вартість впровадження ЕТ [20].

1. Задання термінів окупності для другого та третього етапів з подальшим визначенням строків початку кожного етапу.

2. Задання строків початку другого та третього етапів і визначення термінів їх окупності.

Обидва підходи сприяють зниженню вартості за рахунок повторного інвестування коштів після завершення перших етапів. Для оцінки

ефективності РВ ЕТ передбачено аналіз короткострокових і довгострокових економічних та екологічних ефектів. (рис 2.5)

На основі отриманих результатів обирається найбільш ефективна стратегія реалізації ЕТ [20].

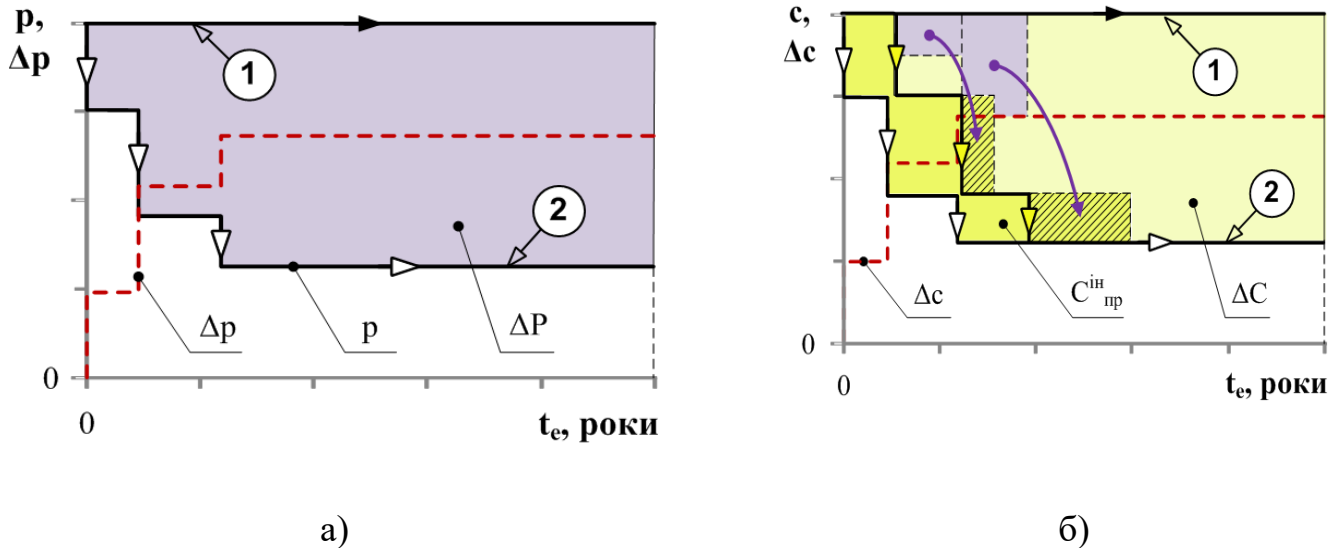


Рисунок 2.5 – Оцінка річної ефективності процедури РВ ЕТ:

а) еколого-економічного ефекту – Δc ; б) узагальненого економічного ефекту – Δp .

На основі результатів даного аналізу приймається рішення по вибору найбільш ефективної процедури впровадження ЕТ.

Перед реалізацією технології РВ ЕТ будівля має бути попередньо підготовлена шляхом встановлення приладів будинкового обліку споживання теплової енергії, індивідуальних теплових пунктів, що працюють на дотримання встановленої температури внутрішнього повітря в будівлі та гідравлічних балансувальних клапанів на стояках внутрішньої будинкової системи опалення. Встановлення зазначеного обладнання дозволяє: здійснювати облік отриманого ефекту за розрахунковий період; проводити регулювання теплового потоку в будівлі, що опалюється, в залежності від встановленої температури внутрішнього повітря та можливості запровадження «чергового режиму опалення»; автоматично вирівнювати

гидравлічний баланс внутрішньо будинкової системи опалення при впровадженні «розумне» опалення. Також слід відзначити, що поетапне впровадження ЕТ відповідає Указу Президента України від 16.06.1999 № 662/99 в частині забезпечення органами влади які здійснюють термомодернізацію будівель до «...стимулювання енергозбереження в бюджетній сфері, зокрема шляхом спрямування коштів, зекономлених внаслідок впровадження енергозберігаючих заходів, на фінансування заходів з енергозбереження в бюджетних установах, організаціях та на казенних підприємствах та проведення енергетичних обстежень» [25].

Алгоритм реалізації технології РВЕЗ(Т) складається з п'яти операцій, які виконуються послідовно одна за одною:

1) оцінка технічного та еколого-економічного стану кожного з об'єктів досліджень; для кожного із об'єктів досліджень визначаються: тип системи теплопостачання, вид палива, що використовує джерело ТЕ; опалювальна площа і об'єм, річна енергопотреба, питома енергопотреба, обсяги натурального палива, необхідні для забезпечення річної енергопотреби, річні обсяги викидів ЗР у атмосферу від джерела ТЕ, річний обсяг коштів на оплату спожитих енергоносіїв – тепла (для об'єктів із ЦТП) або палива (для об'єктів із автономним опаленням); визначені дані є базовими для проведення подальших розрахунків;

2) формування комплексу рекомендованих до впровадження ЕТ; не відповідність теплотехнічних характеристик об'єкту досліджень нормативним вимогам є приводом для рекомендацій до впровадження комплексу ЕТ, опис яких наведено нижче;

3) оцінка еколого-економічної ефективності рекомендованих до впровадження ЕТ; визначається вартість рекомендованих ЕТ, терміни їхньої окупності, оцінюється еколого-економічна ефективність ЕТ та їх значимість; виконується їх ранжування за номером пріоритетності, виконується розподіл заходів по етапах;

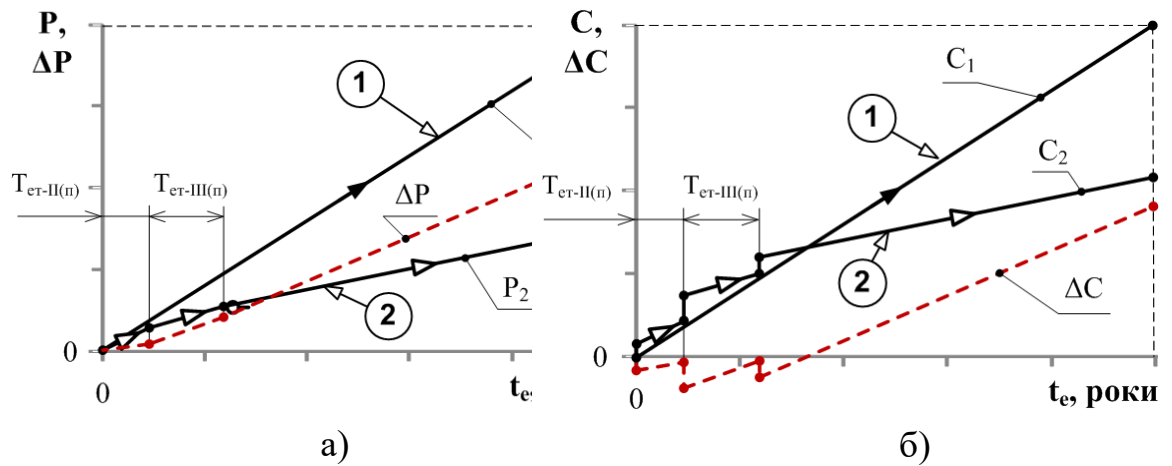


Рисунок 2.6 – Оцінка довгострокової ефективності процедури РВ ЕТ: а) еколого-економічного ефекту – ΔC ; б) узагальненого економічного ефекту – ΔP .

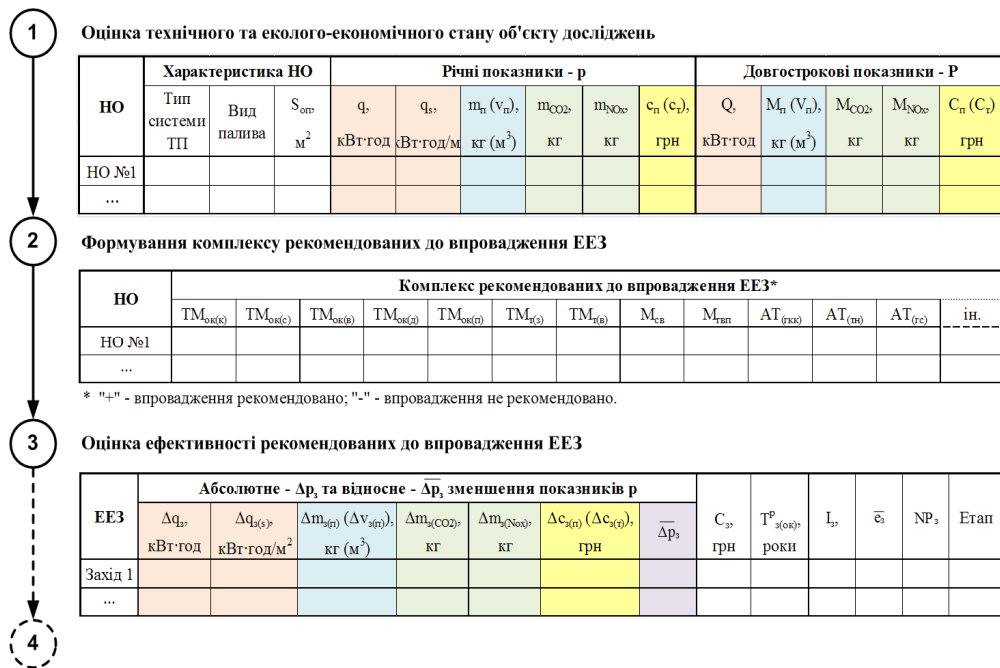


Рисунок 2.7 – Алгоритм визначення параметрів та оцінки еколого-економічної ефективності процедури РВ ЕТ – етапи 1-3

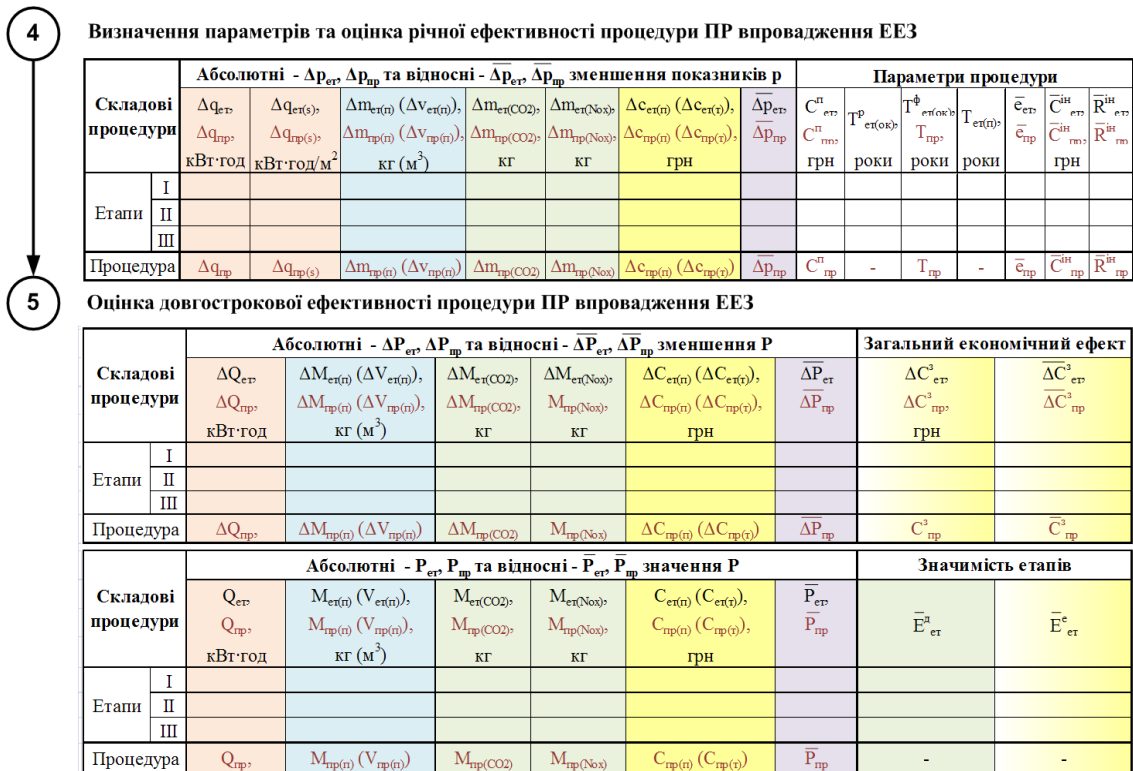


Рисунок 2.8 – Алгоритм визначення параметрів та оцінки еколого-економічної ефективності процедури РВ ЕТ – етапи 4-5

4) визначення параметрів та оцінка річної ефективності процедури РВ ЕТ; вартості етапів процедури РВ ЕТ та процедури в цілому, встановлюються або задаються значення періодів початку реалізації та фактичних термінів окупності етапів процедури РВ ЕТ та процедури в цілому; визначаються абсолютні та відносні значення річного екологічних та економічних ефектів, узагальненого еколого-економічного ефекту;

5) оцінка довгострокової еколого-економічної ефективності процедури РВ ЕТ; визначаються абсолютні та відносні значення довгострокових екологічних та економічних ефектів, узагальненого еколого-економічного ефекту, загального економічного ефекту процедури РВ ЕТ [25] (рис 2.6).

2.3 Оцінка річної ефективності рекомендованих до впровадження ЕТ

Річна ефективність рекомендованих ЕТ оцінюється послідовним використанням наведених нижче формул, які відповідають методології поетапного раціонального впровадження енергоефективних заходів в технічному комплексі (будівля – система теплопостачання) представлена в роботі Семененко Р.А. “Зменшення негативного впливу комунальної енергетики на довкілля шляхом поетапного, раціонального впровадження енергоефективних заходів” [23].

1. **Визначення Δp .** Абсолютне зменшення параметрів p (абсолютний ефект) (розмірність p визначається розмірністю відповідного еколого-економічного параметру об’єкту досліджень) та визначається за формулою:

$$\Delta p_3 = p_{1(3)} - p_{2(3)} \quad (2.1)$$

де $p_{1(3)}$ – початкове значення параметру p до впровадження ЕТ;

$p_{2(3)}$ – значення параметру p після впровадження ЕТ.

2. **Визначення $\overline{\Delta p_3}$.** Відносне зменшення параметрів p (відносний ефект), визначається за формулою:

$$\overline{\Delta p_3} = \frac{\Delta p_3}{p_1} \quad (2.2)$$

Показник $\overline{\Delta p_3}$ характеризує узагальнений еколого-економічний ефект від впровадження ЕТ в безрозмірній формі, тому він є зручною характеристикою для одночасного оцінювання різних ефектів.

3. **Визначення C_3 .** Визначення вартості ЕТ виконується на основі аналізу усереднених ринкових пропозицій.

4. **Визначення $T_{3(ок)}^p$.** Розрахунковий термін окупності заходу, в роках, визначається за формулою:

$$T_{3(ок)}^p = \frac{C_3}{\Delta c_3}, \quad (2.3)$$

де Δc_3 – економічний ефект від впровадження i -го заходу, грн.

Для реалізації прийнятого рішення щодо доцільності впровадження i -го ЕТ в математичному апараті розрахункового комплексу введено коефіцієнт доцільності реалізації i -го заходу (I_3).

Реалізація прийнятого рішення відбувається присвоєнням коефіцієнту I_3 значень 0 або 1 за наступними правилами:

при $T_{p_{3(OK)}} > 12,5$ років $\rightarrow$ рішення: захід впроваджувати не доцільно $\rightarrow I_3 = 0$;

при $T_{p_{3(OK)}} \leq 12,5$ років $\rightarrow$ рішення: захід впроваджувати доцільно $\rightarrow I_3 = 1$.

5. Визначення $\bar{e}_3$. Коефіцієнтів значимості етапів розраховується за формулою:

$$\bar{e}_3 = \frac{\Delta p_3}{\sum_{i=1}^{NP_3} \Delta p_{3(i)}}, \quad (2.4)$$

де NP_3 – кількість рекомендованих до впровадження ЕТ.

Значення $\bar{e}_3$ дозволяють оцінити відносний внесок кожного заходу що впроваджується, в загальний еколого-економічний ефект від реалізації всіх ЕТ.

6. Визначення NP_3 . Номер пріоритетності ЕТ який впорядковує процес поетапного їх впровадження визначається наступним чином. Першим по пріоритетності є захід із мінімальним терміном окупності, тобто:

$$\text{Min } \{T_{p_{3(OK)}}\} \rightarrow NP_3 = 1, \quad (2.5)$$

для всіх інших заходів визначення номеру пріоритетності здійснюється за допомогою виразу:

$$T_{p_{3(OK)}}(NP_3 + 1) > T_{p_{3(OK)}}(NP_3). \quad (2.6)$$

Таким чином пріоритетність заходів зменшується із зростанням термінів їхньої окупності.

2.3 Методика визначення параметрів та оцінка ефективності процедури РВ ЕТ

Визначення параметрів та оцінка ефективності процедури РВ ЕТ проводиться шляхом послідовного використання нижче наведених виразів

1. **Визначення $\Delta p_{ет}$ і $\Delta p_{пр}$.** Абсолютні зменшення параметрів p в результаті виконання етапів процедури РВ ЕТ і процедури в цілому визначаються за формулами:

$$\Delta p_{ет} = \sum_{i=1}^{N_3(ет)} \Delta p_{3-i}, \quad (2.7)$$

$$\Delta p_{пр} = \sum_{j=1}^3 \Delta p_{ет-j}, \quad (2.8)$$

де, Δp_{3-i} – абсолютне зменшення параметру p в результаті реалізації i -го ЕТ;

$\Delta p_{ет-j}$ – абсолютне зменшення параметру p в результаті реалізації j -го етапу.

2. **Визначення $\overline{\Delta p}_{ет}$ і $\overline{\Delta p}_{пр}$.** Відносні зменшення параметрів p в результаті виконання етапів процедури РВ ЕТ і процедури в цілому визначаються за формулами:

$$\overline{\Delta p}_{ет} = \frac{\Delta p_{ет}}{p_1}, \quad (2.9)$$

$$\overline{\Delta p}_{пр} = \frac{\Delta p_{пр}}{p_1}. \quad (2.10)$$

3. **Визначення $C_{ет}''$ і $C_{пр}''$.** Повні вартості етапів та або процедури РВ ЕТ, грн, визначаються за формулами:

$$C_{ет}'' = \sum_{i=1}^{N_3(ет)} C_{3-i}, \quad (2.11)$$

$$C_{\text{пр}}^{\text{п}} = \sum_{j=1}^3 C_{\text{ет-j}}, \quad (2.12)$$

де

C_{3-i} – вартість i -го ЕТ, грн;

$C_{\text{ет-j}}^{\text{п}}$ – повна вартість j -го етапу, процедури РВ ЕТ, грн.

4. Визначення $T_{\text{ет(ок)}}^{\Phi}$ ($T_{\text{ет(п)}}$). Значення фактичних термінів окупності етапів процедури РВ ЕТ (періодів початка реалізації етапів), роки:

$$T_{\text{ет(ок)}}^{\Phi} = f(T_{\text{ет(п)}}, T_{\text{ет(ок)}}^{\text{р}}, \Delta c_{\text{ет}}, k_{\text{ет(a)}}), \quad (2.13)$$

$$T_{\text{ет(п)}} = f(T_{\text{ет(ок)}}^{\Phi}, T_{\text{ет(ок)}}^{\text{р}}, \Delta c_{\text{ет}}, k_{\text{ет(a)}}), \quad (2.14)$$

які, в залежності від етапу впровадження ЕТ, представляють собою формули:

$$T_{\text{ет-II(ок)}}^{\Phi} = \frac{\Delta c_{\text{ет-II}} \cdot T_{\text{ет-II(ок)}}^{\text{р}} - k_{\text{ет-II(a)}} \cdot \Delta c_{\text{ет-I}} \cdot (T_{\text{ет-II(п)}} - T_{\text{ет-I(ок)}}^{\Phi})}{k_{\text{ет-II(a)}} \cdot \Delta c_{\text{ет-I}} + \Delta c_{\text{ет-II}}}, \quad (2.15)$$

$$T_{\text{ет-III(ок)}}^{\Phi} = \frac{\Delta c_{\text{ет-III}} \cdot T_{\text{ет-III(ок)}}^{\text{р}} - k_{\text{ет-III(a)}} \cdot (\Delta c_{\text{ет-I}} + \Delta c_{\text{ет-II}}) \cdot (T_{\text{ет-III(п)}} - T_{\text{ет-II(п)}} - T_{\text{ет-II(ок)}}^{\text{р}})}{k_{\text{ет-III(a)}} \cdot (\Delta c_{\text{ет-I}} + \Delta c_{\text{ет-II}}) + \Delta c_{\text{ет-III}}}, \quad (2.16)$$

$$T_{\text{ет-II(п)}} = \frac{\Delta c_{\text{ет-II}} \cdot (T_{\text{ет-II(ок)}}^{\text{р}} - T_{\text{ет-II(ок)}}^{\Phi})}{k_{\text{ет-II(a)}} \cdot \Delta c_{\text{ет-I}}} - (T_{\text{ет-II(ок)}}^{\Phi} - T_{\text{ет-I(ок)}}^{\Phi}), \quad (2.17)$$

$$T_{\text{ет-III(п)}} = \frac{\Delta c_{\text{ет-III}} \cdot (T_{\text{ет-III(ок)}}^{\text{р}} - T_{\text{ет-III(ок)}}^{\Phi})}{k_{\text{ет-III(a)}} \cdot (\Delta c_{\text{ет-I}} + \Delta c_{\text{ет-II}})} - (T_{\text{ет-III(ок)}}^{\Phi} - T_{\text{ет-II(п)}} - T_{\text{ет-II(ок)}}^{\Phi}). \quad (2.18)$$

де $k_{\text{ет-i(a)}}$ – коефіцієнт, відносного ступеню акумуляції коштів на етапі від попередньо реалізованого економічного ефекту.

Значення фактичного терміну окупності процедури РВ ЕТ визначаються за формулою:

$$T_{\text{пр}}^{\Phi} = T_{\text{ет-III(п)}} + T_{\text{ет-III(ок)}}^{\Phi}. \quad (2.19)$$

5. Визначення $\bar{e}_{\text{ет}}$. Відносний коефіцієнт значимості етапів визначається в долях одиниці за формулою:

$$\bar{e}_{ет} = \frac{\Delta p_{ет}}{\Delta p_{пр}} \quad (2.20)$$

Значення $\bar{e}_{ет}$ дозволяють оцінити відносний внесок кожного етапу що впроваджується, в загальний еколого-економічний ефект від реалізації всіх ЕТ. (рис 2.9)

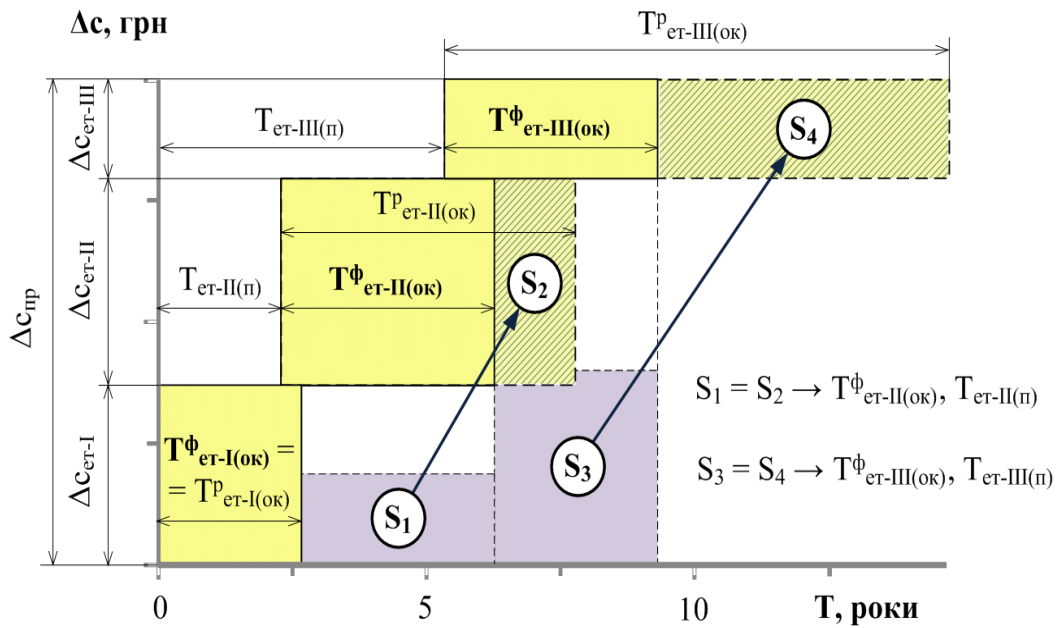


Рисунок 2.9 – Визначення параметрів процедури РВ ЕТ – $T_{ет(ок)}$, $T_{ет(ок)}^{\Phi}$, $T_{ет(п)}$

6. **Визначення $C_{ет}^{ін}$ і $C_{пр}^{ін}$.** Визначення обсягів інвестиційних ресурсів, грн, потрібних для реалізації етапів процедури РВ ЕТ та процедури в цілому здійснюється за формулами:

$$C_{ет}^{ін} = \Delta c_{ет} \cdot T_{ет(ок)}^{\Phi}, \quad (2.21)$$

$$C_{пр}^{ін} = \sum_{j=1}^3 C_{етj}^{ін} \quad (2.22)$$

7. **Визначення $\bar{R}_{ет}^{ін}$ і $\bar{R}_{пр}^{ін}$.** Визначення відносних внесків інвестиційних ресурсів у вартість етапів процедури РВ ЕТ та процедури в цілому здійснюється за формулами:

$$\overline{R}_{\text{ет(ін)}} = \frac{C_{\text{ет}}^{\text{ін}}}{C_{\text{ет}}^{\text{п}}}, \quad (2.23)$$

$$\overline{R}_{\text{пр(ін)}} = \frac{C_{\text{пр}}^{\text{ін}}}{C_{\text{пр}}^{\text{п}}}. \quad (2.24)$$

Методика С2. Оцінка довгострокової ефективності процедури РВ ЕТ. «Методика С2», представлена на рис. 2.1 та складається із розрахункових

фрагментів 20-26.

8. Визначення $\Delta P_{\text{ет}}$ і $\Delta P_{\text{пр}}$. Значення абсолютних зменшень P в результаті реалізації етапів процедури РВ ЕТ та процедури в цілому визначаються за формулами:

$$\Delta P_{\text{ет}} = \Delta p_{\text{ет}} \cdot (t_{\text{ет}}^{\text{сп}} - T_{\text{ет(п)}}), \quad (2.25)$$

де

$T_{\text{ет(п)}}$ – період початку впровадження етапу, роки;

$$\Delta P_{\text{пр}} = \sum_{j=1}^3 \Delta P_{\text{ет-j}}. \quad (2.26)$$

9. Визначення $P_{\text{ет}}$ і $P_{\text{пр}}$. Абсолютні значення P після реалізації етапів процедури РВ ЕТ та процедури в цілому визначаються за формулами:

$$P_{\text{ет-j}} = P_1 - \sum_{i=1}^j \Delta P_{\text{ет-i}}, \quad (2.27)$$

$$P_{\text{пр}} = P_1 - \Delta P_{\text{пр}}. \quad (2.28)$$

10. Визначення $\overline{\Delta P}_{\text{ет}}$ і $\overline{\Delta P}_{\text{пр}}$. Визначення відносних зменшень P в результаті реалізації етапів процедури РВ ЕТ та процедури в цілому здійснюється за формулами:

$$\overline{\Delta P}_{\text{ет}} = \frac{\Delta P_{\text{ет}}}{P_1}, \quad (2.29)$$

$$\overline{\Delta P}_{\text{пр}} = \frac{\Delta P_{\text{пр}}}{P_1}. \quad (2.30)$$

11. **Визначення $\bar{P}_{ет}$ і $\bar{P}_{пр}$.** Відносні значення P після реалізації етапів процедури РВ ЕТ та процедури в цілому визначаються за формулами:

$$\bar{P}_{ет-j} = 1 - \sum_{i=1}^j \overline{\Delta P}_{ет-i}, \quad (2.31)$$

$$\bar{P}_{пр} = 1 - \overline{\Delta P}_{пр}. \quad (2.32)$$

12. **Визначення $\Delta C^3_{ет}$ і $\Delta C^3_{пр}$.** Значення абсолютних зменшень загального економічного ефекту етапів процедури РВ ЕТ та процедури в цілому, грн, визначаються за формулами:

$$\Delta C^3_{ет} = \Delta C_{ет} - C^п_{ет}, \quad (2.33)$$

$$\Delta C^3_{пр} = \Delta C_{пр} - C^п_{пр}. \quad (2.34)$$

14. **Визначення $\overline{\Delta C^3_{ет}}$ і $\overline{\Delta C^3_{пр}}$.** Визначення відносних зменшень загального економічного ефекту етапів процедури РВ ЕТ та процедури в цілому здійснюється за формулами:

$$\overline{\Delta C^3_{ет}} = \frac{\Delta C^3_{ет}}{C_1}, \quad (2.35)$$

$$\overline{\Delta C^3_{пр}} = \frac{\Delta C^3_{пр}}{C_1}, \quad (2.36)$$

де C_1 – річна потреба у фінансових ресурсах на сплату енергоносіїв при поточному стані об'єкту досліджень, грн;

$\Delta C^3_{ет}$ ($\Delta C^3_{пр}$) – зменшення повної вартості етапу (процедури), грн.

15. **Визначення $\overline{\Delta E^д_{ет}}$ і $\overline{\Delta E^е_{ет}}$.** Коефіцієнти довгострокової екологічної та економічної значимості етапів визначаються за формулами:

$$\overline{E^д_{ет}} = \frac{\Delta P_{ет}}{\Delta P_{пр}}, \quad (2.37)$$

$$\overline{E^е_{ет}} = \frac{\Delta C^3_{ет}}{\Delta C^3_{пр}}, \quad (2.38)$$

де $\overline{E}_{\text{ет}}^{\text{д}}$ – коефіцієнт довгострокової екологічної значимості етапів;

$\overline{E}_{\text{ет}}^{\text{е}}$ – коефіцієнт довгострокової економічної значимості етапів.

Таким чином вищенаведений математичний апарат є теоретичною базою для практичної реалізації методу раціонального впровадження енергоефективних технологій РВ ЕТ в технічному комплексі “виробник-споживач” яким передбачається значно знизити інвестиційні витрати завдяки потенціалу самофінансування. Удосконалено багатокритеріальний аналіз технологій, що забезпечує більшу інформативність та обґрунтованість рішень щодо модернізації інфраструктури теплопостачання.

3 НАТУРНІ ОБ'ЄКТИ БУДІВЕЛЬ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ РВЕЗ

Для вивчення ефективності раціональних методів впровадження природоохоронних технологій – РВЕЗ(Т) було обрано два натурних об'єкти (НО) у сфері освіти: №1 – типова будівля сільської школи з автономною системою опалення та №2 – адміністративно-навчальний корпус Вінницького національного технічного університету (далі – ВНТУ) з централізованою системою опалення. У таблиці 4.1 показано час, що передував впровадженню заходів щодо підвищення екологічної ефективності використання енергії. У ній наведено результати оцінки поточного технічного та еколого-економічного стану НО № 1-2.

Обидва об'єкти працюють на природному газі. Будинки з повноцінним обладнанням розрізняються по режиму експлуатації, геометричним розмірам, вихідним енергетичним і екологічним умовам, що оцінюються за значенням середнього фактичного питомого енергоспоживання за 3 роки стабільної експлуатації, а також за іншими показниками прогнозованого і фактичного річного і довгострокового рівня енергоспоживання. При виборі об'єкта дослідження соціальної інфраструктури був використаний принцип забезпечення максимальної репрезентативності.

Загальний вигляд досліджуваних об'єктів показаний на рисунку 3.1 та 3.2, а детальна інформація про природні об'єкти, необхідна для проведення комплексного оціночного дослідження поточного технічного та еколого-економічного стану цих об'єктів, що проводиться з використанням математичного апарату методології ПРВ ЕЕЗ і методу РВЕЗ(Т), представлена нижче. систематизовані у вигляді спеціально розроблених анкет.

3.1 Натурний об'єкт №1 – сільська школа

Будівля НО №1 збудована у 1965 році, має два поверхи та П-образну форму, загальною опалювальною площею 1503,4 м² (рис. 3.1). Згідно з технічної документацією будівельний об'єм будівлі складає 8040,0 м³. Будівлею використовуються наступні види ПЕР: природний газ (на виробництво теплової енергії у вигляді гарячої води що виробляється у власній котельні); електрична енергія (на забезпечення потреб внутрішнього освітлення, виробництво та транспортування теплової енергії та роботу учбового та офісного електроспоживаючого обладнання).



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд досліджуваного натурального об'єкту №1

Котельня яка опалює тільки цю будівлю є окремо розташована. Котельню та будівлю школи з'єднує зовнішня тепла мережа повітряного прокладання загальною довжиною 72 метри в двотрубному виразі, зовнішній діаметр трубопроводу дорівнює 76мм. Наявний теплоізоляційний шар має недостатню товщину, через що середня температура на поверхні теплоізоляційного шару складає близько +10,0°C при температурі зовнішнього повітря -6,0°C та температурі теплоносія в падаючому трубопроводі +72°C а в зворотному трубопроводі +57°C.

Котельня обладнана двома газовими котлами Колві-Термона КТН 100СЕ по 98кВт (рік виготовлення 2006р.) що працюють тільки в опалювальний період на забезпечення потреби системи опалення та знаходяться в робочому стані. Усереднена річна питома норма витрати умовного палива на відпуск теплової енергії від існуючої котельні за даними інструментальних вимірів склала 166,9 кг.у.п./Гкал (тобто ККД дорівнює 85,6%). Витрати тепла на централізоване гаряче водопостачання та потреби примусової припливної вентиляції на об'єкті відсутні. Фактичний річний обсяг теплоспоживання будівлі, усереднений за останні 3 роки, складає 514,6 МВт*год. Внутрішньобудинкова система опалення спроектована для роботи за температурним графіком – 95-70 °С. В будівлі передбачено однотрубну систему опалення із верхньою розводкою по неопалювальному горищі.

Під час обстеження виявлено що трубопроводи внутрішньобудинкової системи опалення, що працюють протягом опалювального періоду, загальною довжиною 52,0 м в двотрубному виразі та зовнішнім діаметром від 57мм мають теплоізоляційний шар недостатньої товщини, через що температура на поверхні теплоізоляційного шару коливається в межах від +25 до +28°С при температурі теплоносія в падаючому трубопроводі +72°С, в зворотному трубопроводі +57°С при температурі на горищі, що вентилуються зовнішнім повітрям, близько -6,0°С. Також на горищі було виявлено трубопроводи внутрішньобудинкової системи опалення, загальною довжиною 84,0 м в двотрубному виразі та зовнішнім діаметром 38мм без теплоізоляційного шару, при тих же значеннях температури теплоносія в падаючому та зворотному трубопроводі і температурі зовнішнього повітря на горищі. В якості нагрівальних приладів системи опалення прийняті чавунні радіатори МС-140 без терморегуляторів. Фундамент будівлі стрічковий з фундаментних бетонних блоків. Перекриття між неопалювальним простором підпілля та кондиційованим об'ємом - багатопустотна залізобетонна плита та шар утеплювача із керамзитобетону вкрите підлоговою дошкою в учбових класах та керамічною плиткою в коридорах та санвузлах. Приведений опір

теплопередачі перекриття складає $0,77 \text{ (м}^2\text{*К)/Вт}$. Зовнішня стіна, загальною площею $1238,5 \text{ м}^2$, виконана з глиняної звичайної повнотілої цегли на цементно-піщаному розчині товщиною $0,58 \text{ м}$. Приведений опір теплопередачі зовнішньої стіни складає $0,87 \text{ (м}^2\text{*К)/Вт}$. Покрівля є скатною вкритою листовим азбестоцементним шифером. Горищне покриття, загальною площею $840,0 \text{ м}^2$, холодне вентильється зовнішнім повітрям перекрите залізобетонними плитами вкритими шаром шлакового гравію. Приведений опір теплопередачі наявного горищного покриття складає $0,87 \text{ (м}^2\text{*К)/Вт}$. Наявні світлопрозорі конструкції виконані на 100% з ПВХ-профілів із однокамерними склопакетами 4М1-16-4М1 (газове середовище - повітря) загальною площею $337,6 \text{ м}^2$. Приведений опір теплопередачі наявних світлопрозорих конструкцій складає $0,32 \text{ (м}^2\text{*К)/Вт}$. Зовнішні двері дерев'яні, загальною площею $11,5 \text{ м}^2$. Приведений опір теплопередачі наявних входних дверей складає $0,23 \text{ (м}^2\text{*К)/Вт}$. За ознакою тривалості фактичного використання приміщення будівлі можна поділити на 2 групи: з 8:00 до 14:00 (крім вихідних); за особливим графіком в середньому по 9 годин на добу (крім вихідних). У вихідні та святкові дні приміщення будівлі не використовуються.

Фактична за останні роки середньорічна питома енергопотреба на 1 м^2 загальної площі дорівнює $342,5 \text{ Вт/м}^2$ або на 1 м^3 опалювального об'єму $66,7 \text{ Вт/м}^3$. Нормативна максимальна питома енергопотреба для будинків та споруд навчальних закладів $E_{P_{\max}} = 28,0 \text{ Вт/м}^3$ [19]. Висновок будівля не відповідає сучасним державним вимогам щодо енергоефективності та потребує впровадження ЕЕЗ.

3.2 Натурний об'єкт №2 – будівля закладу освіти

НО №2 – будівля навчального корпусу ВНТУ побудована у 1968 році. Вона складається з основної 4-поверхової будівлі прямокутної форми та одноповерхової прибудови із трьома великими лекційними аудиторіями П-подібної форми. Загальна опалювальна площа споруди становить $6926,8 \text{ м}^2$

(рис. 3.2), а її будівельний об'єм, згідно з технічною документацією, сягає 24756,0 м³. Будівля має двоскатну горищну покрівлю та неопалюване, невентильоване підпілля.

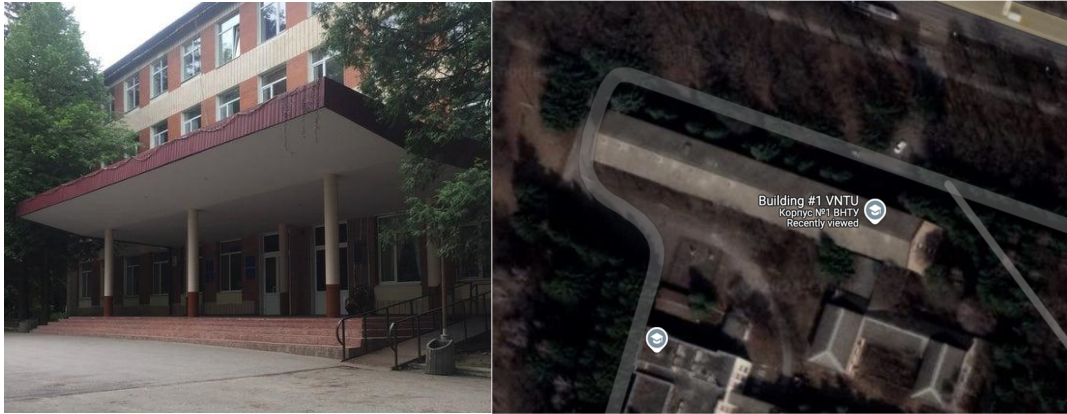


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд досліджуваного натурального об'єкту №2

Енергоресурси, які використовуються будівлею: теплова енергія у вигляді гарячої води для опалення та електроенергія для освітлення і функціонування обладнання. Опалення здійснюється централізовано від теплових мереж КП ВМР «Вінницяміськтеплоенерго». Система опалення — двотрубна з нижнім розведенням теплоносія, оснащена чавунними радіаторами М-140 без терморегуляторів. Під час обстеження виявлено, що трубопроводи, довжина яких становить 497,6 м, не мають теплоізоляційного покриття.

Система опалення розрахована на температурний графік 95-70°C, однак фактичний температурний режим за останні три роки складав 80-60°C. Річне споживання теплової енергії будівлею в середньому становить 1569,5 МВт·год. Фактичні витрати на гаряче водопостачання та вентиляцію в цій будівлі відсутні.

Фундамент стрічковий, виконаний із глиняної повнотілої цегли товщиною 650 мм. Перекриття над підпіллям займає площу 2960 м², але його

опір теплопередачі ($0,65 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$) не відповідає чинним нормативам (мінімум $3,75 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$).

Зовнішні стіни з глиняної цегли, облицьовані глянцевою керамічною плиткою зовні та штукатуркою зсередини, мають загальну площу $3151,2 \text{ м}^2$. Їхній опір теплопередачі становить $0,91 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$, що нижче за нормативний рівень $3,0 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$.

Горищне перекриття будівлі, покрите азбестоцементним шифером, також не відповідає нормам: його опір теплопередачі складає $0,65 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$ при вимозі не менше $4,50 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$.

Світлопрозорі конструкції (вікна з ПВХ-профілю) займають $1439,4 \text{ м}^2$, але їхній опір теплопередачі ($0,32 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$) нижчий за нормативний ($0,68 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$). Зовнішні двері (дерев'яні та з ПВХ-профілю) також не відповідають стандартам.

Енергопотреба будівлі становить $1569,5 \text{ МВт}\cdot\text{год/рік}$, питома енергоспоживання — $226,6 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2$, а викиди парникових газів (CO_2) — 90 т/рік . Фактична питома енергопотреба перевищує нормативні значення у $1,4$ рази та показники країн ЄС у $2,27$ разів.

4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ РВ ЕТ НА НАТУРНИХ ОБ'ЄКТАХ

В даному розділі проведено комплекс розрахункових досліджень щодо оцінювання ефективності використання запропонованої технології раціонального впровадження природоохоронних енергозберігаючих заходів на обраних об'єктах соціальної інфраструктури.

Після аналізу початкового стану НО №1 і №2 (див. рис 3.1 та 3.2) для кожного з них було сформовано комплекс рекомендованих до впровадження ЕТ та проведено розрахунки їх ефективності. Нижче наведені результати розрахунків (табл. 4.1-4.3).

Таблиця 4.17 – Вихідні дані для комплексного оцінювання ефективності заходів з енергозбереження НО № 1

Період спостереження		Показники, які характеризують сучасний стан об'єкту досліджень				
		Енергетичний	Екологічні			Економічний
		Q _o , Гкал	V _п , тис.м ³	M _{CO2} , т	M _{NOx} , т	C _{оп} , тис.грн
Місяць року	1	75,6	9,6	18,6	0,020	113,0
	2	66,0	8,4	16,2	0,018	99,2
	3	56,9	7,2	14,0	0,015	89,7
	4	10,1	1,3	2,5	0,003	19,2
	5	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0
	6	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0
	7	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0
	8	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0
	9	0,0	0,0	0,0	0,000	0,0
	10	18,2	2,3	4,5	0,005	24,4
	11	52,0	6,6	12,8	0,014	58,5
	12	68,6	8,7	16,9	0,018	72,0
Рік		347,6	44,0	85,5	0,094	475,9

Таблиця 4.2 – Результати оцінки існуючого технічного та еколого-економічного стану натурних об'єктів НО № 1; 2

№ п/п	НО	Характеристика НО			Річні показники - Р						Довгострокові показники - Р				
		Тип-сис-теми-ТП	Вид-палива	S _{оп} , м²	q, МВт-год	q _н , кВт-год/м²	m _п (V _п), т. (т.м³)	m _{CO2} , т	m _{NOx} , кг	c _п (C _т), тис.грн	Q, МВт-год	M _п (V _п), т. (т.м³)	M _{CO2} , т	M _{NOx} , кг	C _п (C _т), тис.грн
1	НО-№1	Ц	П	8333,0	1233,3	148,0	152,1	80,8	501,7	3096	30833	3802	2020	12,5	77399
2	НО-№2	Ц	П	6926,8	1569,5	226,6	169,4	90,0	559,0	3449	39239	4236	2251	14,0	86237

Таблиця 4.3 – Показники ефективності ЕТ рекомендованих до впровадження на натурному об'єкті №2

№ п/п	ПТ	Параметри ефективності рекомендованих ПТ							C _з , тис. грн	T _{рз(ок)} , роки	I _з	e _з	NP _з	Етап
		Δq _з , МВт-год	Δq _{з(с)} , кВт-год/м²	ΔV _{з(п)} , тис. м³	Δm _{з(CO2)} , т	Δm _{з(NOx)} , кг	ΔC _{з(т)} , тис. грн	Δp _з						
1	ТМ Т (в)	149,6	21,6	20,32	10,8	67,0	413,7	0,10	319,7	0,8	1	0,01	1	I
2	ТМ ОК (п)	213,6	30,8	29,00	15,4	95,7	590,4	0,14	2089,8	3,5	1	0,09	2	I
3	РБ	142,9	20,6	19,40	10,3	64,0	395,0	0,09	1582,2	4,0	1	0,07	3	I
4	ТМ ОК (к)	254,3	36,7	34,54	18,4	114,0	703,2	0,16	2997,0	4,3	1	0,13	4	I
5	ТМ СВ	108,9	15,7	14,79	7,9	48,8	301,2	0,07	1889,2	6,3	1	0,08	5	II
6	ТМ ОК (д)	0,9	0,1	0,12	0,1	0,4	2,4	0,001	22,1	9,2	1	0,00	6	III
7	ТМ ОК (с)	222,9	32,2	30,27	16,1	99,9	616,2	0,14	5778,0	9,4	1	0,25	7	III
8	ТМ ОК (в)	248,7	35,9	33,77	17,9	111,4	687,5	0,16	7025,5	10,2	1	0,30	8	III
9	ТМ ГВП	54,3	7,8	7,37	3,9	24,3	150,1	0,03	1804,0	12,0	1	0,08	9	III
10	ТМОК(кр,сум)	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0	0,00	0	–
11	ТМОК(підл,грунт)	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0	0,00	0	–
12	ТМГВС	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0	0,00	0	–
13	ТМТЗ	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0	0,00	0	–
14	ГКК	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0	0,00	0	–
15	ГС	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0	0,00	0	–
16	ТН	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0	0,00	0	–

4.1 Результати досліджень натурного об'єкту №1

Для НО №1 рекомендовано до впровадження 5 ЕТ: проведення термомодернізації огорожувальних конструкцій будівлі, використання технології «розумний будинок», термомодернізація внутрішньобудинкових трубопроводів, термомодернізація запірної арматури, використання ГКК в (табл. 4.4-4.8).

Таблиця 4.4 – Результати комплексного оцінювання ефективності проведення термомодернізації огорожувальних конструкцій будівлі

Період спостереження		Критерії ефективності заходу				
		Енергетичний	Екологічні			Економічний
		$\Delta Q (\delta Q)$, Гкал (%)	$V_{п}$, тис.м ³	M_{CO_2} , т	M_{NO_x} , т	$C_{оп}$, тис.грн
Місяць року	1	35,8 (47,4)	4,5	8,8	0,010	58,7
	2	31,3 (47,4)	4,0	7,7	0,008	51,3
	3	27,0 (47,4)	3,4	6,6	0,007	44,2
	4	4,8 (47,4)	0,6	1,2	0,001	7,8
	10	8,6 (47,4)	1,1	2,1	0,002	14,1
	11	24,7 (47,4)	3,1	6,1	0,007	40,4
	12	32,5 (47,4)	4,1	8,0	0,009	53,3
Рік		164,8 (47,4)	20,9	40,5	0,044	270,0

Таблиця 4.5 – Результати комплексного оцінювання ефективності використання технології «розумний будинок» в роботі системи опалення будівлі

Період спостереження		Критерії ефективності заходу				
		Енергетичний	Екологічні			Економічний
		$\Delta Q (\delta Q)$, Гкал (%)	$V_{п}$, тис.м ³	M_{CO_2} , т	M_{NO_x} , т	$C_{оп}$, тис.грн
Місяць року	1	5,0 (6,6)	0,6	1,2	0,001	8,1
	2	4,5 (6,8)	0,6	1,1	0,001	7,3
	3	5,0 (8,7)	0,6	1,2	0,001	8,1
	4	1,7 (17,3)	0,2	0,4	0,000	2,9
	10	2,7 (14,8)	0,3	0,7	0,001	4,4
	11	4,8 (9,2)	0,6	1,2	0,001	7,8
	12	5,0 (7,2)	0,6	1,2	0,001	8,1
Рік		28,6 (8,2)	3,6	7,0	0,008	46,8

Таблиця 4.6 – Результати комплексного оцінювання ефективності проведення термомодернізації внутрішньобудинкових трубопроводів системи опалення та загального теплопостачання

Період спостереження		Критерії ефективності заходу				
		Енергетичний	Екологічні			Економічний
		ΔQ (δQ), Гкал (%)	$V_{п}$, тис.м ³	M_{CO_2} , т	M_{NO_x} , т	$C_{оп}$, тис.грн
Місяць року	1	6,5 (8,5)	0,8	1,6	0,002	10,6
	2	5,8 (8,8)	0,7	1,4	0,002	9,6
	3	6,5 (11,3)	0,8	1,6	0,002	10,6
	4	2,3 (22,7)	0,3	0,6	0,001	3,8
	10	3,5 (19,4)	0,4	0,9	0,001	5,8
	11	6,2 (12,0)	0,8	1,5	0,002	10,2
	12	6,5 (9,4)	0,8	1,6	0,002	10,6
Рік		37,3 (10,7)	4,7	9,2	0,010	61,1

Таблиця 4.7 – Результати комплексного оцінювання ефективності проведення термомодернізації запірної арматури на внутрішньобудинкових трубопроводах системи опалення та загального теплопостачання

Період спостереження		Критерії ефективності заходу				
		Енергетичний	Екологічні			Економічний
		ΔQ (δQ), Гкал (%)	$V_{п}$, тис.м ³	M_{CO_2} , т	M_{NO_x} , т	$C_{оп}$, тис.грн
Місяць року	1	1,8 (2,3)	0,2	0,4	0,000	2,9
	2	1,6 (2,4)	0,2	0,4	0,000	2,6
	3	1,8 (3,1)	0,2	0,4	0,000	2,9
	4	0,6 (6,2)	0,1	0,2	0,000	1,0
	10	1,0 (5,3)	0,1	0,2	0,000	1,6
	11	1,7 (3,3)	0,2	0,4	0,000	2,8
	12	1,8 (2,6)	0,2	0,4	0,000	2,9
Рік		10,1 (2,9)	1,3	2,5	0,003	16,6

Таблиця 4.8 – Результати комплексного оцінювання ефективності використання ГКК в якості основного джерела теплопостачання

Період спостереження		Критерії ефективності заходу				
		Енергетичний	Екологічні			Економічний
		$\Delta Q (\delta Q)$, Гкал (%) + ΔQ , Гкал	$V_{п}$, тис.м ³	M_{CO_2} , т	M_{NO_x} , т	$C_{оп}$, тис.грн
Місяць року	1	22,6 (29,9)	3,0	5,6	0,006	35,5
	2	19,7 (29,9)	2,7	4,9	0,005	31,0
	3	17,0 (29,9)	2,3	4,2	0,005	26,8
	4	3,0 (29,9)	0,4	0,7	0,001	4,7
	5	0,0 (0,0)	0,0	0,0	0,000	0,0
	6	0,0 (0,0)	0,0	0,0	0,000	0,0
	7	0,0 (0,0)	0,0	0,0	0,000	0,0
	8	0,0 (0,0)	0,0	0,0	0,000	0,0
	9	0,0 (0,0)	0,0	0,0	0,000	0,0
	10	5,4 (29,9)	0,7	1,3	0,001	8,6
	11	15,6 (29,9)	2,1	3,8	0,004	24,5
	12	20,5 (29,9)	2,8	5,0	0,006	32,3
Рік		103,9 (29,9)	14,0	25,6	0,028	163,3

Аналіз результатів оцінювання ефективності ЕТ свідчить про наступне.

1. Термомодернізація огорожувальних конструкцій будівлі є найбільш ефективним з рекомендованих заходів з енергозбереження, який дозволяє зменшити втрати теплової енергії системи теплоспоживання протягом опалювального періоду і отримати такий річний ефект:

- енергетичний: економія теплової енергії – 164,8 Гкал або 47,4%;
- екологічний: скорочення витрати природного газу – 20,9 тис. м³, зменшення викидів у атмосферу CO₂ і NO_x – 40,5 т і 0,044 т, відповідно;
- економічний: скорочення плати за опалення – 270,0 тис. грн.

2. Використання технології «розумний будинок» в роботі системи опалення будівлі дозволяє зменшити теплові втрати системи теплоспоживання протягом опалювального періоду та отримати такий річний ефект:

- енергетичний: економія теплової енергії – 28,6 Гкал або 8,2%;
- екологічний: скорочення витрати природного газу – 3,6 тис. м³, зменшення викидів у атмосферу CO₂ і NO_x – 7,0 т і 0,008 т, відповідно;
- економічний: скорочення плати за опалення – 46,8 тис. грн.

3. Термомодернізація внутрішньобудинкових трубопроводів системи опалення будівлі дозволяє зменшити теплові втрати системи теплоспоживання протягом року та отримати такий річний ефект:

- енергетичний: економія теплової енергії – 37,3 Гкал або 10,7%;
- екологічний: скорочення витрати природного газу – 4,7 тис. м³, зменшення викидів у атмосферу CO₂ і NO_x – 9,2 т і 0,010 т, відповідно;
- економічний: скорочення плати за теплову енергію – 61,1 тис. грн.

4. Термомодернізація запірної арматури на внутрішньобудинкових трубопроводах системи опалення дозволяє зменшити теплові втрати системи теплоспоживання протягом року та отримати такий річний ефект:

- енергетичний: економія теплової енергії – 10,1 Гкал або 2,9%;
- екологічний: скорочення витрати природного газу – 1,3 тис. м³, зменшення викидів у атмосферу CO₂ і NO_x – 2,5 т і 0,003 т, відповідно;
- економічний: скорочення плати за теплову енергію – 16,6 тис. грн.

5. Використання Заміна існуючого газовикористовуючого обладнання на енергоефективні ГKK протягом року та отримати такий річний ефект:

- енергетичний: економія теплової енергії – 103,9 Гкал або 29,9%;
- екологічний: скорочення витрати природного газу – 14,0 тис. м³, зменшення викидів у атмосферу CO₂ і NO_x – 25,6 т і 0,028 т, відповідно;
- економічний: скорочення плати за теплову енергію – 163,3 тис. грн.

4.2 Результати досліджень натурного об'єкту №2

Для НО №2 рекомендовано до впровадження 8 ЕТ, які відповідно до номеру пріоритетності NP₃ розташувались у наступному порядку (табл 4.3):

- 1) $ТМ_{Т(В)}$ – термомодернізація внутрішньобудинкових трубопроводів системи теплопостачання – теплоізоляція мереж, із $\overline{\Delta p_3} = 0,10$ та $T_{p_{3(OK)}} = 0,8$ років;
- 2) $ТМ_{ОК(підл.підв)}$ – термомодернізація огорожувальних конструкцій – підлоги над неопалювальним підвалом, із $\overline{\Delta p_3} = 0,14$ та $T_{p_{3(OK)}} = 3,5$ роки;
- 3) $ТМ_{КУБ}$ – впровадження новітнього обладнання – Smart системи опалення, із $\overline{\Delta p_3} = 0,09$ та $T_{p_{3(OK)}} = 4,0$ роки;
- 4) $ТМ_{ОК(КР.гор)}$ – термомодернізація огорожувальних конструкцій – горищного перекриття, із $\overline{\Delta p_3} = 0,16$ та $T_{p_{3(OK)}} = 4,3$ роки;
- 5) $ТМ_{ІФ}$ – впровадження новітнього обладнання – припливно-вентиляційні установки із рекуператорами, із $\overline{\Delta p_3} = 0,07$ та $T_{p_{3(OK)}} = 6,3$ роки;
- 6) $ТМ_{ОК(двері)}$ – термомодернізація огорожувальних конструкцій – зовнішніх входних дверей, із $\overline{\Delta p_3} = 0,01$ та $T_{p_{3(OK)}} = 9,2$ роки;
- 7) $ТМ_{ОК(стіни)}$ – термомодернізація огорожувальних конструкцій – зовнішніх стін, із $\overline{\Delta p_3} = 0,14$ та $T_{p_{3(OK)}} = 9,4$ роки;
- 8) $ТМ_{ОК(вік)}$ – термомодернізація огорожувальних конструкцій – віконних конструкцій, із $\overline{\Delta p_3} = 0,16$ та $T_{p_{3(OK)}} = 10,2$ роки;
- 9) $ТМ_{ІТП}$ – впровадження новітнього обладнання – індивідуального теплового пункту, із $\overline{\Delta p_3} = 0,03$ та $T_{p_{3(OK)}} = 12,0$ років.

ЕТ із терміном окупності більше за 12,5 років до впровадження не пропонуються.

Відповідно до прийнятих умов формування етапів процедури РВПТ перший I-й етап містить 4 заходи – $ТМ_{Т(В)}$, $ТМ_{ОК(підл.підв)}$, $ТМ_{КУБ}$, $ТМ_{ОК(КР.гор)}$, II-й містить 1 захід – $ТМ_{ІФ}$, III-й етап містить 4 заходи – $ТМ_{ОК(двері)}$, $ТМ_{ОК(стіни)}$, $ТМ_{ОК(вік)}$ $ТМ_{ІТП}$.

Визначення параметрів і оцінка ефективності процедури РВПТ.

Аналіз результатів досліджень НО №2, представлених у табл. 4.13 і на рис. 4.23-4.27, свідчить про наступне.

Узагальнені еколого-економічні ефекти для I, II, III етапів:

Річні $\Delta \text{Рет}$: 0,48; 0,07; 0,34 відповідно.

Довгострокові $\Delta \text{Рет}$: 0,48; 0,07; 0,29 відповідно.

Відносний загальний економічний ефект ($\Delta \text{сет}$):

I етап – 0,30.

II етап – 0,08.

III етап – 0,62.

Розрахункові значення вартості та термінів окупності:

I етап – 6989,0 тис. грн; 3,3 роки.

II етап – 1889,0 тис. грн; 6,3 роки.

III етап – 14630,0 тис. грн; 10,0 років.

Очікувані фактичні значення вартості та термінів окупності:

I етап – 6989,0 тис. грн; 3,3 роки.

II етап – 1039,0 тис. грн; 3,5 роки.

III етап – 5825,0 тис. грн; 4,0 роки.

Періоди затримки початку виконання етапів:

I етап – 0 років.

II етап – 0,3 років.

III етап – 3,4 років.

Значимість етапів (e_{et}):

I етап – 30%.

II етап – 8%.

III етап – 62%.

Відносний внесок інвестицій у вартість етапів (R_{inet}):

I етап – 1,0.

II етап – 0,50.

III етап – 0,40.

2. Встановлені показники ефективності процедури РВПТ:

Узагальнений еколого-економічний ефект:

Річний – $\Delta \text{рпр} = 0,89$.

Довгостроковий – $\Delta \text{Рпр} = 0,84$.

Енергетичний ефект:

Річний – $\Delta q_{пр} = 1396,1 \text{ МВт} \cdot \text{год}$ при $\Delta q_s = 201,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$.

Довгостроковий – $\Delta Q_{пр} = 33,1 \text{ ГВт} \cdot \text{год}$.

Економічний ефект:

Річний – $\Delta \text{спр} = 3860,0 \text{ тис. грн.}$

Довгостроковий – $\Delta \text{Спр} = 96,5 \text{ млн. грн.}$

3. Порівняння процедур РВ ЕТ та ОКВ ЕТ:

Переваги процедури РВ ЕТ:

Забезпечує рівень річного еколого-економічного ефекту $\Delta \text{рпр}$, при незначному зменшенні довгострокових ефектів $\Delta \text{Рпр}$ (на 5,3%) та $\Delta \text{Спр}$ (на 5,3%).

Зменшення обсягів інвестування для початку реалізації процедури у **8,9 разів**.

Зменшення показника **R_{ін}** (відносного внеску інвестицій):

Зменшення із 1,0 до 0,49 (у 2 рази).

Незначне зростання терміну окупності з **6,5 до 7,2 років** (на 10,2%).

Узагальнені результати:

Для досягнення однакової річної еколого-економічної ефективності (64–85%) процедура РВПТ потребує:

У **4,8–9,1 разів менших інвестицій** для початку реалізації.

У **1,4–2 рази менших інвестицій** для повного виконання.

Збільшення терміну окупності незначне – на **0,3–2,0 роки**.

4. Додаткові результати аналізу:

НО №1:

За процедурою ОКВ зменшення негативного впливу на довкілля з **p = 1,0 до p = 0,18**.

За процедурою РВПТ це ж зниження досягається в три етапи з додатковим еколого-економічним ефектом **34%**.

НО №2:

За процедурою ОКВ зменшення негативного впливу з **p = 1,0 до p = 0,17**.

За процедурою РВПТ це зниження досягається в три етапи з додатковим еколого-економічним ефектом **33%**.

5 ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ІННОВАЦІЙНОЇ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ – «РОЗУМНОГО» ОПАЛЕННЯ БУДІВЛІ

В якості вихідних даних, для проведення досліджень, використано технічні та геометричні характеристики досліджуваного об'єкту представленого в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для оцінки ефективності технології 'розумного' опалення

Середньо тижнева тривалість періоду комфортного теплозабезпечення – $\tau_{оп(т)і}$, год			Температури режимів теплозабезпечення	
1-й поверх	2-й поверх	3-й поверх	Комфор т - $t_{в}^{комф}$, °C	Економ - $t_{в}^{екон}$, °C
28	56	35	21.0	17.0

Опалювальні площі приміщень складаються з 1-го поверху – $S_{оп1} = 79.2$ м²; 2-го поверху – $S_{оп2} = 68.4$ м²; 3-го поверху – $S_{оп3} = 77.7$ м². В результаті, загальна опалювальна площа приміщень – $S_{оп} = 225$.

Концепція комплексного оцінювання ефективності заходів з енергозбереження в будівлях створена з метою підвищення інформативності процесу оцінювання шляхом врахування при його проведенні різних критеріїв ефективності. Сутність концепції полягає в тому, що загальна ефективність енергозберігаючих заходів розглядається, як 3-компонентний вектор E , складовими якого є енергетичний – E_I , екологічний – E_{II} та економічний – E_{III} ефекти від їх впровадження [31] (рис. 5.1).

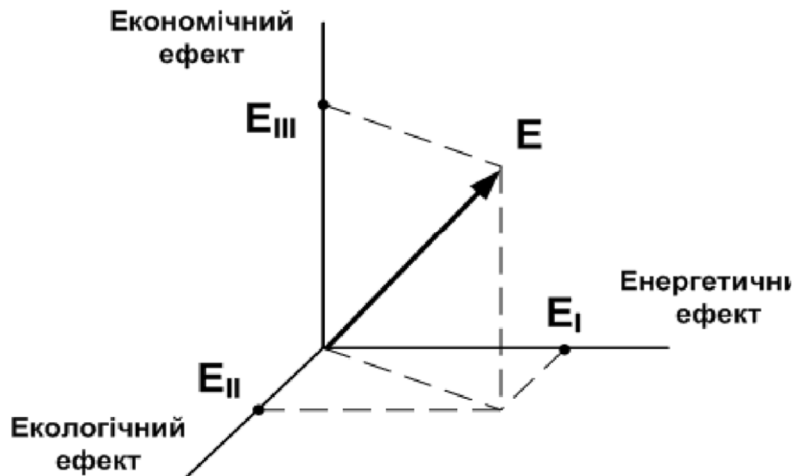
3 м²:

Рисунок 5.1 – Складові загальної ефективності

При цьому критеріями ефективності є:

– *енергетичного ефекту* E_I : абсолютне – ΔQ (кВт·год) і відносне – δQ (%) значення зекономленої кількості теплової енергії за опалювальний період, які визначаються за формулами:

$$\Delta Q = Q_{\text{сум1}} - Q_{\text{сум2}}, \quad (5.1)$$

де $Q_{\text{сум1}}$ і $Q_{\text{сум2}}$ – сумарні теплові втрати через огорожувальні конструкції будівлі за опалювальний період до і після впровадження енергозберігаючих заходів, відповідно, кВт·год;

$$\delta Q = \frac{Q_{\text{сум1}} - Q_{\text{сум2}}}{Q_{\text{сум1}}} \cdot 100\% ; \quad (5.2)$$

– *екологічного ефекту* E_{II} : маса (об'єм) зекономленого палива – $\Delta M_{\text{п}}$ (кг) ($\Delta V_{\text{п}}$ (м³)), зменшення маси викидів у атмосферу парникових газів, зокрема – CO₂ і забруднюючих речовин – $\Delta M_{\text{ЗР}}$ (кг):

$$\Delta M_{\text{п}} = 3.6 \cdot \frac{\Delta Q}{Q_{\text{н}}}, \quad (5.3)$$

$$\Delta V_{\pi} = \frac{\Delta M_{\pi}}{\rho_{\pi}}, \text{ м}^3 \quad (5.4)$$

$$\Delta M_{3p} = 3.6 \cdot K_{3p} \cdot \Delta Q, \text{ кг} \quad (5.5)$$

де Q_{π} – нижча теплота згоряння палива (природного газу), МДж/кг; ρ_{π} – густина палива, кг/м³; K_{3p} – коефіцієнт емісії забруднюючої речовини, г/ГДж (приймаємо: $Q_{\pi} = 45.75$ МДж/кг, $\rho_{\pi} = 0.723$ кг/м³, $K_{CO_2} = 58,7$ кг/ГДж; $K_{NO_x} = 0,064$ кг/ГДж);

– *економічного ефекту* E_{III} : зменшення плати за кількість теплової енергії, спожитої за опалювальний період – $\Delta C_{оп}$ (грн) та за паливо – ΔC_{π} (грн):

$$\Delta C_{оп} = 8.598 \cdot 10^{-4} \cdot c_{оп} \cdot \Delta Q, \quad (5.6)$$

$$\Delta C_{\pi} = c_{\pi} \cdot \Delta V_{\pi}, \quad (5.7)$$

де $c_{оп}$ – вартість одиниці теплової енергії (приймаємо: $c_{оп} = 1365,28$ грн/Гкал; c_{π} – вартість палива (приймаємо: $c_{\pi} = 8,851891$ грн/м³).

Методика визначення показників ефективності використання технології «розумного» опалення - автоматизованої системи керування тепловими режимами приміщень натурного об'єкту – 3-поверхової будівлі закладу освіти з загальною опалювальною площею 225.3 м².

1. Визначення коефіцієнту відносної потреби приміщень будівлі в комфортному теплозабезпеченні $\gamma_{комф}$ (рис. 5.2):

$$\gamma_{комф} = \sum_{i=1}^3 \frac{S_{опi}}{S_{оп}} \cdot \gamma_{комфи}, \quad (5.8)$$

де $S_{опi}$ – опалювальна площа і-го поверху будівлі, м²;

$\gamma_{комфи}$ – відносна потреба в комфортному теплозабезпеченні і-го поверху:

$$\gamma_{комфи} = \frac{\tau_{оп(т)i}}{\tau_{оп(т)}}, \quad (5.9)$$

де $\tau_{оп(т)i}$ – середньотижнева тривалість періоду комфортного теплозабезпечення протягом опалювального сезону для і-го поверху, год;

$\tau_{оп(т)}$ – тривалість тижневого періоду – 168 год.

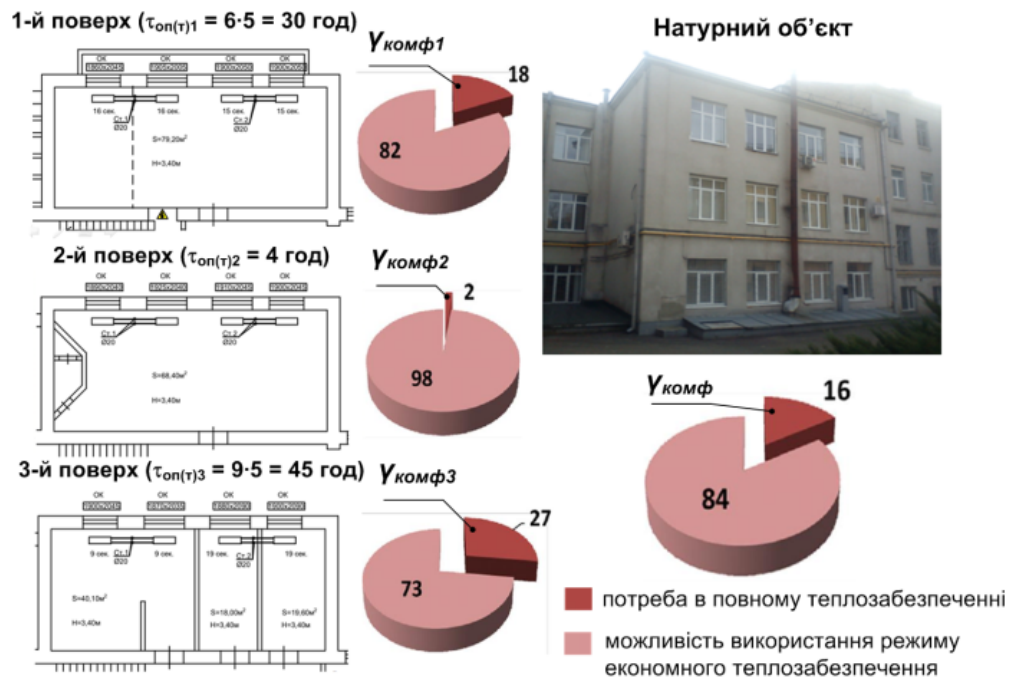


Рисунок 5.2 - Приклад результатів визначення коефіцієнту відносної потреби приміщень будівлі в комфортному теплозабезпеченні $\gamma_{комф}$

Результати визначення величини $\gamma_{комфi}$ (за формулою (5.9)):

– для 1-го поверху: $\gamma_{комф1} = \frac{28}{168} = 0.17$,

– для 2-го поверху: $\gamma_{комф2} = \frac{56}{168} = 0.33$,

– для 3-го поверху: $\gamma_{комф3} = \frac{35}{168} = 0.21$.

Результати визначення величини $\gamma_{комф}$ (за формулою (5.8)):

$$\gamma_{комф} = \sum_{i=1}^3 \frac{S_{опi}}{S_{оп}} \cdot \gamma_{комфi} = \frac{79.2}{225.3} \cdot 0.17 + \frac{68.4}{225.3} \cdot 0.33 + \frac{77.7}{225.3} \cdot 0.21 = 0.23$$

Система керування тепловими режимами приміщень дозволяє підтримувати потрібні температурні режими в приміщеннях будівлі: комфортний з температурою $t_b^{комф}$ – в приміщеннях, які цього потребують, та економний з температурою $t_b^{екон}$ – в інших приміщеннях.

2. Визначення показників енергетичної ефективності використання системи регулювання тепловими режимами приміщень натурального об'єкту (без врахування теплової інерції будівлі):

$$\begin{aligned}\delta Q &= (1 - \gamma_{\text{комф}}) \frac{t_{\text{в}}^{\text{комф}} - t_{\text{в}}^{\text{екон}}}{t_{\text{в}}^{\text{комф}} - t_{\text{з(с)}}} \cdot 100 = \\ &= (1 - 0.23) \frac{21.0 - 17.0}{21.0 - (-0.8)} \cdot 100 = 14.1\%,\end{aligned}\quad (5.10)$$

де $t_{\text{з(с)}} = -0,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – середня температура атмосферного повітря в м. Харків за опалювальний період;

$$\begin{aligned}\Delta Q &= (q \cdot S_{\text{оп}}) \cdot \frac{\delta Q}{100} = \\ &= (97.5 \cdot 225.3) \cdot \frac{14.1}{100} = 3097 \text{ кВт} \cdot \text{год},\end{aligned}\quad (5.11)$$

де $q = 97,5 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}/\text{м}^2$ – фактичне питоме теплоспоживання будівлі у опалюваний період.

3. Визначення показників екологічного та економічного ефектів від впровадження енергозберігаючого заходу за опалювальний період за формулами (5.4) – (5.7):

– зменшення витрат природного газу на опалення – $\Delta V_{\text{п}}, \text{ м}^3$:

$$\Delta V_{\text{п}} = \frac{\Delta M_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}} = \frac{3.6 \cdot \frac{\Delta Q}{Q_{\text{н}}}}{\rho_{\text{п}}} = \frac{3.6 \cdot \frac{3097}{45.75}}{0.723} = 337 \text{ м}^3;$$

– зменшення викидів CO_2 і NO_x у атмосферу – $\Delta M_{\text{CO}_2}, \Delta M_{\text{NO}_x}$:

$$\Delta M_{\text{CO}_2} = 3.6 \cdot 10^{-3} \cdot K_{\text{CO}_2} \cdot \Delta Q = 3.6 \cdot 10^{-3} \cdot 58.7 \cdot 3097 = 654 \text{ кг};$$

$$\Delta M_{\text{NO}_x} = 3.6 \cdot 10^{-3} \cdot 0.064 \cdot 3097 = 0.7 \text{ кг};$$

– зменшення плати за використання теплової енергії та паливо – $\Delta C_{\text{оп}}$, грн та $\Delta C_{\text{п}}$, грн:

$$\Delta C_{\text{оп}} = 8.598 \cdot 10^{-4} \cdot c_{\text{оп}} \cdot \Delta Q = 8.598 \cdot 10^{-4} \cdot 1365.28 \cdot 3097 = 3635 \text{ грн (без}$$

ПДВ);

$$\Delta C_{\text{п}} = c_{\text{п}} \cdot \Delta V_{\text{п}} = 8.851891 \cdot 337 = 2983 \text{ грн (з ПДВ)}.$$

Таким чином, за результатами досліджень еколого-економічної ефективності технології розумного опалення на досліджуваному натурному об'єкті встановлено, що впровадження цієї технології дозволяє досягти значного енергетичного, екологічного та економічного ефекту. Також, оцінено енерго-ефективність енергозберігаючих технологій у навчальних закладах. Для будівлі площею 225 м² система HERZ Smart Comfort забезпечила 17% економії енергії, скорочення газу на 406,4 м³ і зменшення витрат на 4041 грн. У закладі площею 13 700 м² впровадження HERZ Smart Comfort і геліосистеми знизило споживання газу на 64,2 тис. м³, скоротило викиди CO₂ на 124,6 т і забезпечило економію 970,8 тис. грн із терміном окупності 5 років.

ВИСНОВКИ

У ході виконання роботи у проведеному дослідженні було систематизовано та проаналізовано прогресивний досвід впровадження інноваційних енергоефективних технологій, що сприяють екологізації та декарбонізації систем теплопостачання. Зокрема, увага була зосереджена на технологіях ресурсо- та енергозбереження, відновлювальній енергетиці, альтернативних джерелах енергії та палива, а також інтеграції сучасних розумних систем опалення.

На основі цього досвіду розроблено та експериментально апробовано метод впровадження енергоефективних заходів (технологій) РВЕЗ(Т) у технічному комплексі «виробник-споживач». Запропонований метод поєднує інтеграцію сучасних енергоощадних рішень, оптимізацію енергоспоживання та впровадження «зелених» технологій, що дозволяє значно підвищити ефективність використання енергії.

Для оцінки ефективності методу було обрано три натурні об'єкти сфери освіти, які суттєво відрізнялися за призначенням, експлуатаційними характеристиками, геометричними параметрами та енерго-екологічним станом. Оцінювання базувалося на аналізі середніх значень питомої енергопотреби, а також прогнозованих і фактичних показників короткострокового та довгострокового енергоспоживання.

На цих об'єктах було реалізовано комплекс енергоефективних заходів, серед яких термомодернізація будівель, модернізація систем теплопостачання та вентиляції, впровадження енергоощадних котлів, встановлення геліосистем і теплових насосів, а також інтеграція «Smart-технологій» у системи опалення.

Результати дослідження підтвердили високий потенціал ресурсо- та енергозбереження об'єктів, який становив 70–89%, що супроводжувалося скороченням інвестиційних витрат на 55–62%. Практичні приклади демонструють значну ефективність: у навчальних закладах впровадження системи HERZ Smart Comfort забезпечило 17% економії енергії, скорочення

споживання газу та зменшення витрат. У більших об'єктах, таких як корпус площею 13 700 м², інтеграція геліосистем і HERZ Smart Comfort дозволила скоротити споживання газу на 64,2 тис. м³, зменшити викиди CO₂ на 124,6 т та зекономити 970,8 тис. грн із терміном окупності п'ять років.

Отже, розроблений метод довів свою практичну ефективність у досягненні сталого розвитку систем теплопостачання. Він забезпечує значне скорочення енергоспоживання, зменшення викидів парникових газів та оптимізацію фінансових витрат, що сприяє переходу до екологічно безпечного енергетичного майбутнього.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Н.М. Полив'янчук, О.С. Єфімов, О.В. Фурман, Р.В. Петрук, О.П. Арсеньєва, А.П. Полив'янчук. Екологізація сфери теплопостачання на основі методу оптимізованого впровадження енергоефективних технологій. Наукові труди ІХ-го міжнародного з'їзду екологів, 25-27 вересня 2024 р., Вінниця: ВНТУ, С. 340-342.
2. Полив'янчук А.П., Петрук Р.В., Єфімов О.С. Теоретичні основи енергоефективності будівель. Монографія. Вінниця: ВНТУ, 2022. С. 74-79.
3. Петрук Р.В., Арсеньєва О.П., Полив'янчук Н.М. Аналіз потенціалу впровадження геліосистем у будівлях соціальної інфраструктури України. Журнал енергетичних досліджень, 2023, №2(35), С. 21-24.
4. Методика визначення параметрів енергоефективності будівель. Офіційне видання ДСТУ-Н Б В.3.2-2010. Київ: Міністерство регіонального розвитку України, 2010.
5. М.В. Сидоренко, О.М. Калюжний. Використання теплових насосів для зменшення споживання викопного палива. Енергетика та енергозбереження, 2021, №4(12), С. 30-33.
6. А.П. Кузьменко, І.Ю. Гудков. Сонячні колектори для опалення житлових будівель в умовах України. Енергетична безпека, 2022, №3(11), С. 18-21.
7. Г.В. Романенко. Перспективи розвитку геотермальної енергетики в Україні. Геоенергетика, 2020, №1(5), С. 10-14.
8. Сучасні методи термомодернізації будівель. Практичний посібник. Київ: Національний центр енергоефективності, 2023. С. 12-19.
9. В.М. Іванченко, О.Б. Палійчук. Автоматизація процесів теплопостачання. Вісник енергетичних систем, 2020, №4(21), С. 45-50.
10. Є.О. Кравченко. Використання геліосистем у житлових будівлях. Журнал технічних наук, 2021, №6(15), С. 29-32.

11. Технології відновлюваної енергії в сучасній Україні. Збірник тез конференції, Харків, 2021. С. 88-90.
12. А.В. Шевченко, І.В. Білик. Впровадження «розумних» систем управління опаленням. Технічні інновації, 2022, №5(10), С. 25-27.
13. Методологія оцінки теплових втрат будівель. Практичний довідник. Львів: УкрЕнергоСервіс, 2020. С. 35-42.
14. Енергетична ефективність у житловому секторі. Огляд досліджень. Вінниця: ВНТУ, 2023. С. 11-15.
15. М.М. Лаптев, Ю.В. Коломієць. Відновлювальні джерела енергії в енергетичній системі України. Наукові праці. Київ: Інститут енергетики, 2022, С. 123-125.
16. О.В. Коваль. Інновації у сфері теплопостачання. Монографія. Дніпро: ДУЕТ, 2021. С. 67-72.
17. Технології геліосистем у соціальних будівлях. Матеріали конференції. Одеса, 2021. С. 49-50.
18. Б.М. Савченко. Стратегії енергозбереження в урбаністичному середовищі. Журнал урбаністики, 2022, №3(19), С. 12-14.
19. Є.М. Лапшин. Екологічний вплив теплових насосів. Журнал енергоефективності, 2021, №4(9), С. 18-21.
20. Досвід впровадження альтернативної енергетики в Україні. Аналітичний звіт. Київ: УкрТеплоЕнерго, 2020.
21. В.Д. Кравчук. Геотермальні ресурси як джерело енергії для опалення. Журнал альтернативної енергетики, 2021, №6(12), С. 45-47.
22. Інженерні аспекти тепломереж. Методичні рекомендації. Львів: ЕнергоЕфект, 2023. С. 34-37.
23. Семененко Р.А. Зменшення негативного впливу комунальної енергетики на довкілля шляхом поетапного, раціонального впровадження енергоефективних заходів. – Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього

середовища». – Вінницький національний технічний університет МОН України, Вінниця, 2024, 206 с.

24. Smart-технології в теплопостачанні. Аналітичний збірник. Київ: Центр енергозбереження, 2022. С. 44-48.

25. Г.В. Кузьменко. Аналіз впливу термомодернізації на екологічну ситуацію. Екологічний вісник, 2021, №7(10), С. 21-24.

26. О.Б. Петрова. Сонячні панелі як джерело теплової енергії. Журнал енергетичних інновацій, 2023, №2(14), С. 18-22.

27. М.М. Кравець. Перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Збірник конференції. Черкаси, 2022. С. 39-41.

28. П.Д. Коломійцев. Використання аеротермальної енергії в житлових будинках. Технічні інновації, 2023, №3(20), С. 31-34.

29. О.В. Сухомлин. Енергетичний менеджмент в будівлях. Практичний посібник. Київ: ТехноПроект, 2022. С. 45-49.

30. Л.О. Зайцев. Інфраструктурні рішення для зменшення викидів CO₂. Журнал урбаністики, 2021, №5(15), С. 10-13.

31. М.В. Гончаренко. Використання відновлювальної енергії в комунальній сфері. Журнал енергетичної ефективності, 2023, №4(18), С. 12-16.

ДОДАТОК А
ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Ефективна екологізація сфери теплопостачання на основі методу раціонального впровадження енергоощадних технологій

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ: кафедра екології, хімії та технологій захисту довкілля
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність 92 % Схожість 8 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☐ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку  Матусяк М.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

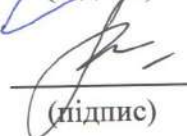
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Turnitin щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Фурман О. В.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Полив'янчук А.П.
(прізвище, ініціали)

ДОДАТОК Б

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**ЕФЕКТИВНА ЕКОЛОГІЗАЦІЯ СФЕРИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА
ОСНОВІ МЕТОДУ РАЦІОНАЛЬНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ
ЕНЕРГООЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**



Рисунок Б.1 – Матеріали для утеплення будівлі; Складові системи HERZ Smart Comfort

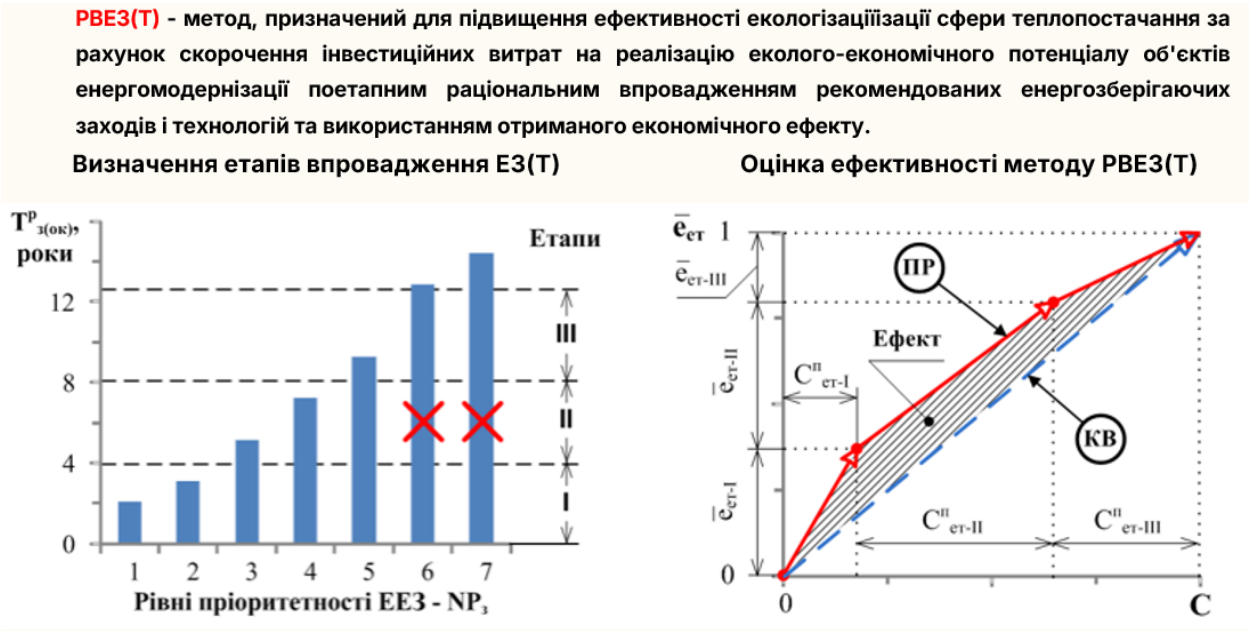


Рисунок Б.2 – Принципова схема методу РВЕТ в технічному комплексі «виробник-споживач» теплової енергії

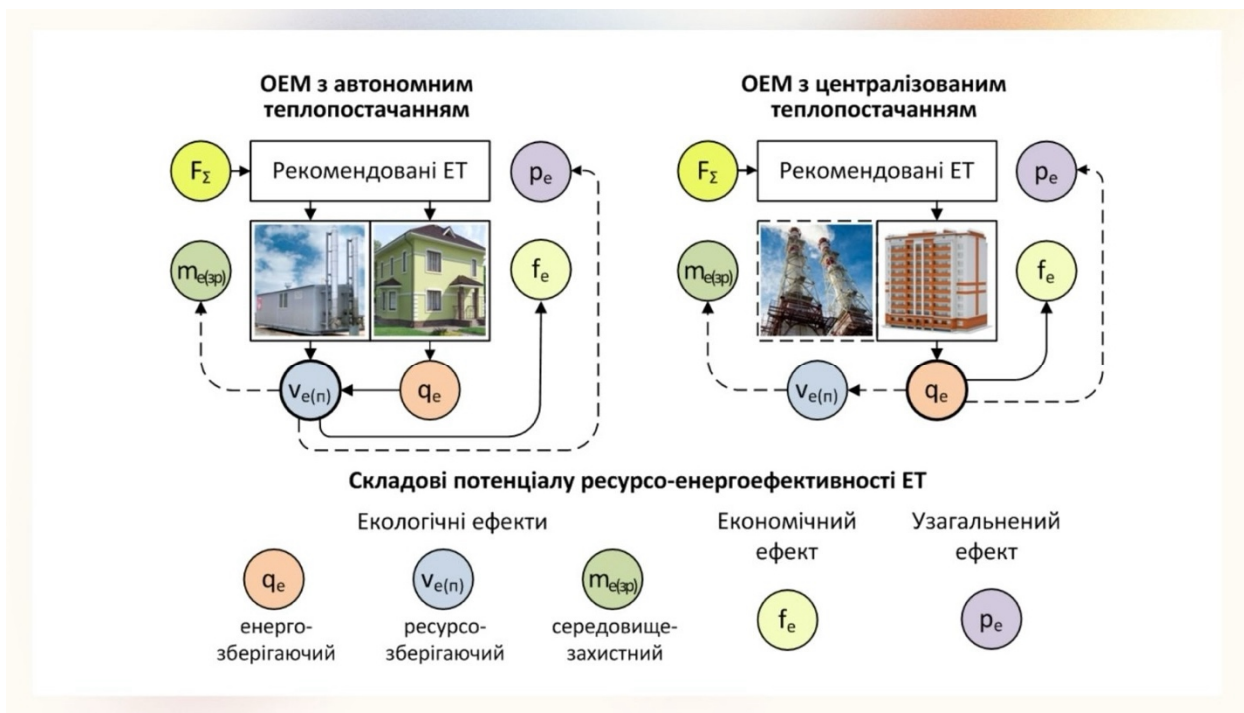


Рисунок Б.3 – Оцінка ефективності енергоощадних заходів

Натурний об'єкт №1 – будівля закладу освіти з автономною системою опалення



Рисунок Б.4 – Загальний вигляд досліджувального натурального об'єкту №1

№ п/п	ЕТ	Параметри ефективності рекомендованих ПТ							C _з , тис.грн	T ^{р_з(ок)} , роки	I _з	e _з	NP _з	Етап
		Δq _з , МВт·год	Δq _{з(з)} , кВт·год/м²	ΔV _{з(п)} , тис.м³	Δm _{з(CO2)} , т	Δm _{з(Nox)} , кг	ΔC _{з(γ)} , тис.грн	Δp _з						
1	ТМ Т (в)	8,4	1,0	1,14	0,6	3,8	23,2	0,01	81,1	3,5	1	0,00	1	I
2	ТМ ОК (к)	115,1	13,8	15,6	8,3	51,6	318,3	0,09	1411,4	4,4	1	0,07	2	I
3	ТМ ОК (п)	92,2	11,1	12,5	6,7	41,3	254,9	0,07	1143,9	4,5	1	0,05	3	I
4	ТМ ОК (с)	488,2	58,6	66,3	35,2	218,7	1349,7	0,40	9690,9	7,2	1	0,45	4	II
5	ТМ _ф	135,7	16,3	18,4	9,8	60,8	375,1	0,11	3420,2	9,1	1	0,16	5	III
6	ТМ ОК (д)	2,1	0,2	0,28	0,1	0,9	5,7	0,002	52,4	9,2	1	0,00	6	III
7	РБ	25,9	3,1	3,5	1,9	11,6	71,5	0,02	824,8	11,5	1	0,04	7	III
8	ТМ _{ОК(вк)}	130,2	15,6	17,7	9,4	58,3	359,8	0,11	4978,5	13,8	0	0,23	8	—
9	ТМ _{ОК(кр,сум)}	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0	0,00	0	—
10	ТМ _{ОК(вкд,грунт)}	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0	0,00	0	—
11	ТМ _{ГВС}	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0	0,00	0	—
12	ТМ _{ГП}	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0	0,00	0	—
13	ТМ _{Т(з)}	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0	0,00	0	—
14	ГКК	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0	0,00	0	—
15	ГС	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0	0,00	0	—
16	ТН	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0	0,00	0	—

Рекомендовані до впровадження ПТ: ТМ – термомодернізація; ОК – огорожувальні конструкції (Стіни, Вікна, Підлога, Крівля, Двері); СВ – система вентиляції; ТП – трубопроводи (Зовнішні, Внутрішні); РБ – розумний будинок; АДЕ – альтернативні джерела енергії (геліосистема, тепловий насос, газові конденсаційний котел).

Рисунок Б.5 – Показники ефективності ЕТ рекомендованих до впровадження на натурному об’єкті №1



Рисунок Б.6 – Приклад результатів визначення коефіцієнту відносної потреби приміщень будівлі в комфортному теплозабезпеченні $\gamma_{комф}$