

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ГУРА КОСТЯНТИН ЮРІЙОВИЧ

УДК 502.55; 338:504.05

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ
СОЦІАЛЬНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МЕТОДОМ РАЦІОНАЛЬНОГО
ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ПРИРОДООХОРОННИХ
ТЕХНОЛОГІЙ**

Спеціальність 183 – «Технології захисту навколишнього середовища»

Галузь знань 18 – «Виробництво та технології»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ К.Ю. Гура

Наукові керівники:

Петрук Василь Григорович,
д.т.н., професор, Заслужений
природоохоронець України

Полив'янчук Андрій Павлович,
д.т.н., професор

ВІННИЦЯ – 2024

АНОТАЦІЯ

Гура К.Ю. Підвищення ефективності декарбонізації об'єктів соціальної інфраструктури методом раціонального впровадження інноваційних природоохоронних технологій. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 183 – «Технології захисту навколишнього середовища», галузь знань 18 – «Виробництво та технології». – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2024.

Кваліфікаційна робота присвячена розв'язанню важливого науково-прикладного завдання підвищення ефективності декарбонізації урбанізованих територій за рахунок використання удосконалених методів впровадження природоохоронних технологій на об'єктах соціальної інфраструктури, що передбачають підвищення раціональності використання інвестиційних ресурсів.

Економіка України у значній мірі орієнтована на викопні вуглецеві енергетичні ресурси, а також на ресурсоємні багатовідхідні та застарілі технології, які викидають у атмосферу велетенські обсяги парникових газів, у першу чергу, карбонвмісних сполук, що призводить до забруднення біосфери та глобальних змін клімату. Тому важливо дослідити основні напрямки декарбонізації енергетичного сектору економіки України, базуючись на відповідних документах стратегії його низьковуглецевого розвитку, та визначити інженерно-технологічні шляхи вирішення цієї проблеми щодо зміни стратегії переходу з високовуглецевої до низько- або безвуглецевої економіки, яка потребує не тільки значних капіталовкладень, інженерно-технологічних зусиль, але й відповідних системних управлінських рішень, які б унеможлилювали, або сприяли суттєвому зменшенню, як викопного вуглецевого палива (нафта, газ, мазут, вугілля тощо), так і шкідливим викидам у довкілля продуктів їх згорання з метою отримання теплової та електричної енергії.

Об'єктом дослідження є процеси реалізації потенціалу еколого-

економічної ефективності об'єктів соціальної інфраструктури при одночасному комплексному та поетапному раціональному впровадженні природоохоронних заходів.

Предметом дослідження є метод раціонального впровадження природоохоронних технологій, параметри його реалізації та критерії комплексної оцінки еколого-економічної ефективності.

Метою роботи є розробка та дослідження ефективності методу раціонального впровадження природоохоронних технологій на об'єктах соціальної інфраструктури, реалізація якого дозволяє підвищити ефективність декарбонізації урбанізованих територій.

Завдання роботи: 1) аналіз прогресивного досвіду використання та систематизація природоохоронних технологій, що підвищують ефективність декарбонізації урбанізованих територій; 2) створення методу раціонального впровадження природоохоронних технологій (РВПТ) на об'єктах соціальної інфраструктури; 3) розробка та верифікація методики багатокритеріальної оцінки ефективності ресурсо- та енергоощадних технологій; 4) створення математичної моделі енергоефективності систем теплопостачання та теплозабезпечення інфраструктурних об'єктів; 5) вибір натурних об'єктів соціальної інфраструктури та природоохоронних технологій для відпрацювання методу РВПТ; 6) дослідження ефективності реалізації методу РВПТ на інфраструктурних об'єктах різних типів: будівлях навчальних закладів, житлових будинках, групі громадських будівель; 7) розробка рекомендацій щодо практичного використання методу РВПТ та результатів досліджень.

В роботі проаналізовано сучасний стан декарбонізації економіки України і світу в контексті інноваційних природоохоронних заходів та технологій, де розкрито ефективність інноваційних енергозберігаючих технологій та природоохоронних заходів, проведено аналіз технологій сонячної генерації в контексті декарбонізації повоєнної економіки України. Також розкрито роль теплових насосів у енергозабезпеченні інфраструктурних об'єктів та

перспективні технології перетворення геотермальної енергії та вітрової генерації у комунальній енергетиці і соціальних інфраструктурних об'єктах.

В дисертаційні роботі наведено інноваційну методику раціонального впровадження енергоефективних природоохоронних технологій, яка включає метод багатокритеріальної оцінки ефективності енергозберігаючих заходів, обґрунтування доцільності його застосування та оцінку ефективності використання системи herz smartcomfort для регулювання теплових режимів приміщень повномасштабного об'єкта.

Також проведена оцінка ефективності енергозберігаючих заходів при виробництві, транспортуванні та споживанні теплової енергії в комунальному секторі соціальної інфраструктури, де наведені математичні моделі, визначення енергоефективності використання теплового насоса для опалення будівель, автоматизовані системи контролю теплового режиму приміщень і математична модель для комплексної оцінки ефективності енергозберігаючих заходів.

Крім цього, наведені результати досліджень ефективності впровадження енергоощадних технологій на об'єктах соціальної інфраструктури, що включають аналіз еколого-економічного стану досліджуваних натурних об'єктів, дослідження еколого-економічної ефективності впровадження енергоощадних заходів.

Наслідком розробки інноваційних технологій інтегрованого управління енергоефективними природоохоронними заходами декарбонізації економіки та об'єктів соціальної інфраструктури було розроблено технологію інтегрованого управління складними екосистемами та енергоефективними природоохоронними заходами, досліджено особливості термохімічної конверсії твердих відходів, як перспективний напрям декарбонізації циркулярної економіки, а також розроблено деревоощадливу технологію декарбонізації синтетичного паперу та будівельних матеріалів, наведено рекомендації щодо оцінки інвестиційної привабливості методу РВПТ та проект інноваційного «Освітньо-наукового центру технологій декарбонізації, енергоефективності і постмайнінгу».

Наукова новизна отриманих результатів, що виносяться на захист, полягає в наступному:

1. *Вперше* створено та науково обґрунтовано доцільність практичної реалізації методу раціонального впровадження природоохоронних технологій (РВПТ) на об'єктах соціальної інфраструктури, яким передбачається скорочення інвестиційних витрат в процесі впровадження за рахунок використання його потенціалу самофінансування, що дозволяє підвищити ефективність декарбонізації урбанізованих територій.

2. *Удосконалено* метод багатокритеріального аналізу ефективності процедур впровадження природоохоронних технологій шляхом розподілу екологічних показників по групах за ознакою отриманого ефекту: декарбонізація, ресурсозбереження, енергозбереження, захист довкілля та ін., що дозволяє підвищити інформативність такого аналізу та аргументованість прийнятих на його основі технічних рішень щодо екологічної модернізації досліджуваного об'єкту інфраструктури.

3. *Дістала подальшого розвитку* математична модель енергоефективності систем теплопостачання та теплозабезпечення об'єктів соціальної інфраструктури шляхом їхнього представлення у вигляді єдиного технічного комплексу «виробник-транспортувальник-споживач» теплової енергії, що дозволяє підвищити ефективність практичної реалізації методу РВПТ в таких комплексах та їхніх елементах.

Практичне значення отриманих результатів, що виносяться на захист, є таким.

1. Проаналізовано прогресивний досвід використання та систематизовано інноваційні природоохоронні технології, що сприяють декарбонізації антропогенної діяльності, а саме: технологій ресурсо- та енергозбереження, відновлювальної енергетики, альтернативних джерел енергії та палива, циркулярної економіки, тощо.

2. Розроблено методику визначення основних параметрів та показників ефективності процесу раціонального впровадження природоохоронних технологій (РВПТ), якими є: кількість технологій, що входять до кожного етапу процедури впровадження, вартості та періоди початку і завершення етапів і

процедури в цілому, показники річної та довгострокової еколого-економічної ефективності етапів і процедури в цілому.

3. Систематизовано рекомендовані до впровадження на об'єктах соціальної інфраструктури природоохоронні технології, що сприяють декарбонізації урбанізованих територій, за такими групами: ресурсозбереження (енергогенеруючі установки підвищеної ефективності), енергозбереження (термомодернізація огорожувальних конструкцій будівель, внутрішніх та зовнішніх та трубопроводів), альтернативні джерела енергії (теплові насоси, сонячні та вітрові перетворювачі енергії), «розумне» енергоспоживання та ін.

4. Досліджено ефективність методу РВПТ на об'єктах соціальної інфраструктури різних типів: «навчальний заклад», «житловий будинок», «група громадських будівель»; встановлено, що потенціал ресурсоенергозбереження цих об'єктів в результаті впровадження рекомендованих природоохоронних технологій складає 70-89 %, рівень скорочення інвестиційних витрат при виконанні методу РВПТ становить 55-62 %.

5. Розроблено рекомендації щодо використання результатів проведених досліджень: в навчальному процесі – створення на базі кафедри ЕХТЗД ВНТУ інноваційного Освітньо-наукового центру технологій декарбонізації, енергоефективності і посмайнінгу, в сфері моніторингу довкілля – оцінка ефективності декарбонізації урбанізованих територій з використанням програмного комплексу ЕОЛ-2000 [h], в сфері економіки – оцінка ефективності методу РВПТ при прямому та дисконтованому інвестуванні.

Ключові слова: природоохоронні технології, екологічна безпека, ресурсозбереження, декарбонізація, соціальна інфраструктура, метод раціонального впровадження природоохоронних технологій, тепловий насос, сонячна генерація, енергоефективність.

ABSTRACT

Gura K. Yu. Increasing the efficiency of decarbonization of social infrastructure objects by the method of rational implementation of innovative environmental protection technologies. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 183 - "Technologies of environmental protection", branch of knowledge 18 - "Production and technologies". – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2024.

The qualification work is dedicated to the solution of an important scientific and applied task of increasing the efficiency of decarbonization of urbanized areas due to the use of improved methods of implementing environmental protection technologies at social infrastructure facilities, which involve increasing the rationality of the use of investment resources.

Ukraine's economy is largely focused on fossil carbon energy resources, as well as on resource-intensive multi-waste and outdated technologies that emit huge volumes of greenhouse gases into the atmosphere, primarily carbon-containing compounds, which leads to pollution of the biosphere and global climate change. Therefore, it is important to study the main directions of decarbonization of the energy sector of the economy of Ukraine, based on the relevant documents of the strategy of its low-carbon development, and to determine the engineering and technological ways of solving this problem regarding the change of the strategy of transition from a high-carbon to a low- or zero-carbon economy, which requires not only significant capital investments, engineering - technological efforts, but also appropriate systemic management solutions that would make it impossible, or contribute to a significant reduction, of both fossil carbon fuels (oil, gas, fuel oil, coal, etc.) and harmful emissions of their combustion products into the environment for the purpose of obtaining heat and electricity energy.

The object of the study is the process of realizing the potential of ecological and economic efficiency of social infrastructure objects with the simultaneous comprehensive and phased rational implementation of environmental protection measures.

The subject of the study is the method of rational implementation of environmental protection technologies, the parameters of its implementation and the criteria of a comprehensive assessment of ecological and economic efficiency.

The purpose of the work is to develop and research the effectiveness of the method of rational introduction of environmental protection technologies on social infrastructure objects, the implementation of which allows to increase the efficiency of decarbonization of urban areas.

Tasks of the work: 1) analysis of progressive experience in the use and systematization of environmental protection technologies that increase the efficiency of decarbonization of urban areas; 2) creation of a method for the rational implementation of environmental protection technologies (RIET) at social infrastructure facilities; 3) development and verification of the method of multi-criteria assessment of the efficiency of resource- and energy-saving technologies; 4) creation of a mathematical model of energy efficiency of heat supply systems and heat supply of infrastructure facilities; 5) selection of real objects of social infrastructure and nature protection technologies to practice the RIET method; 6) research on the effectiveness of the implementation of the RIET method on infrastructural facilities of various types: buildings of educational institutions, residential buildings, a group of public buildings; 7) development of recommendations regarding the practical use of the RIET method and research results.

The dissertation analyzes the current state of decarbonization of the economy of Ukraine and the world in the context of innovative environmental protection measures and technologies, where the effectiveness of innovative energy-saving technologies and environmental protection measures is revealed, and an analysis of solar generation technologies is carried out in the context of decarbonization of the post-war economy of Ukraine. The role of heat pumps in the energy supply of infrastructural objects and promising technologies of geothermal energy conversion and wind generation in communal energy and social infrastructural objects are also revealed.

The dissertation presents an innovative methodology for the rational implementation of energy-efficient environmental protection technologies, which

includes a method of multi-criteria evaluation of the effectiveness of energy-saving measures, justification of the feasibility of its application, and evaluation of the effectiveness of using the herz smartcomfort system for regulating the thermal regimes of the premises of a full-scale facility.

An assessment of the effectiveness of energy-saving measures in the production, transportation and consumption of thermal energy in the communal sector of social infrastructure was also carried out, where mathematical models were given, the determination of the energy efficiency of the use of a heat pump for heating buildings, automated systems for controlling the thermal regime of premises and a mathematical model for a comprehensive assessment of the effectiveness of energy-saving measures.

In addition, the results of research on the effectiveness of the implementation of energy-saving technologies at social infrastructure facilities are given, including the analysis of the ecological and economic condition of the investigated natural objects, research on the ecological and economic effectiveness of the implementation of energy-saving measures.

As a result of the development of innovative technologies of integrated management of energy-efficient environmental protection measures for the decarbonization of the economy and social infrastructure objects, the technology of integrated management of complex ecosystems and energy-efficient environmental protection measures was developed, thermochemical conversion of solid waste as a promising direction of decarbonization of the circular economy, wood-saving technology of decarbonization of synthetic paper and building materials, recommendations for assessing the investment attractiveness of the RRPT method and the project of the innovative "Educational and Scientific Center for Decarbonization, Energy Efficiency and Postmining Technologies" are provided.

The scientific novelty of the obtained results, which are submitted for defense, is as follows.

1. For the first time, the expediency of practical implementation of the method of rational introduction of environmental protection technologies (RVPT) on social infrastructure objects, which is expected to reduce investment costs in the

implementation process due to the use of its self-financing potential, which allows to increase the efficiency of decarbonization of urbanized areas, was created and scientifically substantiated for the first time.

2. The method of multi-criteria analysis of the effectiveness of procedures for the introduction of environmental protection technologies has been improved by dividing environmental indicators into groups based on the obtained effect: decarbonization, resource conservation, energy conservation, environmental protection, etc., which allows to increase the informativeness of such an analysis and the argumentation of technical decisions made on its basis regarding environmental modernization of the researched infrastructure object.

3. The mathematical model of the energy efficiency of heat supply and heat supply systems of social infrastructure objects was further developed by presenting them in the form of a single technical complex "producer-transporter-consumer" of thermal energy, which allows to increase the effectiveness of the practical implementation of the RRPT method in such complexes and their elements.

The practical significance of the obtained results, which are submitted to the defense, is as follows.

1. The progressive experience of using and systematizing innovative environmental protection technologies contributing to the decarbonization of anthropogenic activities, namely: resource and energy saving technologies, renewable energy, alternative sources of energy and fuel, circular economy, etc., was analyzed.

2. A methodology has been developed for determining the main parameters and performance indicators of the process of rational implementation of environmental protection technologies (RIET), which are: the number of technologies included in each stage of the implementation procedure, the costs and periods of the beginning and completion of the stages and the procedure as a whole, indicators of annual and long-term ecological - the economic efficiency of the stages and the procedure as a whole.

3. Environmental protection technologies that contribute to the decarbonization of urban areas are systematized, recommended for implementation at social infrastructure facilities, according to the following groups: resource conservation

(energy-generating installations of increased efficiency), energy conservation (thermomodernization of building enclosures, internal and external structures and pipelines), alternative energy sources (heat pumps, solar and wind energy converters), "smart" energy consumption, etc.

4. The effectiveness of the RIET method on social infrastructure objects of various types was investigated: "educational institution", "residential building", "group of public buildings"; it was established that the resource-energy saving potential of these objects as a result of the implementation of recommended environmental protection technologies is 70-89%, the level of reduction of investment costs when implementing the RRPT method is 55-62%.

5. Recommendations have been developed regarding the use of the results of the conducted research: in the educational process - the creation of an innovative Educational and Scientific Center of decarbonization, energy efficiency and mining technologies on the basis of the Ecology Department of VNTU, in the field of environmental monitoring - the evaluation of the effectiveness of decarbonization of urban areas using the EOL-2000 software complex [h], in the field of economics – evaluation of the effectiveness of the RIET method for direct and discounted investment.

Keywords: environmental protection technologies, environmental safety, resource conservation, decarbonization, social infrastructure, method of rational implementation of environmental protection technologies, heat pump, solar generation, energy efficiency.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Статті у фахових виданнях України

1. **Гура К.Ю.**, Петрук В. Г. Аналіз сучасних тенденцій декарбонізації та екомодернізації енергетики України і світу. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця, 2021. №5. С. 19 – 26.

(Здобувачем проаналізовано тенденції декарбонізації енергетики України і світу, побудовані графічні залежності трендів інвестицій у ВДЕ. Решта співавторів виконали аналіз і узагальнення отриманих результатів, висновків та практичних рекомендацій).

2. Коріненко Б.В., Худоярова О.С., **Гура К.Ю.**, Ранський А.П. Циркулярна економіка та термохімічна конверсія твердих відходів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця, 2021. №4. С.7 – 19.

(Здобувачем проаналізовано особливості природоохоронних технологій для реалізації циркулярної економіки. Решта співавторів проаналізувала та дослідила стан і параметри термохімічної конверсії твердих відходів).

3. Петрук В. Г., Машков О. А., Абідов С. Т., **Гура К. Ю.** Методологія інтегрованого управління екологічною безпекою природоохоронних систем. *Екологічні науки*. Київ, 2021. Вип. 2 (35). С. 153 – 161.

(Здобувачем здійснено дослідження та удосконалення схем інтегрованого управління природоохоронними системами. Решта співавторів проаналізувала системні підходи щодо ефективності управлінських дій та поводження, зокрема, з небезпечними відходами).

4. Петрук В.Г., Полив'янчук А.П., Петрук Г.Д., **Гура К.Ю.**, Файчук В.В. Декарбонізація та екомодернізація економіки як ресурсоенергоефективний шлях післявоєнної відбудови України. *Екологічні проблеми*, 2024. Том 9, №2. С.73-77.

(Здобувачем проаналізовано особливості технологій декарбонізації та сонячної генерації економіки України. Решта співавторів дослідила ресурсоенергоефективні заходи для післявоєнної відбудови України та розробила конкретні науково-обґрунтовані практичні рекомендації).

Статті у міжнародних наукових виданнях

5. Polyvianchuk A., Malyarenko V., Semenenko R., **Gura K.**, Varbanov P.S., Arsenyeva O.P. The general-purpose approach for estimation of residential heating systems efficiency using the various energy sources Author link is open over the panel. *Energy and Building*. Vol. 296. Oktober 2023. P.21. 113390. (НМБ **Scopus**, квартиль Q1).

(Здобувачем проаналізовано та удосконалено критерії ефективності стимулювання систем енергозабезпечення житлових приміщень. Решта співавторів узагальнила результати досліджень з врахуванням різних джерел енергії).

Заявка на винахід

6. Екологічно чистий спосіб виготовлення маси для синтетичного паперу : заявка на винахід UA : МПК D21H 27/00, D21H 13/26 (2021.01) / В. Г. Петрук, Г. Д. Петрук, **К.Ю. Гура** (Україна); № U202200774; заявл. 05.07.2022 ; опубл. 22.02.2023, Бюл.№9. 6с.

(Здобувачем здійснено експериментальні дослідження параметрів зразка синтетичного паперу з позицій декарбонізації його інгредієнтів. Решта співавторів запропонувала ідею декарбонізації паперу з використанням побутових відходів і природних матеріалів замість деревини та узагальнила результати досліджень на основі світового досвіду).

Матеріали наукових конференцій

7. **Гура К.Ю.**, Петрук В. Г. Аналіз шляхів реалізації стратегії низьковуглецевого розвитку економіки України [Електронний ресурс]. *Екологія/Ecology-2021: VIII-й Міжнародний з'їзд екологів. Збірник наукових праць*. м. Вінниця, 22-24 вересня 2021 р. Вінниця, 2021. С. 410 – 412.

8. Polyvianchuk A., Petruk V., Petruk G., **Gura K.**, Semenenko R. Study of the effectiveness of innovative measures for energy saving in educational institutions. *Multi disciplinary academic notes. Theory, methodology and practice: The XXVII International Scientific and Practical Conference*. July 12 – 15, 2022. Prague. Czech Republic. 473 p.

9. **Гура К.Ю.** Сонячна енергетика – альтернативний шлях отримання тепла та електроенергії. IV-а Всеукраїнська наукова конференція «*Інновації у науці та технологіях*». Збірник доповідей. НТТУ «КПІ». 19 березня 2010 р. Київ, 2010. С.23.

Публікації в інших наукових виданнях

10. **Гура К.Ю.** Перспективні технології використання геотермальної енергії. *Новини енергетики*. 2010. №5. С.35 – 51.

11. **Гура К.Ю.,** Іванько Д.К., Міщенко Д.К. Сонячні теплові електростанції. *Електрик*. 2010. №3-4. С.34 – 37.

12. **Гура К.Ю.** Теплові насоси. *Новини енергетики*. 2010. №4. С.39 – 54.

ЗМІСТ

| | |
|---|-----|
| ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ І СКОРОЧЕНЬ | 19 |
| ВСТУП..... | 20 |
| РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ І СВІТУ В КОНТЕКСТІ ІННОВАЦІЙНИХ ПРИРОДООХОРОННИХ ЗАХОДІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ..... | 26 |
| 1.1 Аналіз сучасних тенденцій декарбонізації економіки та природоохоронних технологій України і світу..... | 26 |
| 1.2 Ефективність інноваційних енергозберігаючих технологій та природоохоронних заходів в об'єктах соціальної інфраструктури..... | 388 |
| 1.3 Аналіз інноваційних технологій сонячної генерації в контексті декарбонізації повоєнної економіки України..... | 40 |
| 1.3.1 Розвиток сонячних теплових електростанцій | 467 |
| 1.3.2 Особливості комбінованих електростанцій з модулем баштового типу | 478 |
| 1.3.3 Комбіновані електростанції з параболічними жолобами та дисками . | 489 |
| 1.4 Теплові насоси у енергозабезпеченні інфраструктурних об'єктів | 50 |
| 1.4.1 Принцип дії теплових насосів та їх технічні характеристики | 50 |
| 1.4.2 Основні переваги теплових насосів та деякі їх недоліки | 52 |
| 1.4.3 Порівняння річних витрат на обігрівання житла електронагрівачем і тепловим насосом..... | 553 |
| 1.4.4 Перспективи застосування теплових насосів у закладах освіти та інших об'єктах соціальної інфраструктури | 554 |
| 1.5 Перспективні технології перетворення геотермальної енергії в електроенергію | 55 |
| 1.5.1 Загальна характеристика геотермальних ресурсів | 56 |

| | |
|---|-----------|
| 1.5.2 Основні переваги та недоліки геотермальної енергії | 56 |
| 1.5.3 Основні недоліки геотермальної енергії: | 57 |
| 1.5.4 Перспективи подальшого розвитку геотермальної електроенергетики . | 58 |
| 1.6 Вітрова генерація у комунальній енергетиці та соціальних інфраструктурних об'єктах України і світу..... | 60 |
| 1.6.1. Недоліки вітроелектростанцій. | 60 |
| 1.6.2. Перспективи розвитку вітроенергетики в Україні. | 60 |
| Висновки до розділу 1 та постановка завдань | 62 |
| РОЗДІЛ 2 МЕТОД РАЦІОНАЛЬНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕХНОЛОГІЙ (РВПТ) НА ОБ'ЄКТАХ СОЦІАЛЬНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ | 65 |
| 2.1 Сутність методу РВПТ | 65 |
| 2.2 Комплексна оцінка ефективності впровадження енергоефективних природоохоронних технологій | 69 |
| 2.3 Математична модель енергоефективності систем теплопостачання інфраструктурних об'єктів | 73 |
| 2.3.1 Математичні моделі для оцінки ефективності енергозберігаючих заходів при виробництві теплової енергії..... | 74 |
| 2.3.2 Математична модель для оцінки ефективності енергозберігаючих заходів при транспортуванні теплової енергії..... | 83 |
| 2.2.3 Математичні моделі оцінки ефективності енергозберігаючих заходів при споживанні теплової енергії | 85 |
| Висновки до розділу 2..... | 92 |
| РОЗДІЛ 3 ОПИС НАТУРНИХ ОБ'ЄКТІВ СОЦІАЛЬНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА КОМПЛЕКСУ ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВІДПРАЦЮВАННЯ МЕТОДУ РВПТ | 93 |

| | |
|--|------|
| 3.1 Характеристика об'єктів соціальної інфраструктури обраних для відпрацювання методу РВПТ | 93 |
| 3.1.1 Характеристика натурального об'єкту №1 – навчально-спортивного корпусу закладу освіти..... | 94 |
| 3.1.2 Характеристика натурального об'єкту №2 – типової будівлі гуртожитку закладу освіти..... | 97 |
| 3.1.3 Характеристика натурального об'єкту №3 – адміністративно-навчального корпусу закладу освіти | 99 |
| 3.2 Природоохоронні енергоефективні технології обрані для досліджень ефективності методу РВПТ | 102 |
| 3.3 Верифікація математичних моделей методу РВПТ на натурних об'єктах соціальної інфраструктури | 104 |
| Висновки до розділу 3..... | 109 |
| РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ СОЦІАЛЬНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА ОСНОВІ МЕТОДУ РВПТ. 111 | |
| 4.1 Відпрацювання методики багатокритеріальної оцінки ефективності інноваційних енергоефективних технологій | 1941 |
| 4.1.1 Дослідження ефективності використання технології «розумного» опалення | 94 |
| 4.1.2 Дослідження ефективності впровадження альтернативних систем теплопостачання – геліосистем. | 97 |
| 4.2 Дослідження ефективності впровадження енергоощадних технологій на об'єктах соціальної інфраструктури з використанням методу РВПТ. | 970 |
| Висновки до розділу 4..... | 109 |
| РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИМИ ПРИРОДООХОРОННИМИ | |

| | |
|---|-----|
| ЗАХОДАМИ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ ТА ОБ'ЄКТІВ СОЦІАЛЬНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ | 170 |
| 5.1 Розробка технології інтегрованого управління складними екосистемами та енергоефективними природоохоронними заходами | 170 |
| 5.2 Термохімічна конверсія твердих відходів, як перспективний напрям декарбонізації циркулярної економіки | 176 |
| 5.3 Деревоощадлива технологія декарбонізації синтетичного паперу та будівельних матеріалів | 181 |
| 5.4 Проект інноваційного «Освітньо-наукового центру технологій декарбонізації, енергоефективності і постмайнінгу»..... | 189 |
| Висновки до розділу 5..... | 190 |
| ВИСНОВКИ | 192 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 194 |
| ДОДАТОК А Список опублікованих праць за темою дисертації | 206 |
| ДОДАТОК Б Характеристики теплових насосів..... | 212 |
| ДОДАТОК В Акти впровадження | 212 |
| ДОДАТОК Г Патент на корисну модель | 212 |

ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ І СКОРОЧЕНЬ

| | |
|---------|--|
| ВДЕ | Відновлювані джерела енергії |
| ГС | Геліосистема |
| ІТП | Індивідуальний тепловий пункт |
| НО | Натурний об'єкт |
| ПРВ ЕЕЗ | Поетапне раціональне впровадження енергоефективних заходів |
| РВПТ | Раціональне впровадження природоохоронних технологій |
| СЕ | Сонячний елемент |
| СЕС | Сонячні електричні станції |
| ТН | Теплового насос |
| ФЕ | Фотоелемент |
| ФЕП | Фотоелектричний перетворювач |

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Економіка України у значній мірі орієнтована на викопні вуглецеві енергетичні ресурси, а також на ресурсоемні багатовідхідні та застарілі технології, які викидають у атмосферу велетенські обсяги парникових газів, у першу чергу, карбонвмісних сполук, що призводить до забруднення біосфери та глобальних змін клімату. Тому важливо проаналізувати основні напрямки декарбонізації енергетичного сектору економіки України, базуючись на відповідних документах стратегії його низьковуглецевого розвитку, та визначити інженерно-технологічні шляхи вирішення цієї проблеми щодо зміни стратегії переходу з високовуглецевої до низько- або безвуглецевої економіки, яка потребує не тільки значних капіталовкладень, інженерно-технологічних зусиль, але й відповідних системних управлінських рішень, які б унеможливили, або сприяли суттєвому зменшенню, як викопного вуглецевого палива (нафта, газ, мазут, вугілля тощо), так і шкідливим викидам у довкілля продуктів їх згорання з метою отримання теплової та електричної енергії. Натомість, тенденція світової економіки зводиться до суттєвої декарбонізації та її екомодернізації, наслідком яких є зведення до мінімуму викопного палива, а, відтак, і зменшення обсягів викидів парникових газів, зокрема, CO_2 , CO , CH_4 та інших з метою пом'якшення змін клімату і темпів глобального потепління. При цьому на частку викопного палива припадає близько 70% викидів парникових газів. Тому головне завдання декарбонізації полягає у заміні використання вугілля, нафти і газу безпечними для здоров'я людини і довкілля джерелами енергії, наприклад: вітро- та сонячної енергетики, теплових насосів, докорінної заміни автомобілів на електротранспорт, у відмові від фінансування робіт по видобуванню викопного палива, внесенні відповідних змін у енергетичне та природоохоронне законодавство, розробленні і впровадженні інноваційних технологій видалення (поглинання) вуглекислого газу з атмосфери Землі та ін. Все вище зазначене відповідає Рамковій конвенції ООН про зміну клімату (1992 рік), кінцевою метою

якої є стабілізація атмосферних концентрацій парникових газів на рівні безпечному для кліматичної системи планети, тобто нижче 1,5-2°C у порівнянні з доіндустріальним рівнем. Це було також підтверджено Паризькою угодою у 2015 році, яка спрямована на досягнення цілей сталого (збалансованого) розвитку, а також Кіотським протоколом (1997 рік) та ін. Більшість цих сценаріїв передбачають зниження викидів CO₂ до рівня меншого, ніж у 1990 році. При цьому енергетична політика ЄС зводиться до скорочення споживання викопних палив та збільшення обсягів виробництва енергії з відновлювальних джерел, а також зобов'язання по зниженню емісії парникових газів до 2050 року на 80-95% у порівнянні з показниками 1990 року. Це, зокрема, зазначено у Дорожній Kartі ЄС та стратегії низьковуглецевого розвитку України до 2050 року, які підтверджують докорінну декарбонізацію енергетичного сектору економіки і ключову роль відновлювальних джерел та енергоефективних природоохоронних технологій у майбутньому енергозабезпеченні людства.

Отже, основною передумовою виходу людства із затяжної енергетичної та екологічної кризи, яка спричиняє, зокрема, глобальні зміни клімату та безпрецедентне забруднення усіх прошарків біосфери планети є логічна альтернатива переходу до низьковуглецевої енергоефективної економіки та відновлювальних джерел енергії. Безперечно, водночас і в короткій перспективі здійснити такі потужні зміни в усіх секторах економіки: промисловості, сільського господарства, житлово-комунальної сфери неможливо. Тому Україна, ЄС і світ планують це здійснювати поступово і приблизно до 2050 року в цілому завершити перехід на низьковуглецеву і ресурсоощадливу парадигму їх розвитку на основі інноваційних енергоефективних природоохоронних технологій [1-12].

Зв'язок роботи із науковими темами, планами, програмами. Дисертаційна робота виконувалась у двох прикладних НДР МОН України: НДР 16-Д-407 «Підвищення еколого-енергетичної безпеки урбанізованих територій шляхом поетапного раціонального впровадження енергоефективних заходів в сфері теплопостачання» (ДР № 0123U101998, 2023 – 2025 рр.); НДР № 16-Д-408 (ДР №0124U001473, 2024 – 2026 рр.): «Підвищення ефективності

декарбонізації та екологізації комунальної енергетики методом оптимізованого впровадження енергоощадних технологій» у яких здобувач брав участь, як виконавець.

Мета і завдання досліджень. Мета досліджень полягала у розробці та дослідженні ефективності методу раціонального впровадження природоохоронних технологій на об'єктах соціальної інфраструктури, реалізація якого дозволяє підвищити ефективність декарбонізації урбанізованих територій.

Досягнення мети передбачало розв'язання таких завдань:

1. Аналіз прогресивного досвіду використання та систематизація природоохоронних технологій, що підвищують ефективність декарбонізації урбанізованих територій;
2. Створення методу раціонального впровадження природоохоронних технологій (РВПТ) на об'єктах соціальної інфраструктури;
3. Розробка та верифікація методики багатокритеріальної оцінки ефективності ресурсо- та енергоощадних технологій;
4. Створення математичної моделі енергоефективності систем теплопостачання та теплозабезпечення інфраструктурних об'єктів;
5. Вибір натурних об'єктів соціальної інфраструктури та природоохоронних технологій для відпрацювання методу РВПТ;
6. Дослідження ефективності реалізації методу РВПТ на інфраструктурних об'єктах різних типів: будівлях навчальних закладів, житлових будинках, групі громадських будівель;
7. Розробка рекомендацій щодо практичного використання методу РВПТ та результатів досліджень.

Об'єктом дослідження були процеси реалізації потенціалу еколого-економічної ефективності об'єктів соціальної інфраструктури при одночасному комплексному та поетапному раціональному впровадженні природоохоронних заходів.

Предмет дослідження: метод раціонального впровадження природоохоронних технологій, параметри його реалізації та критерії

комплексної оцінки еколого-економічної ефективності.

Методи досліджень. Під час проведення досліджень використовувались загальнонаукові методи (аналізу, узагальнення, абстрагування, синтезу) методи математичної статистики, кореляційного і регресійного аналізу, з використанням програм Microsoft Excel, та Statistika. Базою даних для теоретичних і аналітичних досліджень були матеріали вітчизняних та зарубіжних вчених з питань енергоефективності та декарбонізації об'єктів соціальної інфраструктури.

Наукова новизна отриманих результатів

Вперше створено та науково обґрунтовано доцільність практичної реалізації методу раціонального впровадження природоохоронних технологій (РВПТ) на об'єктах соціальної інфраструктури, яким передбачається скорочення інвестиційних витрат в процесі впровадження за рахунок використання його потенціалу самофінансування, що дозволяє підвищити ефективність декарбонізації урбанізованих територій.

Удосконалено метод багатокритеріального аналізу ефективності процедур впровадження природоохоронних технологій шляхом розподілу екологічних показників по групах за ознакою отриманого ефекту: декарбонізація, ресурсозбереження, енергозбереження, захист довкілля та ін., що дозволяє підвищити інформативність такого аналізу та аргументованість прийнятих на його основі технічних рішень щодо екологічної модернізації досліджуваного об'єкту інфраструктури.

Дістала подальшого розвитку математична модель енергоефективності систем теплопостачання та теплозабезпечення об'єктів соціальної інфраструктури шляхом їхнього представлення у вигляді єдиного технічного комплексу «виробник-транспортувальник-споживач» теплової енергії, що дозволяє підвищити ефективність практичної реалізації методу РВПТ в таких комплексах та їхніх елементах.

Практичне значення одержаних результатів полягає:

1. Проаналізовано прогресивний досвід використання та систематизовано інноваційні природоохоронні технології, що сприяють декарбонізації

антропогенної діяльності, а саме: технологій ресурсо- та енергозбереження, відновлювальної енергетики, альтернативних джерел енергії та палива, циркулярної економіки, тощо.

2. Розроблено методику визначення основних параметрів та показників ефективності процесу раціонального впровадження природоохоронних технологій (РВПТ), якими є: кількість технологій, що входять до кожного етапу процедури впровадження, вартості та періоди початку і завершення етапів і процедури в цілому, показники річної та довгострокової еколого-економічної ефективності етапів і процедури в цілому.

3. Систематизовано рекомендовані до впровадження на об'єктах соціальної інфраструктури природоохоронні технології, що сприяють декарбонізації урбанізованих територій, за такими групами: ресурсозбереження (енергогенеруючі установки підвищеної ефективності), енергозбереження (термомодернізація огорожувальних конструкцій будівель, внутрішніх та зовнішніх та трубопроводів), альтернативні джерела енергії (теплові насоси, сонячні та вітрові перетворювачі енергії), «розумне» енергоспоживання та ін.

4. Досліджено ефективність методу РВПТ на об'єктах соціальної інфраструктури різних типів: «навчальний заклад», «житловий будинок», «група громадських будівель»; встановлено, що потенціал ресурсоенергозбереження цих об'єктів в результаті впровадження рекомендованих природоохоронних технологій складає 70-89 %, рівень скорочення інвестиційних витрат при виконанні методу РВПТ становить 55-62 %.

5. Розроблено рекомендації щодо використання результатів проведених досліджень: в навчальному процесі – створення на базі кафедри ЕХТЗД ВНТУ інноваційного Освітньо-наукового центру технологій декарбонізації, енергоефективності і посмайнінгу (ОНЦ ТДЕП), в сфері моніторингу довкілля – оцінка ефективності декарбонізації урбанізованих територій з використанням програмного комплексу ЕОЛ-2000 [h], в сфері економіки – оцінка ефективності методу РВПТ при прямому та дисконтованому інвестуванні.

Результати дисертаційних досліджень впроваджено в навчальні процеси

підготовки студентів ВНТУ, які навчаються за спеціальностями 101 – екологія і 183 – технології захисту навколишнього середовища та виробничу діяльність ПП «ІнтерЕко», що підтверджується відповідними актами впровадження.

Особистий внесок здобувача третього рівня освіти. Автором здійснено інформаційний і ретроспективний аналіз стану вивчення декарбонізації ресурсорсоенергоефективності об'єктів соціальної інфраструктури, визначено мету і завдання досліджень, освоєні сучасні прилади для проведення вимірювань декарбонізації та ресурсоенергоефективності. Поряд із цим, здобувачем третього рівня вищої освіти особисто були проведені польові, лабораторні та розрахункові дослідження, здійснено аналіз і узагальнено експериментальний матеріал, сформовано висновки. Участь автора у наукових роботах, опублікованих у співавторстві деталізовано у переліку публікацій за темою.

Апробація результатів дисертації. Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень на різних етапах оприлюднювалися, доповідалися, обговорювалися та були схвалені на міжнародних та всеукраїнських конференціях: 8-му Міжнародному з'їзді екологів (Вінниця, вересень 2021); The XXVII International Scientific and Practical Conference (Прага, Чехія, липень 2022); IV-а Всеукраїнська наукова конференція «Інновації у науці та технологіях». Збірник доповідей. НТТУ «КПІ» (Київ, березень 2010).

Публікації. Основні результати дисертаційних досліджень опубліковано у 12 наукових працях, з яких: 1 публікація у закордонних фахових виданнях індексованих в НМБ Scopus, віднесених до квартиля Q1; 4 публікації у наукових фахових виданнях України категорії Б; 1 патент України на корисну модель; 6 публікацій у матеріалах наукових конференцій та інших виданнях.

Структура роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, науково-практичних рекомендацій, списку використаної літератури і додатків. Загальний обсяг дисертації складають 215 сторінок друкованого тексту, а обсяг основного тексту становить 193 сторінок в тому числі 4 додатки. Текстову частину ілюстровано 49 рисунками і 39 таблицями. Список літератури складає 114 літературне джерело.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ І СВІТУ В КОНТЕКСТІ ІННОВАЦІЙНИХ ПРИРОДООХОРОННИХ ЗАХОДІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

1. Аналіз сучасних тенденцій декарбонізації економіки та природоохоронних технологій України і світу

Декарбонізація – це не примха, а критично важливе питання для виживання людства. Глобальна зміна клімату є найбільш епохальним викликом, що стоїть перед людством у довгостроковій перспективі і вимагає невідкладних дій. Водночас, зміна клімату є одним з головних викликів екологічній безпеці. Більш точне визначення декарбонізації – це комплекс заходів, методів і сучасних технологій, спрямованих на зниження темпів глобального потепління. Її основами є: 1) обмеження видобутку та використання вуглецевмісної сировини; 2) скорочення викидів парникових газів (в основному CO₂, CO та парів H₂O) в атмосферу. Відповідно до Паризької угоди (2015), Україна взяла на себе зобов'язання скоротити викиди парникових газів на 40% (55% за останніми даними) до 2030 року порівняно з доіндустріальним (тобто 1990 року) рівнем. Однак великий шлях країни до повної декарбонізації лише розпочався і затримується війною. Декарбонізація енергетичного сектору та економіки в цілому – це шлях до порятунку людства та екосистем. Людство поставило перед собою завдання досягти цього до 2050 року. Інакше - кліматична катастрофа неминуча. Водночас, останні десятиліття були найтеплішими в історії людства. Арктичний крижаний покрив скорочується, а підвищення температури атмосфери приблизно на 2°C призводить до підвищення рівня моря більш ніж на шість метрів, тоді як масштабні пожежі, повені, посухи, урагани і цунамі з кожним роком стають все частішими. Водночас, зменшується біорізноманіття (у 1950-60 роках з планети зникав один вид тварин чи рослин на рік, а сьогодні – більше одного виду щодня). Океани нагріваються і задихаються від нафти та пластикових відходів. На жаль, цей список екологічних загроз нескінченний. Тому у людства немає іншого вибору, окрім як обрати шлях розвитку, який не

передбачає викидів вуглецю. Іншими словами, альтернативи декарбонізації та екомодернізації економіки немає [13-22].

Проблема полягає в тому, що зміни клімату, спричинені антропогенною та техногенною діяльністю людини, набувають глобального і незворотного характеру, загрожуючи навіть виживанню живих систем. Тому декарбонізація енергетичного сектору зокрема та економіки в цілому є єдиним шляхом для людства в найближчому майбутньому. Водночас, декарбонізація ЄС, України та глобального енергетичного сектору є очевидно складним завданням. Європа має стати кліматично нейтральним континентом до 2050 року. Згідно з численними науковими дослідженнями та публікаціями вчених з усього світу, для цього в найближчому майбутньому знадобиться щонайменше 1 трильйон євро. Однак, незважаючи на те, що до 2027 року країнам, які працюють над декарбонізацією, буде виділено близько 100 мільярдів євро, більшість країн не готові до радикальної зміни традиційних технологій. При цьому, наприклад, Україна та Польща не повністю готові до такого переходу. Ні США, ні Китай, ні росія не мають наміру поспішати з доленосним для планети і людства рішенням. Однак це має бути зроблено відповідно до Європейського зеленого курсу, Метанової стратегії Єврокомісії, Паризької угоди (2015), Кліматичного саміту в Глазго (2021) та багатьох інших фундаментальних угод і документів з цього складного питання. Зокрема, ЄС планує запровадити податок на викиди та закрити понад 70% вугільних електростанцій до 2040 року. Наразі податок на викиди становить близько 2 доларів США за тону викидів CO₂; до 2030 року ця цифра може зрости до 75 доларів США.

Зелений курс ЄС також передбачає перехід до безвуглецевої економіки до 2050 року шляхом заміни енергетичних систем, що працюють на викопному паливі, на відновлювані джерела енергії [21].

Збільшення викидів парникових газів призведе до стиснення та ущільнення стратосфери. У той же час, тропосфера, тобто нижній шар атмосфери, швидко нагрівається. Тропосфера розширюється, в той час як стратосфера охолоджується і стискається. В результаті тропосферний шар перемістився на

більші висоти, а товщина стратосфери зменшилася на 400 м за останні 40 років. Водночас, природний газ є ефективною альтернативою вугіллю та нафті, хоча він ще не увійшов до пріоритетів декарбонізації. Однак для прискорення переходу до «зеленої» енергетики необхідна державна підтримка відновлюваних джерел енергії. Існує також нагальна потреба в технологічних інноваціях, у тому числі в екологічному секторі.

Таким чином, декарбонізація, екологізація та екомодернізація економіки є нагальною потребою людства. Тому необхідно повністю відмовитися від вугільної енергетики та розвивати інші джерела енергії. До певної міри цього можна досягти за допомогою торгівлі квотами на викиди та інших економічних заходів. У Німеччині, наприклад, понад 40% заходів зі стимулювання енергетики спрямовані на підтримку сонячної та вітрової енергетики, виробництва водню та електромобілів. Водночас ключовими важелями для сталого розвитку ресурсо- та енергоефективності сьогодні є діджиталізація та декарбонізація [22].

Відомо, що парникові гази – це гази, молекули яких містять атоми двох або більше різних елементів. Підвищення концентрації парникових газів призводить до глобального потепління. Це означає, що якщо, наприклад, збільшиться виробництво H_2 , то відповідно збільшиться викид H_2O , який також є парниковим газом. Доведено, що водяна пара має навіть більший вплив на парниковий ефект, ніж CO_2 . Це означає, що разом з іншими парниковими газами викиди водяної пари необхідно контролювати: до засобів запобігання викидам пари H_2O відносяться, наприклад, конденсація на холодних стінках градирень і пов'язаних з ними агрегатів, охолодження в ставках, водосховищах і озерах тощо. У той же час, слід заохочувати технології, спрямовані на скорочення викидів парів H_2O , а також CO , CO_2 , CH_4 і т.п.

Як зазначалося вище, на викопне паливо припадає понад 70% викидів парникових газів. Водночас, вітрова енергія та сонячні панелі все більше конкурують з нафтою, газом і вугіллям, але потребують систем накопичення та зберігання енергії, а також довгих мереж електропередач. Альтернативами є електромобілі, відновлення лісів (як поглинач CO_2), відповідні зміни в

екологічному законодавстві, оподаткування повітряних та інших викидів, відмова від фінансування викопного палива. Також необхідним є впровадження новітніх технологій для видалення CO₂ з атмосфери Землі.

Таким чином, траєкторія глобальних викидів парникових газів має утримувати глобальне потепління нижче 1,5-2°C. Відповідні резолюції ООН рекомендують країнам стабілізувати концентрацію парникових газів в атмосфері на такому рівні, щоб екосистеми могли природним чином адаптуватися до зміни клімату, виробництво продуктів харчування не було під загрозою, а економічний розвиток був стійким і збалансованим. Це також передбачено нормативно-правовою базою ЄС щодо управління викидами вуглецю. Сьогодні людська діяльність додає CO₂ в атмосферу швидше, ніж природні процеси можуть його переробити або поглинути. Для стабілізації екологічної ситуації на Землі необхідно скоротити антропогенні викиди, зокрема: CO₂, CO, H₂O, CH₄, N_xO_y тощо. Якщо викиди залишаться на нинішньому рівні, тобто близько 42 гігатонн CO₂, вуглецевий «бюджет» для обмеження зростання температури на 1,5°C може бути вичерпаний до 2028 року, і в такій ситуації підвищення температури продовжиться до 2050 року. Хоча положення Кіотського протоколу дещо зменшили антропогенні викиди парникових газів, процес торгівлі квотами на викиди все ще триває. На додаток до вищезгаданих, парникові гази включають сажу і пил, озон, фторовані гази, хлоровані гази, сірководень, SO₂, гідрофторвуглеводні і перфторуглеводні. В результаті цих величезних антропогенних і техногенних викидів в атмосферу океани і ліси не здатні повністю поглинати парникові гази, і третина антропогенних парникових газів поглинається океаном, що викликає підкислення морської води за рахунок вугільної кислоти, накопичення токсинів, і в кінцевому підсумку морським екосистемам, рослинам і тваринам, диханню риб, розвитку личинок тощо, буде завдано непоправної шкоди. Водночас відомо, що відбувається і зворотний процес: CO₂ + H₂O = H₂CO₃. Джерелами викидів CO₂ є металургія, хімічна промисловість, сільське господарство, виробництво цементу, вирубка лісів, лісові пожежі (близько 7 гігатонн CO₂), вулкани та спалювання (наприклад, факели).

Джерелами CO_2 є металургія, хімічна промисловість, сільське господарство, виробництво цементу, вирубка лісів, лісові пожежі (близько 7 гігатонн CO_2), вулкани, факели (наприклад, при видобутку нафти) та теплові електростанції.

Джерелами метану CH_4 є викопне паливо (33%), відходи тваринництва (21%), стічні води (21%), вирощування рису (анаеробне розкладання органічних речовин), танення вічної мерзлоти, болота та біологічні резервуари на очисних спорудах.

Джерелами оксидів азоту (NO , N_2O , NO_2 , N_2O_3 , N_2O_5) є сільське господарство, транспорт і хімічна промисловість, зокрема виробництво аміаку та мінеральних добрив.

Джерелами оксиду вуглецю CO є неповне згоряння палива в хімічній промисловості, виробництво графітових електродів, теплові електростанції, печі та котли.

Короткострокові прогнози свідчать, що викиди парникових газів зростатимуть, і до кінця 21-го століття і середня температура може підвищитися на $4\text{--}5^\circ\text{C}$, якщо тільки температура тропосфери не перевищить рівень початку 19-го століття більш, ніж на 1°C . Це призведе до запуску механізму, що призведе до зміни клімату, і який, у свою чергу, призведе до зростання температури. Це запустить потужний механізм танення льодовиків, що, в свою чергу, призведе до подальшого експоненціального збільшення викидів парникових газів (особливо водяної пари). Це так звана концепція «незворотної зміни клімату», «кліматичного вибуху», «кліматичної дивергенції» або «кліматичного колапсу», яка унеможливило зупинення незворотної деградації екосистем і самого людства. Це песимістичний сценарій страждань для людства і всіх живих організмів на високочутливій і термодинамічно обмеженій планеті Земля. Однак, такий чорний або пекельний сценарій цілком можливий, якщо людина не повернеться до природи обличчям вже сьогодні. На жаль, це не безнадійна ситуація, хоча вчені всього світу, спираючись на експериментально доведені факти, стверджують, що вона, на жаль, стає такою [12].

Водночас, в рамках ефективної кліматичної політики енергетичний та транспортний сектори можуть забезпечити пропорційне скорочення викидів вуглецю. При цьому на транспортний сектор припадає близько $\frac{1}{4}$ світових викидів парникових газів. Скасування субсидій на викопні види палива є ще одним ефективним заходом для

пом'якшення наслідків зміни клімату. Заміна дизельних і бензинових двигунів внутрішнього згоряння на електромобілі – це не лише один із потенційних шляхів скорочення викидів, а й зменшення кількості людських та інших екологічних захворювань.

Варто додати, що світовий попит на первинну енергію у 2018 році становив приблизно 16132 ТВт.год, і перехід на відновлювані джерела енергії (ВДЕ) може зменшити попит на первинну енергію. З одного боку, існують такі питання, як ефективне накопичення та зберігання всіх видів енергії та забезпечення енергетичної щільності акумуляторів. Відтак, ціна фотоелектричних модулів впала на 80% з 2010 року, а ціна вітрових турбін – на 30-40%. Однак темпи розгортання відновлюваної енергетики мають зрости вшестеро, щоб людство мало шанс обмежити зміни температури атмосфери до менш ніж 2°C. У 2022 році потужність вітроенергетики встановлена на рівні 750 ГВт. Водночас, як відомо, ядерна енергетика має серйозні обмеження з точки зору екологічних ризиків, які можуть переважити переваги (наприклад, епохальні та жахливі аварії на Чорнобильській АЕС, АЕС Фукусіма тощо). Окрім потенційної небезпеки ядерних аварій, існує також проблема поводження з радіоактивними відходами. Слід зазначити, однак, що громадська думка щодо ядерної енергетики в різних країнах відрізняється. Ще однією проблемою атомних електростанцій є те, що вони неухильно старіють і потребують закриття. Це особливо актуально для України та колишніх радянських республік, де все ще використовуються застарілі реактори, термін експлуатації яких явно вийшов за межі їх корисного використання [13]. Водночас проблема зберігання енергії може бути частково вирішена за рахунок гідроакумуляуючих електростанцій (ГАЕС), стисненого повітря, виробництва водню, літій-іонних акумуляторів та інших сучасних інноваційних технологічних рішень.

Іншим аспектом безвуглецевої глобальної економіки є декарбонізація транспорту: очікується, що до 2050 року три чверті транспортних засобів будуть електричними; декарбонізація повітряного транспорту до 2050 року, очевидно, буде складною через низьку ефективність водню порівняно з авіаційним паливом, яка становить близько 30%.

Теплові насоси, які можуть скоротити викиди CO₂ на 8-10%, є ще одним способом декарбонізації. Енергозбереження – ще один важливий захід для уповільнення зміни

клімату. Крім того, зміна способу життя людей може бути досягнута шляхом зменшення опалення будівель, переходу на велосипеди, вживання рослинної їжі, прання одягу в холодній воді, модернізації або заміни лампочок на енергозберігаючі, повторного використання або заборони поліетиленових пакетів, зміни індивідуальних національних та етнічних дієт, зменшення споживання м'яса (вегетаріанські дієти) та інші економічно ефективні та екологічно чисті технології.

Необхідний також швидкий розвиток кліматично-дружнього відновлювального сільського господарства. Слід також перейти на використання залізничного та річкового транспорту, який є більш ефективним, ніж автомобільний і, особливо, повітряний транспорт.

Це включає скорочення відстаней, заохочення використання громадського транспорту замість приватних автомобілів, покращення пішохідних та велосипедних доріжок, утеплення будівель та зменшення тепловтрат, використання білих дахів із сонячними панелями, де це можливо, та зменшення використання кондиціонерів.

Запровадження персональних квот і персональних вуглецевих кредитів також є виправданим (наприклад, пенсіонери рідше літають, тому вони можуть продавати свої квоти для оплати опалення тощо).

Більша кількість населення має сильніший вплив на глобальне потепління, оскільки збільшує виробництво продуктів харчування та одягу, що, в свою чергу, збільшує викиди парникових газів та забруднення біосфери.

Варто зазначити, що більшість величезних промислових підприємств України були побудовані та експлуатувалися за часів Радянського Союзу, коли енергозбереження було другорядним питанням. Як наслідок, важка (і легка теж) промисловість, включаючи велике виробництво, металургію та теплові електростанції, є лідером за викидами парникових газів. Прикладами є довоєнний Маріупольський металургійний комбінат, Азовсталь, Бурштинська, Курахівська, Запорізька та Ладжинська ТЕС. Вугільна енергетика становить майже 40% в енергетичному балансі України. Енергоємність ВВП України вдвічі перевищує середньосвітовий показник; лише у 2018 році втрати України через неефективність підприємств склали близько 1,5 млрд доларів США, що еквівалентно сумі, запозиченій у МВФ. Одним із способів стимулювання промисловості

до скорочення викидів могло б стати запровадження повноцінного податку на викиди парникових газів. Середній світовий показник становить близько 30 євро за тону CO_2 . У деяких країнах він становить 80 євро, а в інших, таких як Швеція, сягає 147 євро. Крім того, викиди CO_2 на тону виробництва сталі становлять 1,3 тону. Однак ЄС має на меті знизити цей показник до 80-320 кг на тону сталі до 2050 року. Крім того, ЄС планує запровадити податок на «прикордонне вуглецеве коригування», що може мати значний вплив на Україну, особливо в металургійній та інших галузях промисловості.

Ще одним аспектом декарбонізації є вуглецева нейтральність, або «нульові відходи». Щоб досягти цього рівня, видобуток вугілля, нафти та газу має скорочуватися приблизно на 6% на рік. Навпаки, більшість країн збільшують видобуток викопного палива більш, ніж на 2% щорічно. Усі країни (понад 110) планують досягти вуглецевої нейтральності до 2050 року, а Китай має намір зробити це до 2060 року. Водночас, перехід на чисту енергетику лише до 2030 року створить понад 18 мільйонів робочих місць.

Настав час встановити ціну (податок) на викиди вуглецю і покласти край будівництву нових вуглецевих ТЕС, а також субсидіям і кредитам на таку екологічно шкідливу енергетику. Слід створити пільгові кредити для заохочення бізнесу, орієнтованого на декарбонізацію. Для людей дешевше будувати нові електростанції, ніж експлуатувати застарілі вугільні електростанції.

З 2023 року в ЄС набудуть чинності так звані вуглецеві правила, які збільшать податки на продукцію, виготовлену з вуглецевмісної сировини, та стягуватимуть кошти для додаткового фінансування процесу декарбонізації. Однак декарбонізація не вигідна росії, яка не хоче втрачати ринок вуглецевмісної сировини, оскільки до 2030 року вона може втратити понад 15 мільярдів доларів США, наприклад, оскільки росія експортує нафту, газ і вугілля і більше половини її бюджету надходить від продажу цих вуглецевмісних продуктів. Тому з їхніми ненаситними імперськими амбіціями та інтересами ці держави вже зараз є проблемою для людства в процесі повної декарбонізації всіх національних економік [22].

Варто додати, що негативний вплив CH_4 на клімат у 26-28 разів вищий, ніж CO_2 . Тому вже сьогодні потрібно працювати над технологіями уловлювання та

зберігання вуглецевих сполук. Сучасні технології є дуже дорогими та капіталомісткими, адже уловлювання однієї тонни CO_2 коштує 160-170 доларів США. Однак, наприклад, уловлений CO_2 можна закачувати у родовище і зберігати під землею. Також можна перетворити CO_2 на сухий лід. Наприклад, нагріваючи сухий лід (надкритичну рідину) з розплавленою сіллю, можна запуснути турбіну і змусити її обертатися. Такі надсучасні технології з використанням вуглекислого газу розроблені в багатьох країнах, в тому числі і в ЄС.

На жаль, пандемія COVID-19 та зміна клімату принесли людству нову реальність. Як наслідок, ми більше не живемо так, як жили раніше. Водночас «зелену» трансформацію світової економіки не зупинити.

До 2020 року викопне паливо становитиме 37% енергопостачання ЄС, тоді як відновлювана енергія – 38%. «Зелена» електроенергія є необхідною умовою для виробництва “зеленої” сталі та інших продуктів. Податки на викиди вуглецю та схеми торгівлі квотами на викиди є одним з інструментів заохочення декарбонізації. Іншим стимулом є державне фінансування та підтримка безвуглецевих технологій, наприклад, у формі кредитів, грантів, компенсацій та податкових пільг ЄС планує витратити понад 800 млрд євро на декарбонізацію до 2030 року (рис. 1.1 та 1.2).

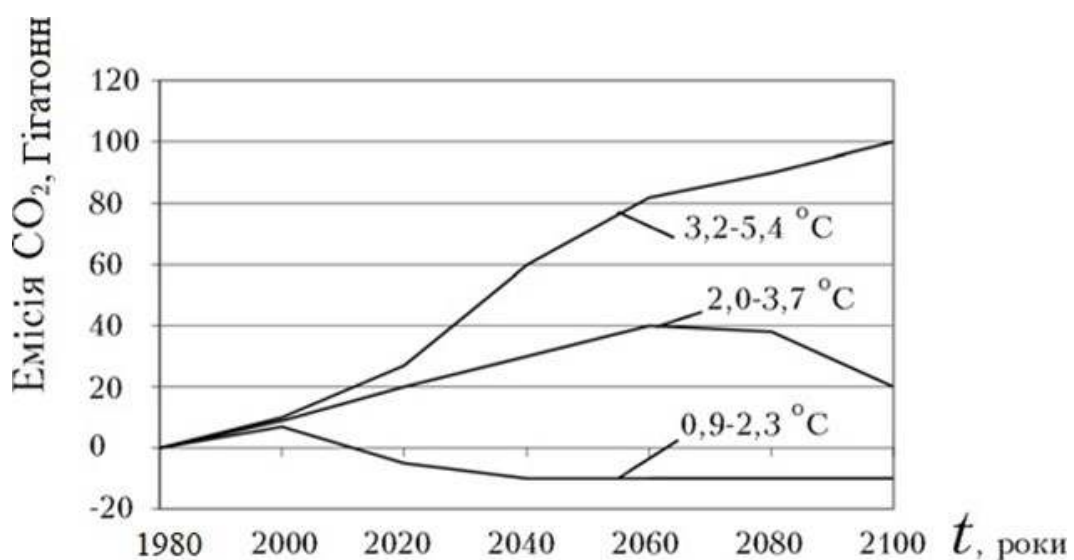


Рисунок 1.1 – Можливі температурні сценарії емісії парникових газів

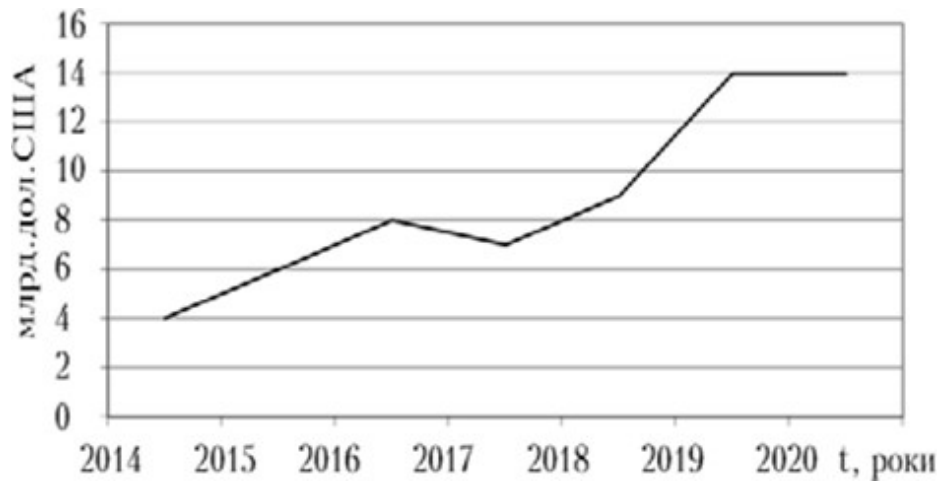


Рисунок 1.2 – Інвестиції у ВДЕ

Водночас, для досягнення цілей декарбонізації необхідне прозоре ринкове середовище для інвестицій та розвитку. Бізнес і держава повинні бути союзниками в процесі декарбонізації.

Варто зазначити, що Китай та Індія значно збільшили свої викиди парникових газів з 1990 року (Китай – у 4,2 рази, Індія – у 4,1 рази). Однак більшість країн скоротили свої викиди парникових газів. Канада та ЄС також закріпили вуглецеву нейтральність на законодавчому рівні; ЄС вже надав «зелену карту» для переходу до зеленої економіки. Раніше ЄС планував скоротити викиди CO₂ на 40% до 2030 року, але скоригував ціль до 55%. В рамках цього плану передбачена торгівля квотами на викиди. Так, на початку 2021 року тонна CO₂ коштуватиме 40 євро (30 євро у 2020 році), а у 2030 році зросте до 100 євро. Загальний обсяг інвестицій у розвідку та видобуток нафти і газу у 2020 році склав 328 млрд доларів США, що на 32% менше, ніж у 2019 році. У Європі попит на електричні та гібридні транспортні засоби зріс на 137%. Водночас, вартість сонячних фотоелектричних та літій-іонних батарей значно знизилася за останнє десятиліття (рис. 1.3, 1.4 [21]).

У той же час, на нинішньому етапі розвитку людства зусилля і субсидії в боротьбі за поліпшення клімату недостатньо ефективні, особливо для економік, які тільки починають розвиватися або страждають від військових конфліктів.

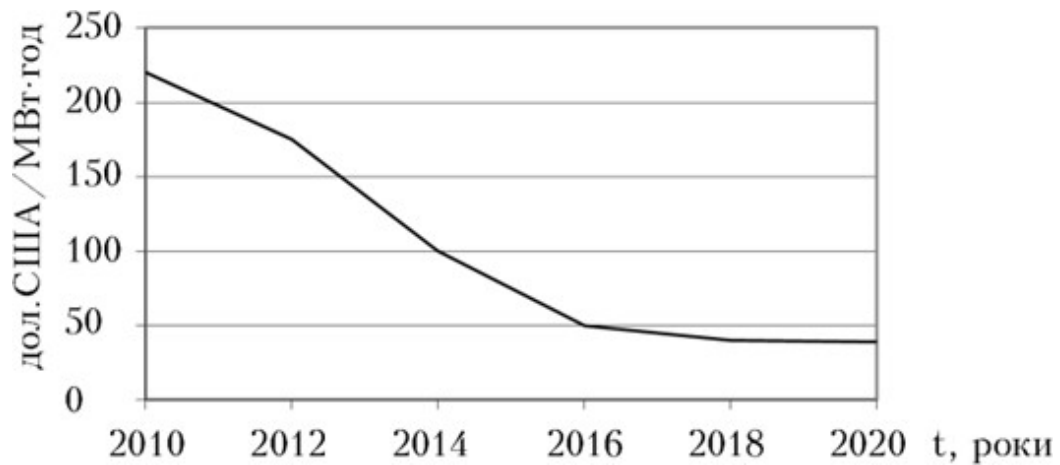


Рисунок 1.3 – Вартість сонячної генерації

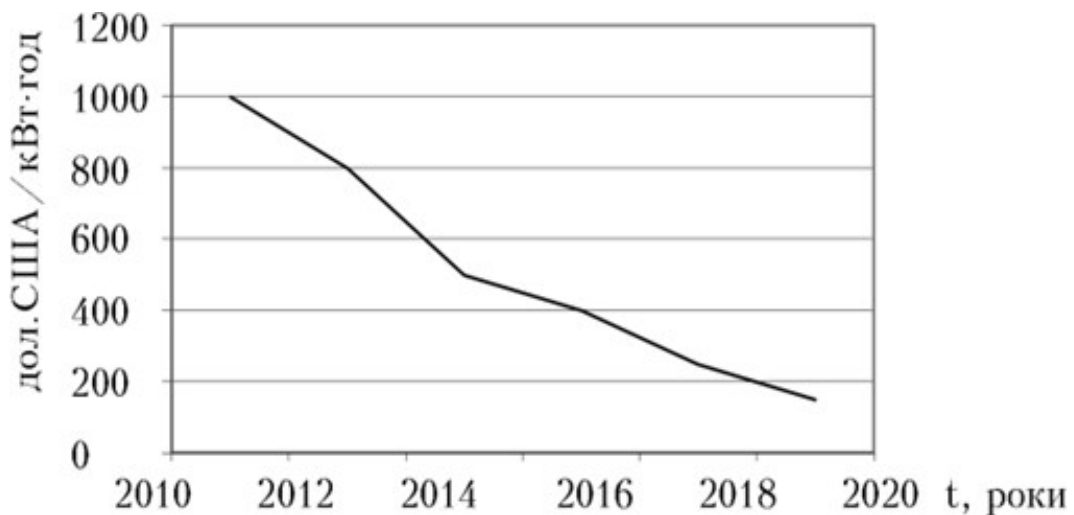


Рисунок 1.4 – Вартість літій-іонних батарей

З початку пандемії, на жаль для України, державна підтримка в галузі декарбонізації, підвищення енергоефективності та природоохоронних заходів скоротилася, а підтримка викопного палива також зросла. Все це суперечить світовим тенденціям. І навпаки, інші розвинені країни збільшують фінансування заходів по боротьбі зі зміною клімату. Таким чином, Україна стикається з серйозними викликами, пов'язаними з необхідністю модернізації виробництва для забезпечення власного конкурентоспроможного майбутнього [14-16].

Додамо, що за останній час кліматична політика пройшла 5 етапів: 1) 40

років тому – усвідомлення проблем науковим співтовариством; 2) перехід від наукових питань до політичних аспектів; 3) створення інституційних платформ; 4) Кіотський протокол; 5) Паризька угода 2015 року [20].

Незважаючи на слабкі зусилля людства, з 1990 року (так званий доіндустріальний рівень) по 2020 рік температура атмосфери підвищилася приблизно на 1,2°C. Найбільшими джерелами викидів на сьогоднішній день є Китай, Індія, США, ЄС, Японія і росія (для останньої в основному це пов'язано з глобальними пожежами в Сибіру, таненням вічної мерзлоти через викид метану, газовими факелами і т.д.). Загальна частка викидів у цих країнах становить понад 60%. На сьогоднішній день понад 65 держав, які виділяють понад 90% парникових газів, здійснюють заходи з декарбонізації. У той же час, декарбонізація – це зменшення впливу на навколишнє середовище, яке надає кожен продукт або послуга. Зусилля по обезвуглеводненню в Україні оцінюються середнім рівнем зусиль. Дуже низький рівень реагування на зміну клімату характерний для таких держав, як Сполучені Штати, Канада, Австралія і особливо Російська Федерація. Високий – для Норвегії, Швеції, Фінляндії, Сполученого Королівства, Індії, Чилі, країн Балтії, Марокко. У Великобританії вже оголошена стратегія NetZero щодо досягнення вуглецевої нейтральності до 2050 року. У 2020-11 роках Сполучені Штати вийшли з Паризької кліматичної угоди, а в 2021-11 роках президент Байден підписав указ про повернення до своєї попередньої обіцянки скоротити викиди парникових газів до нуля до 2050 року.

В результаті світ прагне відмовитися від використання вугілля, нафти і газу, а боротьба з глобальною зміною клімату стала свого роду мейнстрімом в більшості розвинених країн. У той же час політика декарбонізації зміцнить економіку країни, поліпшить якість життя людей, зробить навколишнє середовище чистішим і призведе до стабілізації клімату на Землі. Глобальне потепління визнано однією з головних проблем людства, тому вже зараз ми говоримо про кліматичну мобілізацію у всіх країнах.¹ водночас Україні та ЄС необхідно об'єднати зусилля для повної декарбонізації та екомоделі своєї економіки [2,3,5,13-22].

1.2 Ефективність інноваційних енергозберігаючих технологій та природоохоронних заходів в об'єктах соціальної інфраструктури

В останні роки низка українських міст, зокрема Київ, Харків, Львів, Тернопіль, Чернівці та Харків, приєдналися до ініціативи «Мери за клімат та енергетику», яка вимагає від муніципальної влади вжити заходів для значного скорочення викидів парникових газів на 30 % до 2030 року. Досягнення цього результату вимагатиме нової стратегії використання та розвитку муніципальних енергетичних систем. Ця стратегія дозволить підвищити екологічну безпеку котелень і теплоелектростанцій шляхом впровадження інноваційних, високоефективних енергозберігаючих, екологічно чистих і економічно вигідних технологій. Стратегія повинна враховувати наступні проблеми української економіки, саме: застарілі технології та обладнання для виробництва теплової енергії, енергоємність та матеріальні витрати яких у два-три рази вищі, ніж у розвинених країнах, відсутність сучасної системи охорони навколишнього середовища, відсутність належних правових та економічних механізмів стимулювання розвитку екологічно чистих технологій та методів захисту довкілля. Водночас, стимулювання ефективного споживання теплової енергії споживачами дозволить зменшити споживання ресурсів у комунальних теплових мережах, що призведе до зменшення забруднення навколишнього середовища та викидів парникових газів.

Актуальним науковим завданням, що стоїть сьогодні перед муніципальним сектором економіки, є збільшення обсягу інформації про те, як оцінити ефективність енергозберігаючих заходів у сфері теплопостачання та теплоспоживання. Для вирішення цієї проблеми необхідно розглядати ефективність досліджуваних заходів як комплексну величину, що враховує енергетичний, екологічний та економічний ефект від їх впровадження.

Взаємодія між енергетикою та навколишнім середовищем в останні роки стала більш небезпечною. Спалювання палива та теплові електростанції постійно загострюють екологічні проблеми, спричинені застарілими

виробничими процесами, головним чином через викиди токсичних речовин, таких як оксиди азоту та сірки, парникових газів, таких як CO₂ та CO, та хімічне забруднення навколишнього середовища через викиди золи та сажі. Зростаючий антропогенний тиск на довкілля та загострення цих проблем екологічної безпеки вимагають термінової зміни екологічної політики та сталого розвитку довкілля, енергетики та економіки в майбутньому. Вирішення цієї проблеми можливе шляхом чіткої оптимізації структури енергетичного балансу країни, в якому найбільша частка має припадати на екологічно чисті джерела енергії з відновлюваних джерел.

Сьогодні на традиційні джерела енергії припадає щонайменше 30 % викидів в атмосферу. Із загального обсягу викидів близько 30 % становлять тверді речовини, понад 60 % - діоксид сірки та близько 55 % - оксиди азоту. У цьому контексті важливо інтегрувати місцеву енергетику та навколишнє середовище, тісно пов'язуючи екологічні аспекти енергетики з енергетичними аспектами навколишнього середовища. Така інтеграція відповідає концепції сталого (збалансованого) розвитку суспільства, головна мета якого базується на гармонійному та узгодженому вирішенні проблем економічного розвитку, охорони довкілля та раціонального використання і відтворення природно-ресурсного потенціалу Землі, забезпечення високої якості життя нинішнього і майбутніх поколінь. Згідно з аналізом Стратегії розвитку енергетичного сектору ЄС, відносна частка таких видів палива, як нафта та тверде паливо, в енергетичному балансі первинних джерел енергії зменшиться на 0,4% (з 35,7% до 35,3%) та 0,6% (з 17,4% до 16%) у період з 2020 по 2030 роки відповідно. З іншого боку, частка природного газу залишиться незмінною на рівні 25,7%, а частка відновлюваних джерел енергії зросте на 2,1% (з 9,9% до 12,0%). Таким чином, внесок традиційних джерел енергії в енергетичний баланс буде зменшуватися з кожним роком, що призведе до зростання витрат, тоді як відновлюваних джерел енергії – навпаки, суттєво зростатиме. У зв'язку з виснаженням світових запасів нафти і газу та забрудненням навколишнього середовища, спричиненим спалюванням твердого палива, одним з

найперспективніших напрямків енергозбереження є використання сонячної енергії. Технологією сонячної енергетики, що найбільше відповідає потребам муніципалітетів, є сонячний нагрів води. Національна енергетична стратегія України до 2030 року передбачає поступове збільшення обладнання для сонячних систем гарячого водопостачання та опалення, заплановано встановлення близько 2 млн м² сонячних теплових колекторів. Досвід експлуатації таких систем показує, що 1 м² сонячних колекторів за оптимальних умов експлуатації дозволяє заощадити 0,1-0,15 т умовного палива в літній період. Крім того, широкомасштабне використання сонячних систем в Україні до 2030 року може заощадити до 200 000 тонн традиційного палива в рамках прийнятої стратегії розвитку енергетичного сектору[44-56].

1.3 Аналіз інноваційних технологій сонячної генерації в контексті декарбонізації повоевної економіки України

Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) є одним з найважливіших елементів у забезпеченні декарбонізації економіки та всіх сфер людської діяльності. Серед них виділяються фотовольтаїка та сонячна енергетика. Сонце та сонячна енергія є основою життя та довгостроковим, невичерпним, безпечним та екологічно чистим джерелом енергії для людства. Сонячна енергія поширюється переважно у вигляді тепла (інфрачервоний спектр) і світла (видимі довжини хвиль). Сонячна енергія генерується в результаті злиття ядер водню (дейтерію і тритію) з важкими ядрами гелію, в результаті чого виділяється дуже великий потік енергії 7 MeV на нуклон через втрату маси. Потік сонячної енергії становить 3,9-1026 Вт, з яких близько 1,7-1017 Вт досягає Землі. Щодня Сонце випромінює на Землю 960 мільярдів кВт-год вільної енергії. Ця кількість енергії теоретично може задовольнити енергетичні потреби людства протягом тривалого часу. Декарбонізація означає обмеження видобутку вуглецевмісних матеріалів і природних ресурсів та скорочення викидів парникових газів, включаючи вуглець і сажу. Альтернативою цьому є повне розгортання відновлюваних джерел

енергії, насамперед сонячних електростанцій. Основою фотовольтаїки є монокристалічний кремній, також існує полікристалічний та аморфний кремній. Проаналізовано також нові напівпровідникові композиції, які є менш дорогими, але проблематичними для впровадження в промислових масштабах. Зроблено висновок, що економіка післявоєнної України має відновлюватися лише в контексті технологій екологічної декарбонізації, а також комплексного розвитку індивідуальних сонячних електростанцій та інших відновлюваних джерел енергії [40-43].

Сонячна енергія значною мірою визначає і контролює клімат і погоду, є ключовим компонентом фотосинтезу і тому має фундаментальне значення для екологічного життя на Землі. Повний діапазон довжин хвиль сонячного випромінювання (99,9%) знаходиться переважно в діапазоні 150-4000 нм. Ультрафіолетова складова, особливо спектральні максимуми близько 200-300 нм, значною мірою поглинається озоном на висоті 15-30 км (максимум 20-25 км) над поверхнею Землі. Водночас, людство має на озброєнні Сонце як необмежене джерело енергії і як природний матеріал для реалізації фотоелектричних технологій. По-перше, йдеться про кремній (силіцій) як унікальний напівпровідниковий матеріал, який містить близько 30 % сполук земної кори (кварц, пісок, кремнезем, силікати та багато інших кремнійвмісних сполук). Також на основі сучасних нанотехнологій та новітніх розробок і матеріалів, особливо вирощування матеріалів на основі сполук не менш унікального хімічного елемента вуглецю (карбону), а саме графену, карбінів, фулеренів, нанотрубок, нанокілець та інших модифікацій, людство зможе генерувати чисту енергію. Є сподівання, що вищезгадані проблеми, пов'язані з цим, незабаром будуть вирішені.

Як відомо, територія України поділяється на чотири кліматичні зони з різною сонячною радіацією за енергетичним потенціалом: південний Крим та Одеська область – зона I, 1350 кВт/м² на рік; південний схід України, де зараз ведуться військові дії та окупована терористичною державою – зона II, 1250 кВт/м²; північні та центральні регіони – зона IV, 1050 кВт/м² на рік; і, нарешті,

південний захід України, переважно Карпати та Закарпаття – зона III, 1150 кВт/м² на рік. Південна частина Вінницької області також належить до II-III кліматичних зон. Розподіл річної сонячної радіації по місяцях показано на рис. 1.5. Густина позаземної сонячної радіації становить близько 1,35 кВт/м², а максимальна інтенсивність сонячної радіації біля поверхні Землі – близько 1 кВт/м², але це протягом декількох годин у літні дні. Середня інтенсивність сонячної радіації на Землі становить 200-250 Вт/м². Річне сонячне випромінювання в Україні оцінюється в 7,2 10¹⁴ кВт-год, що еквівалентно 88,4 млрд т умовного палива. Для Вінницької області це еквівалентно 37 10⁹ тоннам умовного палива: інфрачервоне випромінювання ~46%, ультрафіолетове ~9%, видиме ~45%, дуже мала кількість гамма-випромінювання (~0,01-1 нм), рентгенівське випромінювання (~1-100 нм), «довгі хвилі» в сантиметрах, дециметрах, метрах і кілометрах.

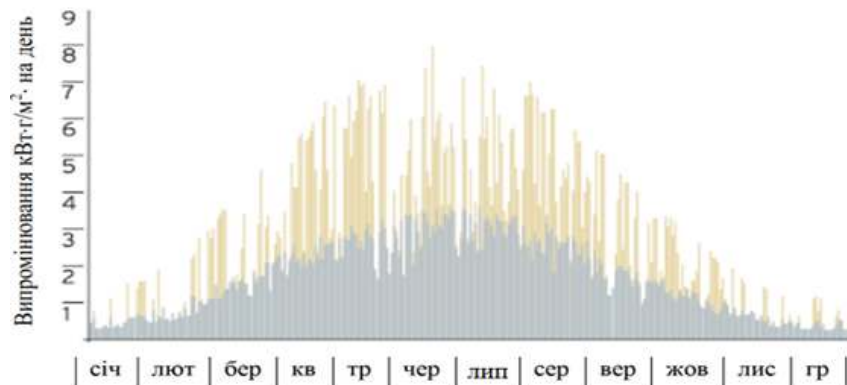


Рисунок 1.5 – Річний розподіл сонячного випромінювання за місяцями (суцільнесіре тло – розсіяне випромінювання, переривчатий спектр – пряме випромінювання)

Як видно з цього рисунку, звичайно, саме в яскраві літні дні сонячна радіація є максимальною [69].

Водночас, за даними українського Національного агентства з енергоефективності та енергозбереження, частка відновлюваної енергетики в загальному енергобалансі нашої країни за останні 10-15 років зростає вдвічі і

становить близько 10-13% у різних секторах економіки. При цьому обсяг електроенергії, виробленої сонячними електростанціями (СЕС), за цей період збільшився на порядок, перевищивши 1 ТВт-год (рис. 1.6), а кількість встановлених СЕС, у тому числі тих, що працюють за «зеленим» тарифом з 2010 року, зростає з сотень до тисяч. Особливо це стосується домогосподарств, де цей показник також збільшився приблизно на порядок.

Основним стимулом для стрімкого розвитку відновлюваної енергетики в Україні став так званий «зелений тариф» на електроенергію, вироблену з альтернативних джерел. Зелений тариф – це державний закупівельний тариф, за яким держава купує електроенергію за вищою ціною у приватних осіб та організацій, що використовують альтернативні джерела енергії (18,09 євроцентів за кВт-год для сонячної енергії та 16,26 євроцентів за кВт-год для вітрової енергії). Цей захід допоміг Україні увійти до топ-10 країн світу з розвитку відновлюваних джерел енергії у 2019 році та до п'ятірки країн Європи з розвитку сонячної енергетики у 2020 році. Україна також досягла значних успіхів в інших рейтингових системах: за даними НКРЕКП, на кінець 2021 року встановлена потужність сектору відновлюваної енергетики України склала 9,7 ГВт, включаючи сонячні фотоелектричні системи для домогосподарств [64-70].

За даними Української асоціації сонячної енергетики, за останні роки попит на домашні автономні сонячні електростанції зріс більш ніж удесятеро, а на промислові установки – у чотири-п'ять разів. Наразі найпопулярнішим типом сонячної електростанції є автономна сонячна електростанція з акумуляторними батареями, що дозволяє використовувати сонячну енергію навіть у нічний час [63].

Сонячна енергія може бути перетворена в електрику двома способами:

- Фотоелектричні методи: перетворюють інфрачервоне та видиме електромагнітне випромінювання Сонця в електрику постійного струму;
- Термодинамічні методи використовують концентровану сонячну енергію для вироблення тепла і пари, які можуть бути використані для обертання турбогенераторів та для вироблення постійного і змінного струму або для опалення і гарячого водопостачання.

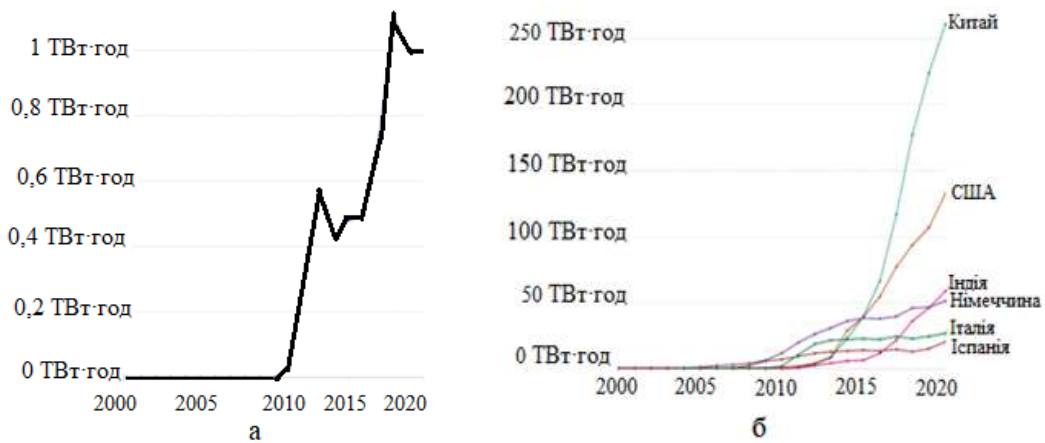


Рисунок 1.6 – Динаміка виробленої електроенергії СЕС Україною (а) та іншими країнами світу (б)

Фотоелектричні методи забезпечуються фотоелектричними елементами (ФЕП), сонячними батареями (СБ) або фотоелектричними елементами (ФЕ). В результаті сонячні елементи виробляють електроенергію пропорційно інтенсивності сонячного випромінювання. Таке виробництво електроенергії можливе завдяки напівпровідниковим перетворювачам з селективною спектральною чутливістю, що ґрунтується на фотоєфекті n - p переходу, а точніше – на затворному фотоєфекті. Більшість сонячних елементів (90-95%) виготовляються на основі полікристалічного, аморфного або монокристалічного кремнію (переважно методом екстракції з розплаву Чохральського) з ефективністю близько 15-20%. Каскадні сонячні елементи та сонячні елементи на основі арсеніду галію в деяких випадках можуть досягати ефективності 30-35%. У той же час, сонячні елементи, зібрані з декількох сонячних елементів, з'єднаних паралельно або послідовно, називаються сонячними батареями або сонячними панелями. При їх виготовленні використовується прогресивна планарна технологія, яка передбачає p - n -переходи, що утворюють пари електронів і дірок в приповерхневих шарах напівпровідникових структур на основі акцепторних і донорних домішок. При цьому збуджені фотонами електрони рекомбінують з дірками і переходять у зону провідності, долаючи ширину забороненої зони. Дірки залишаються у валентній зоні. В результаті такі

p-p переходи створюють різницю потенціалів на межі між двома різнойменно зарядженими областями, що призводить до виникнення електрорушійної сили на зовнішньому електроді і протікання постійного струму через опір навантаження або зовнішнє джерело споживання у вигляді акумулятора, генератора, освітлювального приладу і т.д.

Так перетворюється енергія квантів світла у електричну енергію (рис.1.7).

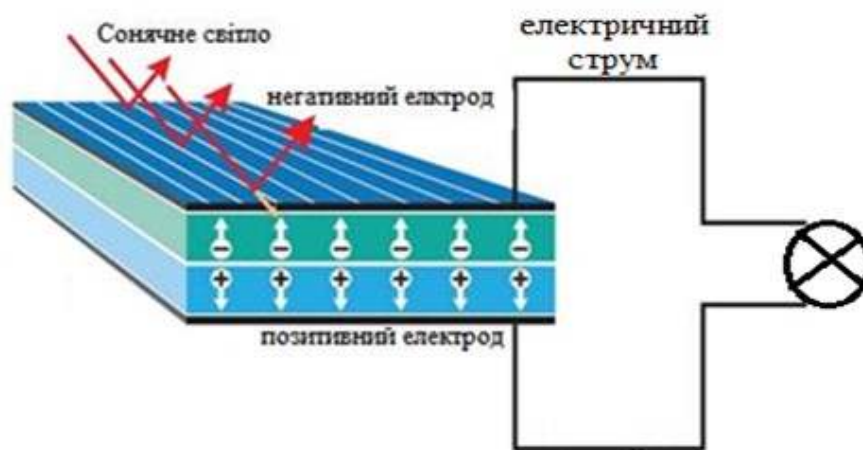


Рисунок 1.7 – Принципова схема перетворення сонячного світла в постійний електричний струм

Далі, електрична енергія з відновлюваних джерел (вітер, геотермальна енергія, сонячна енергія, біогаз і т.д.) поступає на контролер, який перерозподіляє постійний струм на батарею або інвертор, який, відповідно до заданої програми, перетворює постійний струм в змінний і потім подає споживачеві або в електромережу, (рис.1.8).

Термодинамічні методи реалізовані в сонячних колекторах – пристроях для збору енергії як у видимому, так і в інфрачервоному спектрі. Різновидом сонячного колектора є сонячний водонагрівач для виробництва гарячої води.

На сучасному етапі розвитку сонячних елементів зростає попит на тонкоплівкові, відносно недорогі гнучкі сонячні елементи і сонячні панелі – фотоелектричні пристрої з напівпровідниковими шарами, напиленими на тонкі

підкладки (загальна товщина шару, що генерує струм, становить близько 1 або декількох мікрон). На початку розвитку тонкоплівкової технології роль таких шарів виконував аморфний кремній.



Рисунок 1.8 – Загальна схема сонячної генерації

Основними недоліками таких структур є їх низька ефективність (3-10%) і короткий термін служби. Але є й переваги, такі як мобільність, здатність змінювати форму (гнучкість), невелика вага та покращена ефективність у похмурі дні. Тому, на відміну від сонячних елементів першого покоління, тонкоплівкові панелі сьогодні виготовляються з декількох шарів фотоелементів, наприклад, з телуриду кадмію (CdTe), селеніду міді (CuSe), індію-галію (InGa) та арсеніду галію (GaAs). Найбільший інтерес представляють фотоелектричні перетворювачі, наприклад, на основі перовскіту (CaTiO_3) та новітніх нанотехнологій. Водночас, технологія виробництва таких багатошарових, багатокаскадних, бінарних та нестехіометричних сумішей в композитах з полімерами є надзвичайно складним завданням для реалізації, особливо в промислових масштабах.

Провідними країнами-лідерами сонячної енергетики є: Китай, Індія, США та країни ЄС, які постійно збільшують як темпи зростання, так і кількість встановлених відновлюваних джерел енергії, але переважно сонячних електростанцій та вітрових електростанцій. Зіткнувшись з військовими

загрозами, особливо з боку росії, держави-агресора і терориста, яка загрожує людству не лише ядерною зброєю, а й викопними вуглецевими ресурсами, цивілізований світ зосереджується на відновленні своїх природних енергетичних ресурсів. Останніми роками ці країни збільшили розгортання, зокрема, термодинамічних баштових сонячних електростанцій, сонячних електростанцій з модульними параболічними концентраторами, дзеркально-параболічних сонячних електростанцій з двигунами Стірлінга, сучасних одновісних еліптичних геліостатів та інших інноваційних екологічних та енергоефективних технологій. У будь-якому випадку, тенденція зростання фотовольтаїки є незворотною, як у світі, так і особливо в Україні. При цьому головним завданням науковців є не лише підвищення ефективності сонячних панелей (як і інших відновлюваних джерел енергії) шляхом розробки та впровадження більш ефективних первинних перетворювачів світла в електрику, а й спрощення технології, зменшення енергоспоживання та підвищення доступності.

Таким чином, післявоєнна економіка України має будуватися насамперед на відновлюваних джерелах енергії та екоенергоефективних технологіях для декарбонізації та зеленої трансформації. І в ситуації, коли терористична держава росія захопила Запорізьку АЕС, зруйнувала Каховську ГЕС та знищила майже всю інфраструктуру теплових електростанцій України, наша країна повинна не тільки встановлювати великі СЕС, оскільки вони можуть бути зруйновані, а натомість встановлювати малі СЕС на кожному окремому будинку. На часі – встановлення сонячних панелей з невеликими модулями потужністю від одного до декількох кВт на дахах індивідуальних домогосподарств. Це забезпечить певну енергетичну самодостатність споживачів і дозволить українцям пережити цю війну, в тому числі енергетичну [41-43, 63-70].

1.3.1 Розвиток сонячних теплових електростанцій

Відомо, що в середньому близько 1200 кВт-год/м² території України має річну інтенсивність сонячного випромінювання, що достатньо для будівництва потужної сонячної електростанції (СЕС) у південній частині держави. Такий

рівень інтенсивності сонячного випромінювання може забезпечити до 500-600 кВт-год/м² річного виробництва електроенергії для національної економіки України, а використання лише близько 0,1% земельної площі країни для СЕС збільшить потужність цих станцій до величини, що значно перевищує загальну встановлену потужність існуючих вітчизняних електростанцій, що працюють на органічному паливі. В даний час найбільш поширеними є наступні три типи СЕС: 1) баштові електростанції: з центральним теплоприймачем і парогенератором, теплоприймальні поверхні яких концентрують сонячне випромінювання від плоского дзеркала-геліостата; 2) електростанції модульного типу, що складаються з повторюваних конструктивних елементів-модулів, що включають однотипні концентратори сонячної радіації і приймачі, які приймають сконцентрований струм енергії сонячної радіації; 3) комбіновані сонячно-теплові електростанції, тобто коли баштова або модульна частина електростанції поєднується з тепловою електростанцією (ТЕС).

Замість звичайних баштових або модульних СЕС набагато економічніше будувати і експлуатувати електростанції комбінованого циклу, де сонячні модулі електростанції поєднуються з тепловими модулями, що працюють на органічному паливі (вугілля, газ і т.д.) або з гідроенергетичними модулями, які є гідроакумулюючими електростанціями (ГАЕС).

1.3.2 Особливості комбінованих електростанцій з модулем баштового типу

Баштові сонячні електростанції складаються з центрального приймача сонячного випромінювання, встановленого на вежі електростанції, і ряду дзеркал (геліостатів) навколо нього. Кожне з цих дзеркал має окремий пристрій орієнтації для відображення сонячної енергії безпосередньо на сонячний приймач. Станція працює наступним чином. Геліостати безперервно відстежують рух сонця по небу і відбивають його промені на рефлектори на вежі. Сонячні промені потрапляють на воду і перетворюють її на пару, яка подається на парову турбіну, з'єднану з генератором. Одним з видів баштових сонячних

електростанцій є такі, де центральний приймач і котел розташовані нижче рівня землі, а не над вежею.

Основні переваги баштових електростанцій полягають у наступному.

- Зберігання та розподіл енергії;
- Високий коефіцієнт перетворення сонячної енергії;
- Потенційно нижчі капітальні та експлуатаційні витрати, оскільки немає необхідності прокладати довгі трубопроводи або з'єднувачі, як у випадку з параболічними баштами.

Основні недоліки баштових сонячних електростанцій:

- Вищі витрати на будівництво і, як наслідок, вищі витрати на виробництво електроенергії.

1.3.3 Комбіновані електростанції з параболічними жолобами та дисками

Параболічний жолоб складається з довгого ряду маточин, що мають кривизну тільки в 1 жолобі. Такий жолоб можна назвати параболічним циліндричним концентратором, оскільки він має форму, утворену параболою, що рухається паралельно самій собі. Жолоб прикріплений до одновісної системи, яка стежить за сонцем уздовж лінії схід-захід. Їх світловідбиваючі поверхні фокусують сонячну енергію на трубках, розташованих на центральній лінії жолоба. Рідина з підвищеною теплоємністю циркулює по трубці і потім подається в центральний радіатор. У свою чергу, тепло передається робочому тілу (воді), яке перетворюється в пар, що приводить в обертання звичайну парову турбіну. Замість жолоба також можна використовувати параболічний диск, кожен з яких складається з параболічного точкового концентратора сонячного випромінювання, що складається з десятків вигнутих світловідбиваючих панелей зі скла або багат шарової плівки, які можуть направляти сонячні промені у фокусну точку на приймач. Такий концентратор кріпиться до основи, в якому використовується двовісна система стеження за сонячними променями. Система концентраторів концентрує сонячне випромінювання на приймачі і

нагріває рідину, яка використовується встановленим там тепловим датчиком або передається в центральний котел.

1.4 Теплові насоси у енергозабезпеченні інфраструктурних об'єктів

Теплові насоси займають особливе місце серед відновлюваних джерел енергії. На відміну від вітрових, сонячних, припливних електростанцій та інших відновлюваних джерел енергії, її електроенергія широко використовується в різних виробничих процесах, але теплові насоси в основному призначені для забезпечення автономного опалення будинків, гарячого водопостачання. Він також підтримує комфортну температуру будинку в будь-який час року [11, 60-63]. Але, незважаючи на це, здавалося б, скромне застосування, енергія, що виробляється тепловим насосом, в 1,5 рази дешевше енергії, одержуваної з димових газів, і в 3-4 рази дешевше електроенергії, тому перспективи подальшого використання таких насосів дійсно вражають. Крім того, тепловий насос більш екологічний, компактний, пожежобезпечний і практично не вимагає технічного обслуговування, а термін його служби становить не менше 15-25 років.

Тому на початку 70-х років минулого століття, коли вибухнула світова енергетична криза, теплові насоси широко використовувалися в розвинених країнах для скорочення використання газу для потреб опалення, про масштаби масового використання теплових насосів свідчить хоча б цей факт. Загалом, сьогодні у світі налічується понад 200 мільйонів теплових насосів потужністю від кількох кіловат до кількох сотень мегават, і лише в США щороку експлуатується понад 100 мільйонів.

1.4.1 Принцип дії теплових насосів та їх технічні характеристики

Принцип роботи теплового насоса схожий на принцип роботи звичайного холодильника. Однак, на відміну від холодильника, де тепло передається зсередини до радіатора, де воно розсіюється, в тепловому насосі тепло передається від землі, води або повітря до системи опалення. Іншими словами,

теплові насоси – це, по суті, «протилежність холодильника». Ідея теплового насоса була запропонована британським фізиком лордом Кельвіном у 1852 році. Це пов'язано з тим, що тепловий насос – це термодинамічний агрегат, який здійснює зворотний термодинамічний цикл, в якому робоче тіло забирає тепло з холодного середовища і передає його гарячому теплоносію за рахунок енергії, спожитої в циклі. Теплові насоси почали масово використовуватися в останній чверті минулого століття, що було пов'язано зі світовою енергетичною кризою.

Розглянемо основний принцип роботи теплового насоса. Теплові насоси призначені для отримання теплової енергії з поверхні землі, зі свердловин, виритих у землі, або з водойм, таких як озера, річки або море (море найчастіше використовується як водойма при встановленні теплових насосів великої потужності, особливо в скандинавських країнах).

Принцип роботи теплового насоса схематично показаний на рисунку 1.9.

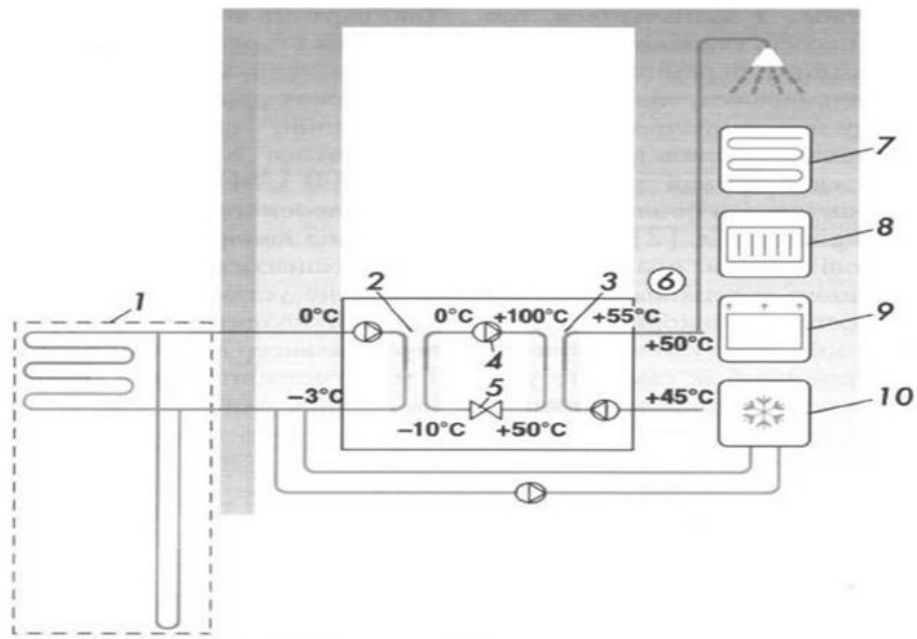


Рисунок 1.9 – Принцип дії теплового насосу:

1 – контур заземлення, 2 – випарник, 3 – конденсатор, 4 – компресор для підвищення тиску, 5 – дросельний клапан для зниження тиску, 6 – система опалення або підігріву води, 7 – тепла підлога, 8 – радіатор, 9 конвектори, 10 – радіатори охолодження.

Як показано на рис. 1.9, холодоагент знаходиться у вигляді циркулюючої/незамерзаючої рідини в ґрунтовому контурі, під тиском він надходить у випарник 2 через капілярний отвір, і випаровування відбувається через різкого перепаду тиску. У цьому випадку холодоагент відводить тепло від внутрішньої стінки випарника 2, який потім відводить тепло від контуру заземлення 1, в результаті чого він постійно охолоджується. Компресор 4 всмоктує холодоагент з випарника 2 і стискає його, в результаті чого підвищується його температура, і виштовхує його в конденсатор 3, який є ланкою тепловиділення теплового насоса. Крім того, в конденсатор 3, холодоагент нагрівається від стиснення випускає тепло, отримане при температурі близько $+100^{\circ}\text{C}$ до опалювального контуру, і остаточно переходить в рідкий стан, після чого цикл повторюється і досягає заданої температури, терморегулятор розмикає електричний ланцюг і компресор 4. Якщо температура в опалювальному контурі знижується, термостат знову включає компресор. В результаті холодоагент в тепловому насосі здійснює зворотний цикл Карно. У той же час, наприклад, влітку холод ґрунтового контуру при температурі близько $+10^{\circ}\text{C}$ можна використовувати для охолодження приміщень.

Таким чином, тепловий насос перекачує низькопотенційну теплову енергію з ґрунту, води або повітря у відносно високопотенційне тепло, яке використовується для обігріву об'єкта. Особливістю такої теплопередачі є те, що в той же час приблизно до $2/3$ теплової енергії, що подається на опалення, може бути отримано з навколишнього середовища безкоштовно – з ґрунту, води і повітря, і тільки $1/3$ енергії, яка повинна бути спожита для роботи самого теплового насоса. Таким чином, за допомогою теплового насоса ви можете заощадити близько 70% коштів, які регулярно витрачаються на вугілля, дизельне паливо або електроенергію, якби використовувалися традиційні методи опалення.

Таким чином, витрачаючи близько $1 \text{ кВт}\cdot\text{год}$ електроенергії на роботу приводу теплового насоса, ви можете отримати в $3-4$ рази більше теплової енергії, в залежності від режиму роботи і умов експлуатації. Відношення

теплової енергії, що виробляється тепловим насосом, до електроенергії, що витрачається на роботу його приводу, є показником ефективності теплового насоса – коефіцієнтом перетворення (conversion factor). Чим більше різниця, тим менше цей коефіцієнт. Технічні характеристики найбільш ефективних типів теплових насосів, в тому числі шведського теплового насоса IVT, представленого на українському ринку, наведені в додатку в таблиці 1.6.

Ще більш ефективним, ніж тепловий насос моделі IVT Greenline, є насос з повітряним теплообмінником марки Fwt495twin, який використовується не тільки для обробки ґрунту і резервуарів, але і для осушення систем вентиляції.

Технічні характеристики теплових насосів з повітряними теплообмінниками марки IVT495TWIN наведені у додатку, в таблиці 1.7.

У джерелі представлений загальний вигляд деяких сучасних моделей теплових насосів виробництва шведської компанії IVT, яка має представництво в Україні.

1.4.2 Основні переваги теплових насосів та деякі їх недоліки

Технічні характеристики сучасних теплових насосів описані в таблиці А.3 додатку. Як показано на рис. 9, ці теплові установки, що поєднують опалювальні котли, джерела гарячого водопостачання та кондиціонери, дозволяють найбільш ефективно використовувати відновлювану низькотемпературну енергію навколишнього середовища для опалення домашніх господарств і підігріву води і засвідчують, що вони споживають лише невелику кількість до 20...30% енергії (зазвичай, електроенергія) для роботи компресора і отримувати назад до 70...80% теплової енергії безкоштовно.

Однак, для його розміщення потрібна велика площа. У той же час, вартість установки повітряного теплового насоса практично така ж, як і вартість установки звичайного котла, хоча він менш ефективний, ніж тепловий насос, який використовує тепло ґрунту.

Слід зазначити, що в Україні інвестиції в системи опалення та гарячого водопостачання з використанням теплових насосів окупляться протягом 4-9

років, при нинішніх відносно низьких цінах на газ для населення, а термін окупності теплових насосів значно скоротиться, враховуючи, що ціни на газ для населення України зберуться без збільшення.

1.4.3 Порівняння річних витрат на обігрівання житла електронагрівачем і тепловим насосом

Порівняємо річні витрати на опалення квартири площею 100 м² за допомогою електричних опалювальних приладів (електричних котлів, масляних радіаторів та обігрівачів) і теплових насосів. Для порівняння будуть використані дані про середньомісячну температуру для кожного з восьми місяців опалювального сезону, кількість тепла, необхідного для обігріву квартири, та електроенергії, спожитої приводом теплового насоса Nordic Inverter FR-N. Відтак, протягом опалювального сезону (жовтень-травень) квартира площею 100 м² потребує:

- 1) 37 440 кВт електроенергії – якщо для опалення використовуються електричні нагрівачі;
- 2) 12 024 кВт – якщо для опалення використовується тепловий насос. При поточному тарифі на електроенергію для домогосподарств в Україні 0,2436 грн. за кВт, річна економія на опаленні квартири площею 100 м² становитиме 6191 грн.

1.4.4 Перспективи застосування теплових насосів у закладах освіти та інших об'єктах соціальної інфраструктури

Безсумнівні переваги систем теплових насосів призвели до їх широкого використання в технологічно розвинених країнах. Мета полягає не в локальному або обмеженому використанні теплопостачання за допомогою теплових насосів, а в тому, щоб уникнути, наскільки це можливо, прямого спалювання викопного палива для отримання теплової енергії. Таким чином, застосування теплових насосів є дійсно безмежним. На рис. 1.10 показано схему опалення будь-якого інфраструктурного об'єкта, включаючи будівлі та навчальні приміщення, шляхом перекачування теплової енергії з води.

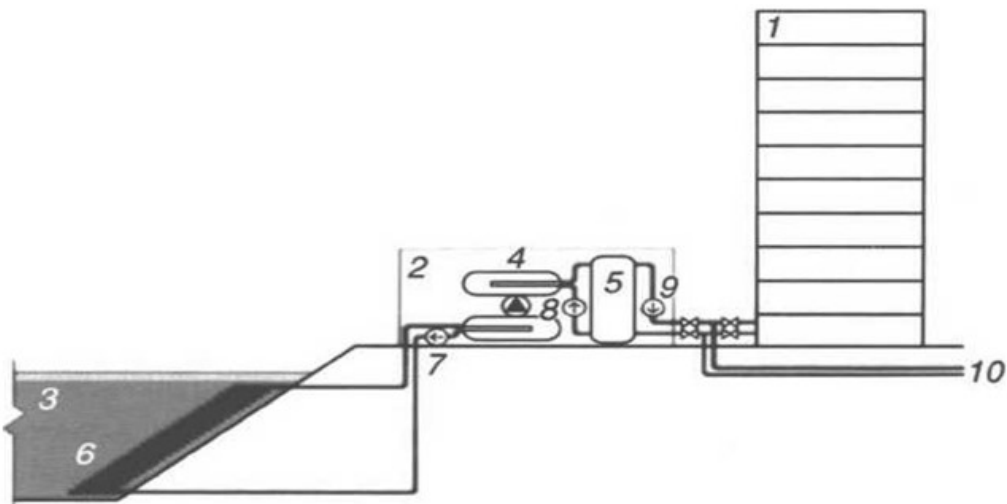


Рисунок 1.10 – Схема перекачування низькопотенціальної теплової енергії річкової води у відносно високопотенціальне тепло для гарячого водопостачання і опалення приміщень:

1 – приміщення (корпус) закладу соціальної інфраструктури; 2 – прибудоване технічне приміщення для теплового насоса та іншого обладнання; 3 – ріка; 4 – тепловий насос типу «гліколь-вода»; 5 – ємкість; 6 – занурений у воді ріки теплообмінник у вигляді полімерних трубопроводів, на зовнішній поверхні яких взимку намоорожується лід; 7,8 і 9 – насоси випарника, конденсатора і теплопостачання відповідно; 10 – існуюча тепла мережа.

За розрахунками «Енергомінімуму», модернізація шкільних будівель потребуватиме інвестицій у розмірі близько 190 000 доларів США та дозволить заощадити 1900 Гкал теплової енергії на рік. Період окупності проекту оцінюється в кілька років. Варто ще раз зазначити, що використання теплових насосів є дуже перспективним. У Швеції теплові насоси вже забезпечують 50% опалення в різних будівлях і спорудах. У США, де кількість теплових насосів, що експлуатуються, щороку збільшується приблизно на мільйон, федеральний закон вимагає використання теплових насосів в системах опалення громадських будівель.

Україна також розробила програму збільшення виробництва тепла за допомогою теплових насосів, яке, як очікується, збільшиться в 100 разів до 2030

року. Незабаром до цієї програми можуть бути внесені зміни в напрямку значного збільшення виробництва тепла тепловими насосами за коротший період часу. Водночас, використання теплових насосів в Україні є особливо перспективним в Криму, де джерелом тепла може слугувати Чорне море, та в Донецькій області, де налічується, серед інших, понад 1200 териконів.

1.5 Перспективні технології перетворення геотермальної енергії в електроенергію

В даний час, у зв'язку зі стрімким виснаженням запасів вуглеводородних мінералів і загрозою радіоактивного забруднення, а також загрозою парникового ефекту атмосфери Землі, розвиток технологій практичного застосування різних поновлюваних джерел енергії, таких як сонячна енергія, енергія вітру, енергія припливів і відливної енергії морів і океанів, енергія біомаси, і т.д., привертає все більше і більше уваги. При цьому геотермальна енергія займає важливе місце серед відновлюваних джерел енергії, і технологія її перетворення в ефективну електроенергію постійно вдосконалюється.

1.5.1 Загальна характеристика геотермальних ресурсів

Через вулканічну активність, радіоактивний розпад, тектонічні рухи та наявність значної частини магми в земній корі значна частина земної поверхні має величезні запаси геотермальної енергії. Її кількість тільки в верхньому шарі землі становить близько 3 кілометрів, що дозволяє розглядати земне тепло як реальну альтернативу органічному паливу. Відповідно до класифікації Міжнародного енергетичного агентства, геотермальні джерела енергії діляться на наступні 5 типів: 1) Поклади сухого геотермального пара; 2) Джерело вологої пари, що представляє собою суміш теплої води і пара; 3) Поклади геотермальної води; 4) Сухі і гарячі породи, нагріті магмою (на глибині більше 2 км); 5) Магма-це розплавлена гірська порода, нагріта до 1300°C і більше.

Практичний досвід, накопичений у кожній країні в області ефективного використання геотермальної енергії, полягає в основному у використанні природного пара і гідротермальних джерел (парових гідротермальних джерел), які є найбільш реалістичними основами геотермальної енергетики. Однак масштабним розвитком в майбутньому стане використання теплової енергії гірських порід з температурою 3-5 км на глибині 100 і навіть на глибині 100 км вище 1300-1500°C.

Про практично невичерпний глобальний потенціал геотермальної енергії свідчать дані про потенціал різних видів джерел геотермальної енергії нашої планети, отримані Всесвітньою асоціацією і групою експертів з питань геотермальної енергетики (таблиці А4 і А5 в додатку).

На жаль, незважаючи на те, що світовий рівень впровадження геотермальної енергетики дуже високий, глобальний потенціал геотермальної енергетики використовується не в повній мірі, але встановлена потужність GeoTES збільшилася за останні приблизно 40 років.

1.5.2 Основні переваги геотермальної енергії

Незважаючи на уявну простоту отримання перегрітої води і пари з геотермальної енергії та подальшого перетворення теплової енергії цієї води і пари в електричну за допомогою турбіни і підключеного до неї турбогенератора, технічна реалізація цього способу виробництва електроенергії є досить складною науково-технічною проблемою.

Основна перевага геотермальної енергії полягає в тому, що її можна використовувати у вигляді геотермальної води (або суміші води і пари, залежно від температури) для постачання гарячої води і тепла, а також для виробництва електроенергії, незалежно від умов навколишнього середовища, часу доби або року. Більше того, ця енергія є практично невичерпною. Тому використання геотермальної енергії (разом з іншими екологічно чистими відновлюваними джерелами енергії) може зробити значний внесок у вирішення наступних актуальних проблем: 1) забезпечення сталого тепло- та електропостачання

населення в районах, де централізоване енергопостачання відсутнє або є дуже дорогим; 2) гарантувати мінімальне енергозабезпечення населення та запобігти втратам через аварійні або обмежені відключення електроенергії в районах, де централізоване енергопостачання є ненадійним через дефіцит потужності в електромережі; 3) зменшити технічне навантаження в окремих районах зі складними екологічними умовами за рахунок скорочення шкідливих викидів від електростанцій, що працюють на викопному паливі.

1.5.3 Основні недоліки геотермальної енергії

1. Середня щільність глибинного теплового потоку занадто мала, приблизно в 3500 разів перевищує середню щільність сонячного випромінювання і становить всього $0,06 \text{ Вт/м}^2$, що значно здорожує витягування тепла з надр землі.

2. Для отримання теплової енергії з надр землі необхідно використовувати зворотне закачування стічних вод в підземні водоносні горизонти, що здорожує отримання тепла через високу вартість буріння свердловин і необхідності зворотного закачування відпрацьованої геотермальної води.

3. Висока мінералізація гарячої води в більшості донних відкладень, а також наявність у воді токсичних сполук і металів призводить до необхідності створення дорогих корозійностійких термічних пристроїв і будівництва штучних систем водопостачання для видалення сольового конденсату.

1.5.4 Перспективи подальшого розвитку геотермальної електроенергетики

Прикладом сталого розвитку геотермальної енергетики є країни ЄС, які проводять цілеспрямовану та скоординовану національну політику, спрямовану на суттєве скорочення викидів парникових газів за рахунок збільшення частки екологічно чистої відновлюваної енергетики (у тому числі геотермальної) у загальному енергоспоживанні.

Потенційні геотермальні джерела енергії в Україні в основному зосереджені в північних і центральних регіонах, з відносно низькотемпературним (до 100°C)

теплом сухих гірських порід на глибині до 5 км, а також в Криму, Закарпатській, Харківській і Полтавській областях, з дещо вищою температурою (до 120°C) теплом на глибині до 3000 м водяне тепло. Значні запаси геотермальних вод на глибині 2 км з температурою 100-150°C виявлені в Яворівському та Мостиському районах Львівської області. За оцінками експертів, лише цих запасів термальної води можна було б використати для будівництва геотермальної електростанції загальною потужністю близько 200 МВт.

На жаль, величезний геотермальний потенціал України практично не використовується, окремі геотермальні котельні працюють лише в Криму та Закарпатті, але перспективи для розвитку є, особливо після війни [9, 57-59].

1.6 Вітрова генерація у комунальній енергетиці та соціальних інфраструктурних об'єктах України і світу

Серед відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) фотоелектрика та вітроенергетика є одними з найбільших. Вітроенергетика – це галузь відновлюваної енергетики, яка використовує кінетичну енергію вітру. Вона почалася з винайдення вітрила приблизно в 5 тисячолітті до н.е., за яким послідував винахід вітряка давньогрецьким вченим Героном Олександрійським. З тих пір, і особливо сьогодні, енергія вітру широко використовується для виробництва електроенергії. Ефективною вважається швидкість вітру 5-12 м/с і швидкість вітру приблизно 15-45 (іноді 65) км/год. Німеччина та країни Північної Європи лідирують у світі у використанні енергії вітру. Лише в Німеччині встановлено понад 10 000 вітрових турбін загальною потужністю понад 7 ГВт. У Данії приблизно 5 % виробленої енергії припадає на вітер. Зрозуміло, що країни Північної Європи (особливо Великобританія, Данія, Нідерланди та Швеція) мають високий вітроенергетичний потенціал, який подекуди на порядок вищий, ніж у решті світу. Так, до 2020 року тільки в ЄС буде кілька сотень ГВт встановлених вітроенергетичних потужностей. Така ж ситуація спостерігається в США, Китаї та інших країнах. У той же час, промислова вітроенергетика в Україні почалася з Новоазовської ВЕС (1996 рік,

проектна потужність 50 МВт). Згодом були введені в експлуатацію й інші вітчизняні вітроелектростанції. В результаті було налагоджено виробництво вітротурбін, зокрема на Південмаші, і Україна активно використовує імпортні вітротурбіни. На відміну від сонячних електростанцій, вітрової енергії недостатньо для задоволення енергетичних потреб більшості країн, враховуючи її ефективність і частоту. Сьогодні в більшості випадків використовуються механічні лопаті (турбіни) з валами, розташованими горизонтально до напрямку вітру. Рідше використовуються конструкції з вертикальним розташуванням валів. Коефіцієнт корисної дії перших становить 45-48%. Це означає, що, наприклад, вітрогенератор з довжиною лопаті 10 м при швидкості вітру 10 м/с може мати потужність на валу до 85 кВт. Однак на сьогодні існує багато технологій і типів механізмів для перетворення ВДЕ в ЕЕ, включаючи крильчасті (пропелерні), карусельні, роторні та барабанні та ін. При цьому морські ВЕС мають високий ККД (40-50%), тоді як наземні ВЕС – 25-30%.

Таким чином, світова вітроенергетика зростає вражаючими темпами: з 7,5 МВт у 1997 році до понад 750 МВт у 2022-2023 роках.

1.6.1. Недоліки вітроелектростанцій

Оскільки вітер дме нестабільно, генератори працюватимуть нестабільно і нерегулярно. Однак для вирівнювання поточної потужності, зазвичай, використовують акумулятори. Тому вітрові електростанції не можуть бути єдиним надійним джерелом енергії, а лише додатковим. Вони також виробляють низькочастотний шум, який може бути шкідливим для телевізійних і радіосигналів, а також для людей і тварин, особливо птахів. Крім того, технологія виробництва легких, але міцних лопатей зі скла або вуглецевого волокна є складною і дорогою.

1.6.2. Перспективи розвитку вітроенергетики в Україні

Загальна вітроенергетична потужність в країні перевищує 5 ГВт. В основному вона зосереджена вздовж узбережжя Чорного моря, а до війни –

вздовж Азовського узбережжя та на Кримському півострові. Вітроелектростанції також будуються в Карпатах. До російського вторгнення встановлена потужність вітрових електростанцій в Україні перевищувала 2 ГВт, але сьогодні майже половина з них розташована на територіях, окупованих внаслідок рашистської агресії.

Нещодавно (24.08.13) Уряд затвердив Національний план з ВДЕ, який передбачає досягнення 24 ГВт до 2030 року і збільшення частки ВДЕ в загальному кінцевому енергоспоживанні до 27%: вітрові електростанції – 6,1 ГВт, сонячні електростанції – 12,2 ГВт, біоенергетичні комплекси понад 1 млн кВт, геотермальних систем 400 000 кВт та гідроенергетики 4,7 млн кВт.

Однак, навіть у воєнний час вітроенергетика є конкурентоспроможною серед усіх наявних енерготехнологічних рішень. Слід також пам'ятати, що сонячна енергетика ефективна влітку і в теплу пору року і не замінює вітрову взимку, коли дмуть сильні вітри. Водночас ВЕС і СЕС не тільки промислового масштабу, а і індивідуальні вітрогенератори та сонячні панелі потужністю від одного до кількох кіловат необхідно активно розвивати в приватному секторі, муніципальному секторі та на об'єктах соціальної інфраструктури, де сконцентровано багато потенційних можливостей – на значних площах невикористовуваних дахів і присадибних ділянок [76-80].

Таким чином, на основі ретельного аналізу літературних джерел та патентів сучасного стану проблеми констатується гостра необхідність підвищення ефективності декарбонізації об'єктів соціальної інфраструктури методом раціонального впровадження інноваційних природоохоронних технологій і розв'язання нижчезазначених відповідних завдань, які розв'язуються в дисертації (рис. 1.11):

- 1) аналіз прогресивного досвіду використання та систематизація природоохоронних технологій, що підвищують ефективність декарбонізації урбанізованих територій;

- 2) створення методу раціонального впровадження природоохоронних технологій (РВПТ) на об'єктах соціальної інфраструктури;

- 3) розробка та верифікація методики багатокритеріальної оцінки ефективності ресурсо- та енергоощадних технологій;

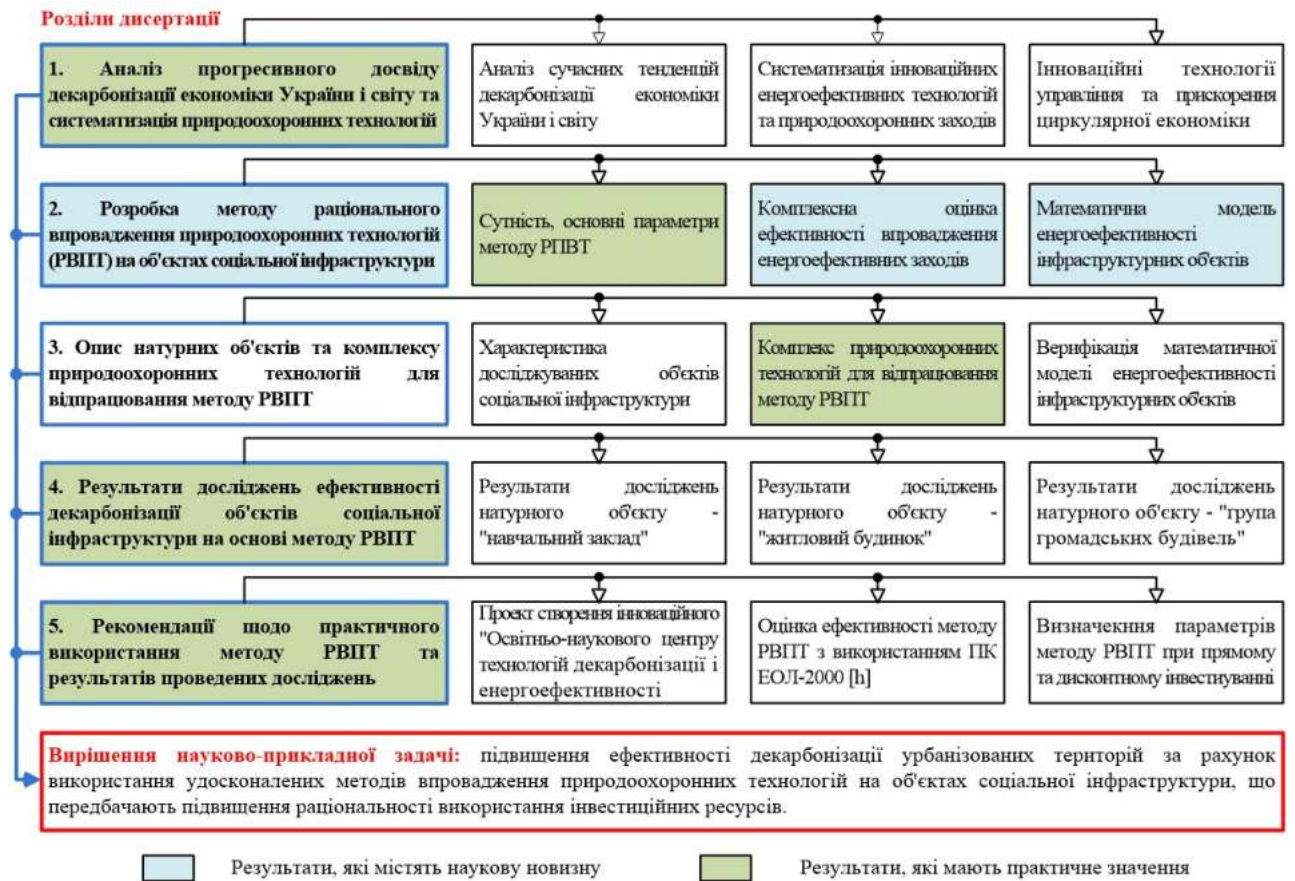


Рисунок 1.11 – Структура дисертаційного дослідження

- 4) створення математичної моделі енергоефективності систем теплопостачання та теплозабезпечення інфраструктурних об'єктів;
- 5) вибір натурних об'єктів соціальної інфраструктури та природоохоронних технологій для відпрацювання методу РВПТ;
- 6) дослідження ефективності реалізації методу РВПТ на інфраструктурних об'єктах різних типів: будівлях навчальних закладів, житлових будинках, групі громадських будівель;
- 7) розробка рекомендацій щодо практичного використання методу РВПТ та результатів досліджень.

Висновки до розділу 1

Отже, в першому розділі здійснено аналіз сучасного стану декарбонізації економіки України і світу в контексті інноваційних природоохоронних заходів та технологій. В результаті констатується:

1. Гостра необхідність декарбонізації економіки України на основі інноваційних природоохоронних технологій. При цьому світ спрямований на відмову від використання вугілля, нафти і газу, а боротьба з глобальними змінами клімату стала своєрідним мейнстримом більшості розвинених країн. Також політика декарбонізації зробить економіку країн сильнішою, якість життя людей кращою, а довкілля чистішим, що призведе до стабілізації клімату на Землі. Оскільки глобальне потепління визнано однією з основних проблем людства, тому вже зараз йдеться навіть про кліматичну мобілізацію усіх країн. При цьому Україна та ЄС мають об'єднати зусилля для цілковитої декарбонізації та екомодернізації їх економік.

2. Важливим чинником декарбонізації є підвищення ефективності інноваційних енергозберігаючих технологій та природоохоронних заходів в об'єктах соціальної інфраструктури, а внесок в енергетичний баланс традиційних джерел енергії з роками зменшуватиметься, що призведе до зростання обсягів відновлюваних джерел енергії.

3. Аналіз інноваційних технологій сонячної генерації в контексті декарбонізації повоєнної економіки України підтвердив, що енергетичний потенціал України має нарощуватися переважно на основі ВДЕ і природоохоронних енергоефективних технологій декарбонізації та «зеленої» трансформації. А в умовах війни нашій державі зараз вкрай важливо впроваджувати навіть не стільки великі СЕС, бо є загроза їх понівечення, а саме малі модулі із сонячних панелей потужністю в межах від одного до декількох кВт на дахах кожного будинку та індивідуальних господарствах. Це до деякої міри забезпечить енергонезалежність споживачів.

4. Теплові насоси у енергозабезпеченні інфраструктурних об'єктів мають особливе значення. Вони почали широко застосовувати в промислово розвинутих країнах з метою зменшення використання газу на потреби опалення. Про масштаби масового застосування теплових насосів свідчить хоча б такий факт: всього в світі в наш час функціонує понад 20 млн теплонасосних установок потужністю від кількох кіловатт до сотень мегават.

5. Аналіз показав, що технології перетворення геотермальної енергії в електроенергію є доволі перспективними в умовах України. При цьому величезний геотермальний потенціал в Україні практично не використовується, а окремі геотермальні котельні функціонують лише в Криму й Закарпатті, але перспектива їх розвитку є і, особливо, це набуде свого зростання у післявоєнний період.

6. Дослідження стану проблеми ВЕС засвідчують, що вітрова генерація у комунальній енергетиці та соціальних інфраструктурних об'єктах України і світу поряд із СЕС є безальтернативною та дуже важливим енергопотенціалом. При цьому констатується, що вітрова генерація у світі зростає значними темпами: від 7,5 ГВт у 1997 році до 750 і більше ГВт – у 2022-2023 рр., тобто зросла майже на два порядки. Важливо також активно розвивати не тільки ВЕС і СЕС у промислових масштабах, але й індивідуальні вітроустановки і сонячні панелі потужністю від одного до декількох кіловатт у приватному секторі, комунальній сфері та на об'єктах соціальної інфраструктури.

РОЗДІЛ 2. МЕТОД РАЦІОНАЛЬНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕХНОЛОГІЙ (РВПТ) НА ОБ'ЄКТАХ СОЦІАЛЬНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Даний розділ присвячений створенню теоретичних основ для практичного використання методу раціонального впровадження природоохоронних технологій (далі РВПТ) на об'єктах соціальної інфраструктури і складається з таких частин:

- розкриття сутності методу РВПТ;
- розробка методики комплексної оцінки ефективності впровадження енергоефективних природоохоронних технологій;
- створення математичної моделі енергоефективності систем теплопостачання інфраструктурних об'єктів.

Нижче наведено опис вищевказаних теоретичних основ використання методу РВПТ.

2.1 Сутність методу РВПТ

РВПТ – метод, призначений для підвищення ефективності декарбонізації урбанізованих територій за рахунок скорочення інвестиційних витрат на реалізацію еколого-економічного потенціалу об'єктів соціальної інфраструктури раціональним впровадженням рекомендованих природоохоронних технологій та використанням отриманого економічного ефекту (рис. 2.1). Теоретичні основи методу РВПТ являють собою вдосконалену методологію поетапного раціонального впровадження енергоефективних заходів в комунальній сфері, представленої в роботі [81].

Перед застосуванням методу РВПТ передбачається ранжування природоохоронних технологій (ПТ), що рекомендуються до впровадження за результатами оцінки поточного енерго-екологічного та економічного стану об'єкту досліджень, за показниками розрахункових термінів окупності – $T_{рз(ок)і}$

(після попереднього їх визначення) за принципом: «від найменшого до найбільшого значення $T_{pz(ок)i}$ »; це дозволяє встановити номери пріоритетності заходів, що будуть впроваджуватись – NPз та забезпечує пріоритетність більш швидкоокупним ПТ.



Рисунок 2.1 – Принципова схема методу РВПТ

Заходи, терміни окупності яких перевищують 12,5 років вважаються нерентабельними і через це їх впровадження вважається нерациональним. Заходи, терміни окупності яких не перевищують 12,5 років, розподіляються на 3 категорії: швидкоокупні – з $T_{pz(ок)} \leq 4$ роки, ці заходи відносяться до I етапу процедури РВПТ; середньоокупні – з $4 \text{ роки} < T_{pz(ок)} \leq 8$ років, ці заходи відносяться до II етапу процедури РВПТ; та довгоокупні – з $8 \text{ років} < T_{pz(ок)} \leq 12,5$ років, ці заходи відносяться до III етапу процедури РВПТ.

Після розподілу ПТ по етапах визначаються значення вартостей та розрахункових термінів окупності етапів процедури РВПТ (рис. 2.2).

Розподіл ПТ по етапах дозволяє впорядкувати процес їх впровадження з наданням переваги технологіям та заходам, які забезпечують можливість отримання еколого-економічного ефекту у найкоротші терміни та акумуляції зекономлених коштів для фінансування наступних етапів.

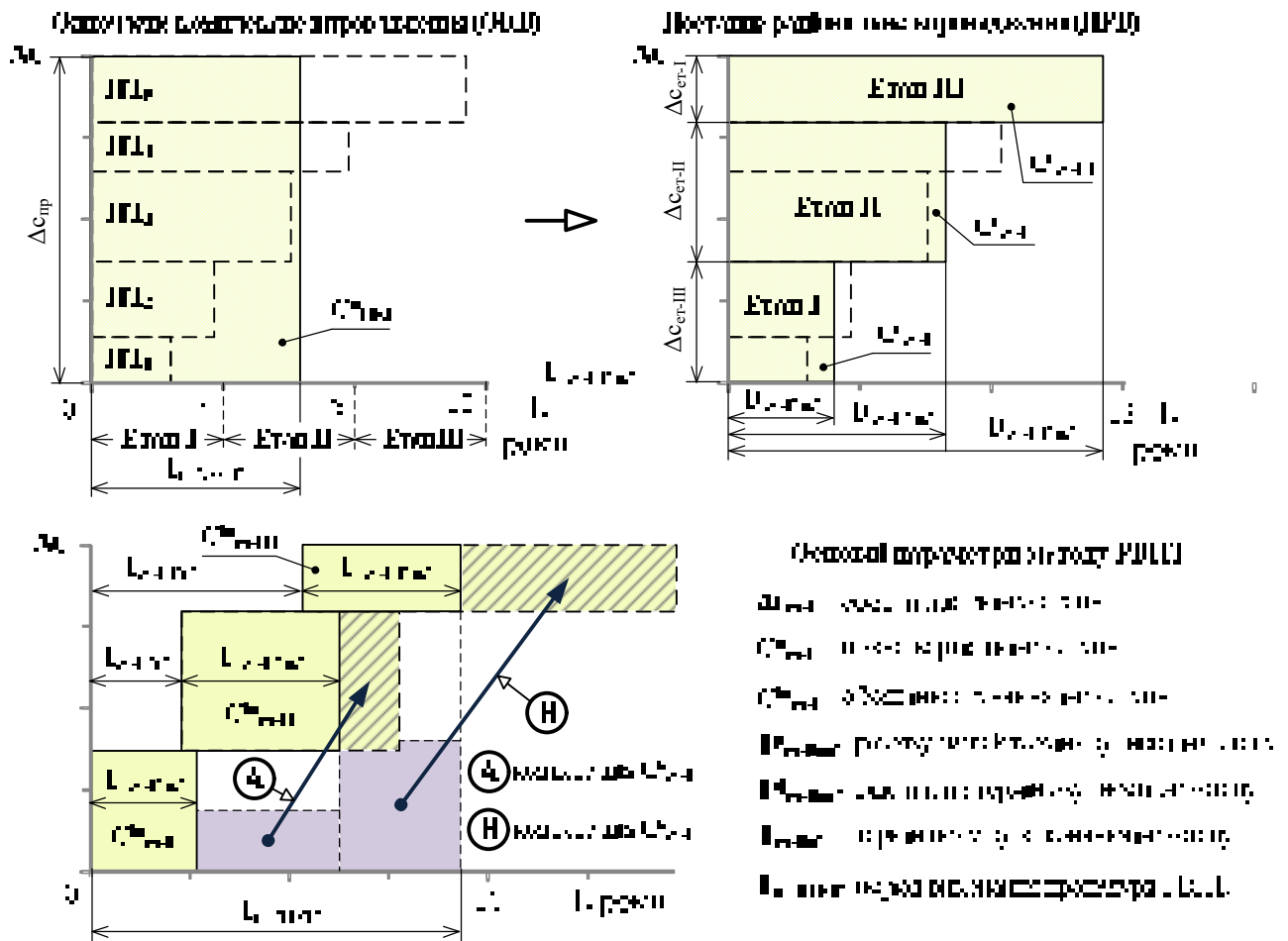


Рисунок 2.2 – Основні параметри процесу раціонального впровадження ПТ

Для аналізу ефективності та практичного відпрацювання методу РВПТ на натурних об'єктах соціальної інфраструктури в якості досліджуваних природоохоронних технологій було обрано групу енергоефективних заходів (ЕЕЗ) в сфері теплопостачання, як одного з найбільш важливих та пріоритетних інструментів у вирішенні актуальних екологічних проблем урбанізованих територій. Оскільки впровадження вказаних технологій супроводжується одночасним отриманням різних ефектів, в даній роботі було застосовано багатокритеріальний підхід до оцінки ефективності ЕЕЗ.

На рис. 2.3 представлено результати аналізу механізмів утворення різних ефектів при впровадженні ЕЕЗ в технічній системі «виробник-споживач теплової енергії», з різними типами систем теплопостачання – централізованими або автономними. При цьому загальний ефект поділяється на три складові:

– екологічні ефекти, до яких відносяться: енергозбереження або економія теплової енергії; ресурсозбереження або економія палива та середовищезахисний ефект або зменшення викидів у атмосферу забруднюючих речовин і парникових газів з димовими газами котельнь;

– економічний ефект або економія коштів за спожиту теплову енергію (при централізованому тепlopостачанні) і паливо (при автономному тепlopостачанні);

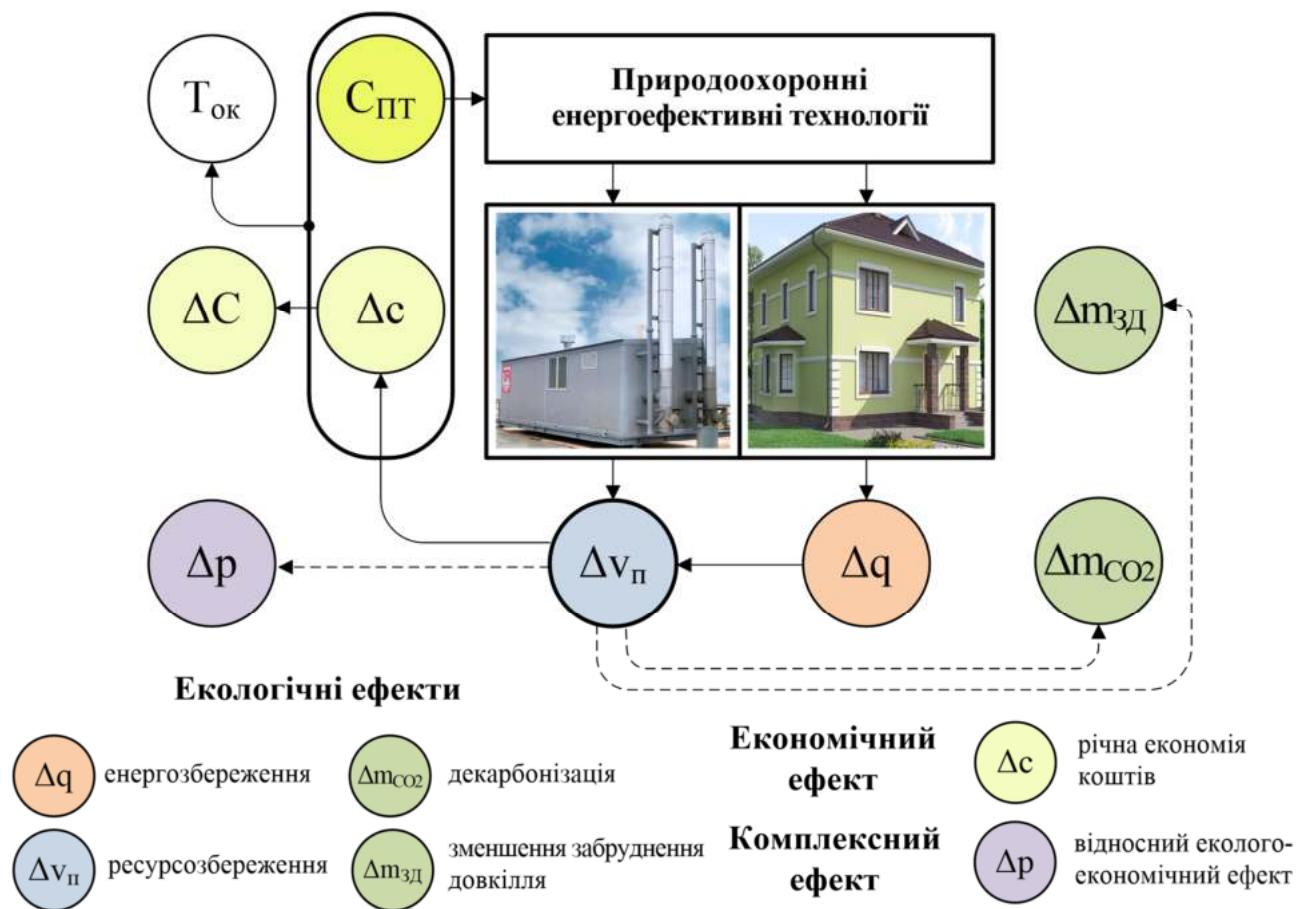


Рисунок 2.3 – Застосування багатокритеріального підходу до оцінювання ефективності природоохоронних енергозберігаючих технологій

– узагальнений еколого-економічний ефект, який одночасно характеризує різні ефекти, які є пропорційними один одному, є зручним для аналізу, має безрозмірну форму.

При оцінюванні кожного ефекту введено показники питомого або річного ефекту та довгострокового або інтегрального тривалого ефекту за встановлений

період – усереднений термін дії впроваджених ЕЕЗ, який приймався на основі аналізу літературних джерел за 25 років [81-84].

2.2 Комплексна оцінка ефективності впровадження енергоефективних природоохоронних технологій

За останні роки значна кількість міст України, зокрема, Київ, Харків, Львів, Тернопіль, Чернівці та ін. приєдналися до Угоди мерів про клімат та енергію [85], яка передбачає проведення муніципальними органами заходів щодо значного скорочення викидів парникових газів на 30% до 2030 року. Досягнення цього результату вимагає нової стратегії використання та розвитку муніципальної енергетичної системи, яка передбачає підвищення екологічної безпеки котельнь і теплових електростанцій шляхом впровадження інноваційних високоефективних енергозберігаючих, екологічно та економічно обґрунтованих технологій [86]. Ця стратегія має враховувати такі проблеми української економіки, як: застарілі технології та обладнання для виробництва та транспортування теплової енергії, високі енергоємність та матеріальні витрати, що у 2-3 рази перевищують відповідні показники розвинених країн; відсутність сучасних систем захисту навколишнього середовища, відсутність належних правових та економічних механізмів, які б стимулювали розвиток екологічно чистих технологій, природоохоронних технологій тощо [87]. Водночас стимулювання ефективного споживання теплової енергії споживачами дозволить зменшити споживання паливних ресурсів міськими підприємствами теплопостачання, що зменшить забруднення навколишнього середовища та зменшить викиди парникових газів [88]. Актуальним науковим завданням, яке стоїть сьогодні перед комунальним сектором економіки, є підвищення інформативності методів оцінки ефективності природоохоронних ЕЕЗ з у сферах теплопостачання та теплоспоживання. Для вирішення цієї проблеми ефективність досліджуваних заходів слід розглядати як комплексну величину, яка враховує енергетичні, екологічні та економічні наслідки їх реалізації [89].

При розробці методу РВПТ було створено та досліджено на натурних об'єктах методику комплексної багатокритеріальної оцінки ефективності впровадження ЕЕЗ в будівлях за показниками енергетичного, екологічного та економічного ефектів.

Сутність даної методики 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 (рис. 2.4).

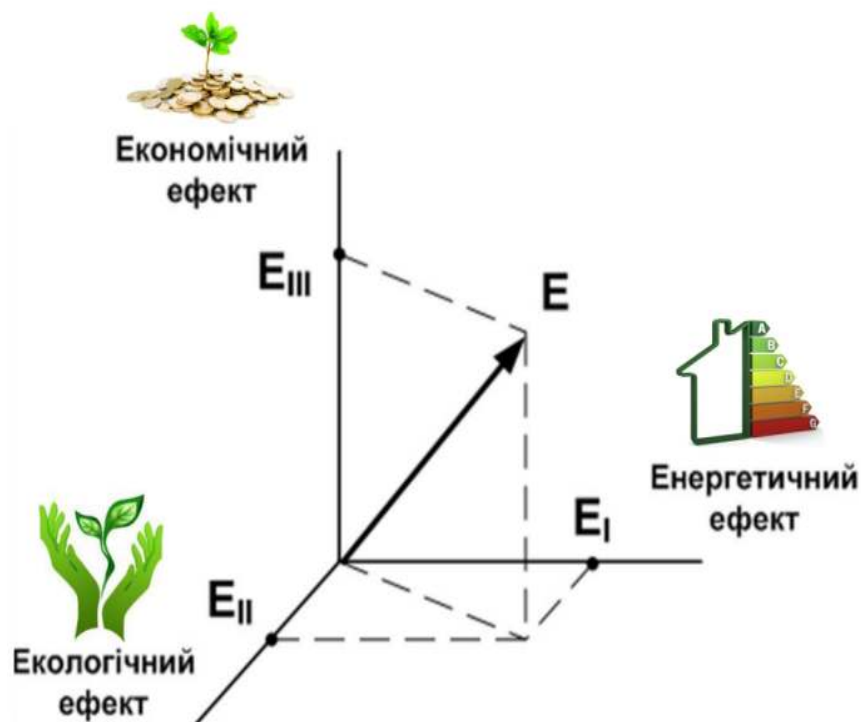


Рисунок 2.4. – Складові загальної ефективності енергозберігаючих заходів у сфері теплопостачання

При цьому для оцінки цих складових загальної ефективності використовуються такі показники:

– для *енергетичного ефекту* E_I : абсолютне – ΔQ (кВт·год) та відносне – δQ (%) значення заощадженої кількості теплової енергії за розрахунковий період, що визначаються за наступними формулами:

$$\Delta Q = Q_{\text{tot } 1} - Q_{\text{tot } 2}, \quad (2.1)$$

де Q_{tot1} та Q_{tot2} – сумарні тепловтрати через огорожувальні конструкції будівлі за розрахунковий період до та після впровадження енергозберігаючих заходів відповідно, кВт·год;

$$\delta Q = \frac{Q_{tot1} - Q_{tot2}}{Q_{tot1}} \cdot 100\%; \quad (2.2)$$

– для *екологічного ефекту* E_{II} : маса (об'єм) заощадженого палива – ΔM_{fuel} (кг) (ΔV_{fuel} (m^3)), зменшення кількості викидів парникових газів, зокрема – CO_2 та забруднюючих речовин – ΔM_p (кг):

$$\Delta M_{fuel} = 3,6 \cdot \frac{\Delta Q}{Q_1}, \quad (2.3)$$

де Q_1 – нижня теплота згоряння палива що використовується для виробництва теплової енергії, МДж/кг;

$$\Delta V_{fuel} = \frac{\Delta M_{fuel}}{\rho_{fuel}}, \quad (2.4)$$

де ρ_{fuel} – густина палива що використовується для виробництва теплової енергії, кг/м³;

$$\Delta M_{zp} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot K_p \cdot \Delta Q, \quad (2.5)$$

де K_p – коефіцієнт емісії викидів забруднюючих речовин [90, 91], г/ГДж;

– для *економічного ефекту* E_{III} : зменшення фінансових витрат за споживання теплової енергії протягом розрахункового періоду – ΔC_{hc} (грн.) або за споживання палива – ΔC_{fuel} (грн.):

$$\Delta C_{hc} = 9,6 \cdot 10^{-4} \cdot c_{hc} \cdot \Delta Q, \quad (2.6)$$

де c_{hc} – вартість одиниці теплової енергії за встановленими тарифами, грн/Гкал;

$$\Delta C_{fuel} = 10^{-3} \cdot c_{fuel} \cdot \Delta V_{fuel}, \quad (2.7)$$

де c_{fuel} – вартість палива за встановленими тарифами, грн./т або тис. грн. м³.

При оцінці критеріїв енергетичного ефекту E_I загальні потоки тепловтрат через огорожувальні конструкції – Q_{tot1} і Q_{tot2} визначають за наступною формулою [92] (рис. 2.5):

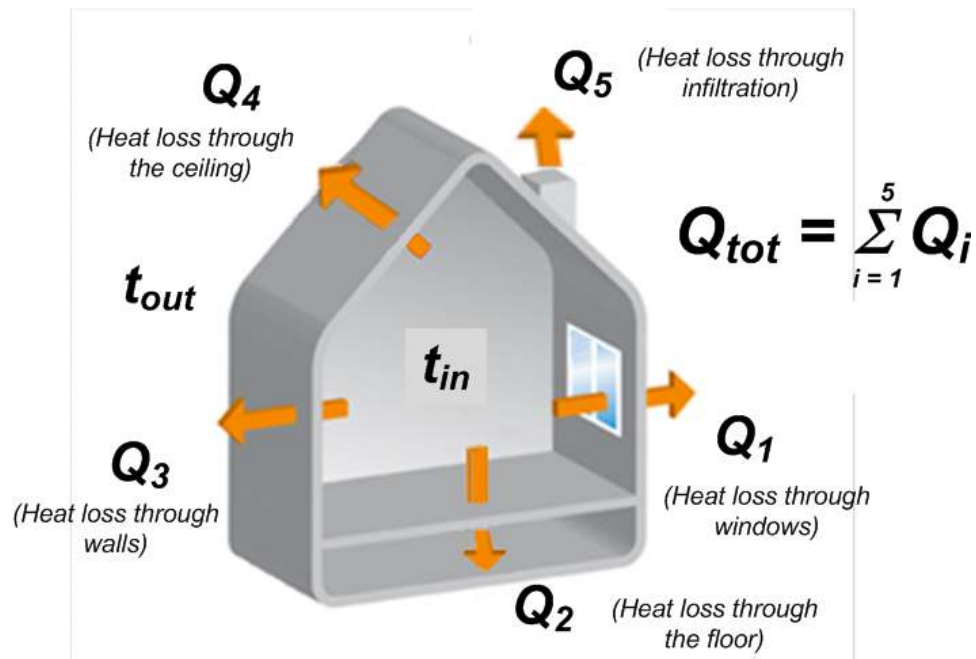


Рисунок 2.5 – Складові сумарних теплових втрат через огорожувальні конструкції будівлі

$$Q_{tot} = \left(\sum_{i=1}^4 k_i \cdot F_i + c \cdot M_{inf} \right) \cdot (t_{in} - t_{out}) = k_{hl} \cdot (t_{in} - t_{out}), \quad (2.8)$$

де k_i – коефіцієнт теплопередачі через i -ту огорожувальну конструкцію, Вт/(м²·°C);

F_i – площа поверхні i -ої огорожувальної конструкції, м²;

c – питома теплоємність повітря, Дж/(кг·°C);

M_{inf} – масова витрата повітря при інфільтрації, кг/год;

t_{in} – температура повітря в приміщенні, °C;

t_{out} – температура зовнішнього повітря, °C.

k_{hl} – коефіцієнт тепловтрат, Вт/°C, який визначається за формулою

$$k_{hl} = \sum_{i=1}^4 k_i \cdot F_i + c \cdot M_{inf}. \quad (2.9)$$

Представлена методика передбачає можливість збільшення показників ефективності шляхом додавання нових показників у складові загальної ефективності. Зокрема, до групи показників, що характеризують економічний

ефект від енергозберігаючого заходу, можна додати термін окупності та рентабельність інвестиційних ресурсів.

2.3 Математична модель енергоефективності систем теплопостачання інфраструктурних об'єктів

Використання систем комунальної енергетики супроводжується значним негативним впливом на навколишнє середовище, який пов'язаний насамперед з викидами парникових газів і забруднюючих речовин в атмосферу, сприяє розвитку та посиленню локальних і глобальних екологічних проблем [93]: парникового ефекту, руйнування озонового шару атмосфери, кислотні дощі, погіршення якості навколишнього середовища тощо. З іншого боку, робота комунальних котельнь потребує забезпечення паливом, потреба в якому зростає з розширенням теплових мереж. У зв'язку з цим, в умовах посилення негативного впливу об'єктів теплоенергетики на навколишнє середовище та зростання цін на енергоносії проблема підвищення екологічної та енергетичної безпеки сектору комунального теплопостачання є актуальною. Новим підходом до вирішення цієї проблеми є об'єднання виробника, постачальника та споживача теплової енергії в єдину складну технічну систему, для якої здійснюється пошук оптимальних технічних рішень для підвищення її екологічної, енергетичної та економічної ефективності [89]. Для реалізації цього підходу необхідно створити теоретичну базу, яка забезпечить проведення багатокритеріального оцінювання ефективності енергозберігаючих заходів на об'єктах, які виробляють, транспортують та споживають теплову енергію.

Метою даного етапу досліджень було створення та підтвердження практичної придатності математичних моделей для комплексної оцінки енергетичної, екологічної та економічної ефективності ЕЕЗ, рекомендованих для реалізації в комунальному господарстві в складній технічній системі «виробник-постачальник-споживач теплової енергії». Для досягнення вказаної мети було вирішено такі завдання:

1) розробка математичних моделей для оцінки енергоефективності ЕЕЗ, що впроваджуються на об'єктах, які виробляють, транспортують та споживають теплову енергію в комунальному господарстві;

2) підтвердження практичної придатності розроблених математичних моделей під час дослідження натурального об'єкта складної технічної системи «виробник-постачальник-споживач теплової енергії».

Нижче представлено результати вирішення вказаних задач.

2.3.1 Математичні моделі для оцінки ефективності енергозберігаючих заходів при виробництві теплової енергії

Визначення енергоефективності використання теплового насоса для опалення будівель. Вихідні дані для проведення розрахункових досліджень визначаються за результатами натурального обстеження або проектними параметрами будівель, їх призначенням, кліматичними умовами і нормативними значеннями температури повітря в приміщеннях. Перелік необхідних даних для розрахунку наведено в табл. 2.1.

Витрати енергії на опалення за опалювальний сезон Q (в Дж), визначаються за формулою

$$Q = \sum_{i=1}^7 Q_{\text{month}i}, \quad (2.10)$$

де, $Q_{\text{month}i}$ – витрати енергії на опалення за періодами (7 місяців) опалювального сезону – за жовтень, листопад, грудень, січень, лютий, березень і квітень.

Витрати енергії на опалення для кожного з місяців опалювального сезону визначаються за формулами

$$Q_{\text{month}i} = \Delta t_{\text{month}} \cdot \sum_{i=1}^4 (3600 \cdot k_i \cdot F_i + c \cdot m_{mf}), \quad (2.11)$$

де $\Delta t_{\text{month}i}$ (°C) – різниця між температурою приміщення та середньмісячною температурою зовнішнього повітря у відповідний період опалювального сезону; температура зовнішнього повітря в кожному з місяців опалювального сезону встановлюється відповідно до кліматичних особливостей території об'єкта дослідження; температуру зовнішнього повітря у відповідний період

опалювального сезону для кліматичних умов об'єкту досліджень можна приймати за табл. 2.2, температуру повітря в приміщенні – за табл. 2.3;

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для досліджень ефективності ЕЕЗ

| № | Назва параметра | Одиниця | Позначення |
|----|---|----------------|--------------------|
| 1 | Загальна площа стін | м ² | F _w |
| 2 | Товщина і-го шару стін | м | h _{wi} |
| 3 | Матеріал і-го шару стін | – | – |
| 4 | Загальна площа віконних прорізів | м ² | F _{win} |
| 5 | Товщина скла у віконних прорізах | м | h _{wini} |
| 6 | Кількість стекол у віконних прорізах | Од. | – |
| 6 | Загальна площа мансардних поверхів | м ² | F _f |
| 7 | Товщина і-го шару горищних перекриттів | м | h _{afi} |
| 8 | Матеріал і-го шару горищних перекриттів | – | – |
| 9 | Загальна площа | м ² | F _f |
| 10 | Товщина і-го шару підлоги | м | h _{fi} |
| 11 | Матеріал і-го шару підлоги | – | – |
| 12 | Середньомісячні температури зовнішнього повітря за періоди опалювального сезону | °С | t _{month} |
| 13 | Необхідна кімнатна температура | °С | t _{in} |
| 14 | Тривалість періодів (місяців) опалювального сезону | ГОД | τ _i |
| 15 | Висота стелі в приміщенні | м | h |

k_i (Вт/(м²·К)) – коефіцієнти теплопередачі елементів огорожувальних конструкцій, у тому числі зовнішніх стін, вікон, підлоги, стелі, визначають за формулою (2.12);

F_i (m^2) – площа елементів огорожувальних конструкцій, у тому числі зовнішніх стін, вікон, підлоги, стелі; приймається згідно з табл. 2.1;

c (Дж/(кг К)) – масова теплоємність повітря, в розрахунках орієнтовно прийнято значення $c = 1005$ Дж/(кг К);

m_{inf} (кг) – маса повітря, що надходить у приміщення з інфільтратом за годину визначається за формулою (2.13);

τ_i (h) – тривалість відповідного періоду опалювального сезону; береться згідно з табл. 2.2;

Таблиця 2.2 – Значення середньомісячної температури зовнішнього повітря періодів (місяців) опалювального сезону

| Характеристика | t_{10} | t_{11} | t_{12} | t_1 | t_2 | t_3 | t_4 | Опалю- вальний сезон |
|---|----------|----------|----------|-------|-------|---------|-------|----------------------------|
| Тривалість опалювального сезону, год | 336 | 720 | 744 | 744 | 672 | 74 4 | 336 | 4296 |
| Середньомісячні температури зовнішнього повітря, °С | +7,5 | +1,0 | -3,7 | -5,9 | -5,1 | 0,0 | +9,0 | -1,0 |

Коефіцієнт тепловіддачі елементів огорожувальних конструкцій, у тому числі зовнішніх стін, вікон, підлоги, стелі k_i , Вт/ m^2 К визначають відповідно до [92] за формулою

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{in}} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{h_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{\alpha_{out}}}, \quad (2.12)$$

де α_{in} (Вт/($m^2 \cdot K$)) – коефіцієнт теплопередачі від стіни до повітря всередині приміщення; прийнято в розрахунках $\alpha_{вх} = 8,3$ Вт/ m^2 К;

α_{out} (Вт/($m^2 \cdot K$)) – коефіцієнт теплопередачі від стіни до зовнішнього повітря. Приймається згідно з табл. 2.4;

h_i (м) – товщина i -го шару конструкції огорожі. Приймається згідно з табл. 2.1;

n – кількість шарів огорожувальної конструкції. Її приймають згідно з табл. 2.1.

λ_i (Вт/(м·К)) – коефіцієнт теплопровідності i -го шару огорожувальної конструкції. Приймається в залежності від матеріалу виготовлення шару захисної конструкції, відповідає табл. 2.5;

Таблиця 2.3 – Розрахункові значення температури і вологості повітря будівлі [94]

| № | Будівельне використання | Температура повітря в приміщенні, °С | Відносна вологість, % |
|---|---------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| 1 | Житлові будинки | 20 | 55 |
| 2 | Громадські та адміністративні будівлі | 20 | 60 |
| 3 | Медичні та дитячі навчальні заклади | 21 | 50 |
| 4 | Дошкільні установи | 22 | 50 |

Таблиця 2.4 – Значення коефіцієнта тепловіддачі від стін, горючих перекриттів, підлоги до зовнішнього повітря [92]

| № | Тип конструкції | Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м ² К) |
|---|---|---|
| 1 | Зовнішні стіни, перекриття над під'їздами, вікна | 23 |
| 2 | Перекриття над холодними підвалами, що прилягають до холодного повітря | 17 |
| 3 | Горюче перекриття і перекриття над неопалюваними підвалами, що не вентилуються зовнішнім повітрям | 6 |

Маса повітря, що надходить у приміщення з інфільтрацією за годину опалювального сезону

$$m_{inf} = n \cdot h \cdot F_a \cdot \rho, \text{ кг}, \quad (2.13)$$

де n (1/год) – кратність повітрообміну (табл. 2.6);

F_a (м²) – загальна площа приміщення (табл. 2.1);

h (м) – висота стель у приміщенні (табл. 2.1);

ρ (кг/м³) – густина повітря в приміщенні; прийнято $\rho = 1,2$ кг/м³.

Таблиця 2.5 – Значення коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів

| № | Назва матеріалу | Коефіцієнт теплопровідності, λ , Вт/(м·К) |
|----|--|---|
| 1 | Теплоізоляційні вироби на основі мінеральної вати на основі базальтового волокна | 0,05 |
| 2 | Вироби зі спіненого пінополістиролу | 0,048 |
| 3 | Плити з резоло-формальдегідного пінопласту | 0,06 |
| 4 | ДВП та ДСП | 0,15 |
| 5 | Цегляна кладка керамічна на цементно-піщаному розчині з повнотілої цегли | 0,76 |
| 6 | Укладання цегли керамічної на цементно-піщаний розчин | 0,61 |
| 7 | Кладка силікатної цегли на цементно-піщаному розчині з повнотілої цегли | 0,84 |
| 8 | Сосна і ялина поперек волокон | 0,16 |
| 9 | Сосна і ялина по волокнах | 0,32 |
| 10 | Залізобетонні | 1,98 |
| 11 | Цементно-піщаний розчин | 0,84 |
| 12 | Віконне скло | 0,76 |

Після розрахунку витрат теплової енергії на опалення будинку протягом опалювального сезону Q , ми встановлюємо заходи щодо зниження витрат енергії за допомогою теплового насоса. Використання теплових насосів, що працюють за схемою повітря-вода, у світовій практиці визнано однією із сучасних технологій тепlopостачання будівель. Розрахуємо зниження енерговитрат на прикладі теплового насоса Bosch WPL 17 AR. Енергія Q_{hp} (в Дж) була витрачена тепловим насосом:

$$Q_{hp} = \sum_{i=1}^7 Q_{hpi}, \quad (2.14)$$

де Q_{hpi} (Дж) – енерговитрати на роботу теплового насоса в кожному з періодів (місяців) опалювального сезону:

$$Q_{hpi} = \frac{Q_i}{\varepsilon_i}, \quad (2.15)$$

де ε_i – коефіцієнт потужності теплового насоса в кожному з періодів (місяців) опалювального сезону, який визначається за емпіричною формулою, рекомендованою підприємством-виробником даного обладнання:

$$\varepsilon_i = \frac{0.5 \cdot T}{T - T_0}, \quad (2.16)$$

де T (К) – температура нагрітого теплоносія на виході з теплового насоса;
 T_0 (К) – температура зовнішнього повітря.

Таблиця 2.6 – Стандартні значення кратності повітрообміну

| № | Тип будівлі | Клас енергоефективності | n, 1/год |
|---|--|-------------------------|----------|
| 1 | Житлова, адміністративна, освітня, медична | С | 2,0 |
| | | В | 1,0 |
| | | А | 0,8 |
| 2 | Громадські будівлі, крім зазначених у пункті 1 | С | 2,0 |
| | | В | 1,0 |
| | | А | 1,0 |

Температура нагрітого теплоносія на виході з теплового насоса встановлюється залежно від типу системи відбору тепла відповідно до табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Температура нагрітого теплоносія на виході з теплового насоса

| № | Застосування системи відведення тепла | Температура нагрітого теплоносія на виході з теплового насоса, t, °С |
|---|--|--|
| 1 | Контур «Тепла підлога» | 35 |
| 2 | Система радіаторів під віконними прорізами | 55 |

Економія енергії на опалення протягом опалювального сезону в результаті заходів щодо зменшення втрат тепла визначається як $\Delta Q = Q - Q_{\text{пр}}$.

Визначення енергоефективності від впровадження енергоефективних газових конденсаційних котлів замість традиційних котлів. Для визначення ресурсної економії витрат палива, економічної та екологічної ефективності впровадження газових конденсаційних котлів замість традиційних котлів встановлюється за наведеним алгоритмом річний обсяг зниження споживання палива внаслідок впровадження такого заходу.

1. Визначається річний обсяг споживання палива на відпуск планової кількості теплової енергії при використанні традиційних газових котлів.

Кількість умовного палива, яка необхідна для відпуску загальної річної кількості тепла, визначається за формулою [95]:

$$B_{\text{let}}^{\text{feNel}} = \frac{Q_{\text{let}}^{\text{year}}}{Q_{\text{ef}} \cdot (\eta_{\text{bp}})_m} \cdot 100, \quad (2.17)$$

де $B_{\text{let}}^{\text{feNel}}$ – кількість умовного палива для відпуску планової кількості теплової енергії при використанні традиційних (неконденсаційних) газових котлів, т.у.п.;

$Q_{\text{let}}^{\text{year}}$ – загальна кількість тепла, що виділяється протягом календарного року, Гкал.

Q_{ef} – теплотворна здатність умовного палива, що дорівнює 7000 Ккал/кг;

$(\eta_{\text{bp}})_m$ – ефективність теплопостачання всієї котельні, обладнаної традиційними газовими котлами, при відпуску планової кількості теплової енергії протягом розрахункового періоду (наприклад, опалювального періоду або календарного року), %;

Загальна кількість тепла, виробленого наприклад за рік, визначається як кількість корисно використаного тепла за рік, втрати тепла в теплових мережах, втрати тепла на власні потреби котельні за той самий період:

$$Q_{\text{gen}}^{\text{year}} = Q_{\text{u}}^{\text{year}} + Q_{\text{eh}}^{\text{year}} + Q_{\text{on}}^{\text{year}}, \quad (2.18)$$

де $Q_{\text{u}}^{\text{year}}$ – корисно використана споживачами теплової енергії за календарний рік, Гкал;

Q_{eh}^{year} – втрати теплової енергії в зовнішніх теплових мережах за календарний рік, Гкал;

Q_{on}^{year} – споживання теплової енергії на власні потреби котельні за календарний рік, Гкал.

Обсяг відпущеної за рік теплової енергії визначається як сума використаної теплової енергії та втрат у теплових мережах:

$$Q_{let}^{year} = Q_u^{year} + Q_{eh}^{year}, \quad (2.19)$$

Втрати тепла в теплових мережах Q_{eh}^{year} визначаються засобами комерційного обліку теплоенергії та теплової енергії або розрахунками.

Обсяг корисної використаної теплової енергії за рік визначається як сума витрат теплової енергії на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання (визначається засобами комерційного обліку теплової енергії або розрахунковим шляхом):

$$Q_u^{year} = Q_h^{year} + Q_v^{year} + Q_{hws}^{year}, \quad (2.20)$$

де Q_h^{year} – витрати тепла на теплові потреби споживачів, Гкал;

Q_v^{year} – витрати тепла на вентиляцію споживачів, Гкал;

Q_{hws}^{year} – витрата теплової енергії на забезпечення потреб гарячого водопостачання споживачів, Гкал.

Коефіцієнт $(\eta_{bp})_m$ визначається за формулою

$$(\eta_{bp})_m = \frac{Q_1 \cdot \eta_1 + Q_2 \cdot \eta_2 + \dots + Q_n \cdot \eta_n}{(Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n) \cdot \left(1 - \frac{k_{hl}}{100}\right)}, \quad (2.21)$$

де Q_1, Q_2, \dots, Q_n – планове виробництво теплової енергії протягом року кожним із котлів, Гкал;

$\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ – середньорічний валовий ККД відповідно для кожного котла (визначається за індивідуальними експлуатаційними картками або за паспортними даними, приведеними до фактичної середньогодинної потужності кожного котла за розрахунковий період);

k_{hl} – нормативна частка споживання тепла на власні потреби котельні, %.

2. Визначається річний рівень витрат палива на відпуск планової кількості теплової енергії при використанні газових конденсаційних котлів замість традиційних котлів.

Кількість умовного палива, яка необхідна для виробництва загальної річної кількості тепла, визначається за формулою

$$V_{\text{let}}^{\text{fe}\#2} = \frac{Q_{\text{let}}^{\text{year}}}{Q_{\text{ef}} \cdot (\eta_{\text{bp}})_m} \cdot 100, \quad (2.22)$$

де $V_{\text{let}}^{\text{fe}\#2}$ – кількість умовного палива, т.у.п.;

$Q_{\text{let}}^{\text{year}}$ – загальна кількість тепла, відпущеного за рік, Гкал.

Q_{ef} – теплотворна здатність умовного палива, що дорівнює 7000 Ккал/кг;

$(\eta_{\text{bp}})_m$ – ККД по всій котельні, обладнаній газовими конденсаційними котлами для виробництва теплової енергії (за індивідуальними операційними картками або за паспортними даними приведені до фактичної середньогодинної потужності кожного котла за розрахунковий період), %.

3. Річний рівень зменшення обсягів споживання умовного палива внаслідок впровадження газових конденсаційних котлів замість традиційних котлів ΔV^{fe} визначається за формулою:

$$\Delta V^{\text{fe}} = V_{\text{let}}^{\text{fe}\#1} - V_{\text{let}}^{\text{fe}\#2}, \quad (2.23)$$

4. Перерахунок умовного палива в природне здійснюється за формулою:

$$V^{\text{nf}} = V^{\text{fe}} \cdot 10^3 \cdot \frac{Q_{\text{fe}}}{Q_{\text{ncv}}}, \quad (2.24)$$

де V^{nf} – загальна потреба котельні в природному паливі для виробництва планової кількості теплоти, м³;

V^{fe} – те саме, в умовному паливі, т.у.п.

Q_{fe} – теплота згоряння умовного палива, яка становить 29309 кДж/кг (7000 Ккал/кг).

Q_{ncv} – нижча теплотворна спроможність природного палива, ккал/кг (величина визначається відповідно до сертифікатів цього палива або результатів лабораторних досліджень).

Цей перерахунок можна виконати за формулою

$$B^{nf} = \frac{B^{fe}}{K}, \quad (2.25)$$

де $K = Q_{ncv}/Q_{ef}$ – калорійний еквівалент, що дорівнює відношенню теплотворної здатності природного палива до теплотворної здатності умовного палива, значення якої визначається згідно з сертифікатами цього палива або результатами лабораторних досліджень.

2.3.2 Математична модель для оцінки ефективності енергозберігаючих заходів при транспортуванні теплової енергії

Визначення енергоефективності від впровадження попередньо теплоізованих труб зовнішніх теплових мереж замість трубопроводів у традиційній ізоляції або трубопроводів без ізоляції виконується наступним чином.

1. Економія теплової енергії за рік ΔQ від впровадження попередньо теплоізованих труб, фасонних виробів та фасонних частин згідно ДСТУ Б В.2.5-31:2007 та чинної нормативної документації (ДБН В.2.5-39: 2008) визначається за формулами:

$$\Delta Q = Q_{tot1} - Q_{tot2}, \quad (2.26)$$

де Q_{tot1} – сумарні тепловтрати на охолодження теплоносія в трубопроводах зовнішніх теплових мереж, утеплених традиційними видами теплоізоляції (мінераловатними матами) та трубопроводах без теплоізоляції, Гкал/рік;

Q_{tot2} – сумарні тепловтрати на охолодження теплоносія в трубопроводах зовнішніх теплових мереж, теплоізованих за умови впровадження попередньо теплоізованих трубних фасонних виробів і фасонних частин замість традиційних видів теплоізоляції (мінераловатних матів) і на ділянках трубопроводів, що не мають теплоізоляції, Гкал/рік;

$$Q_{tot1} = Q_{is} + Q_{n/is}, \quad (2.27)$$

де Q_{is} – сумарні тепловтрати на охолодження теплоносія в трубопроводах зовнішніх теплових мереж, утеплених традиційними видами теплоізоляції (мінераловатними матами), Гкал/рік;

$Q_{n/is}$ – сумарні тепловтрати на охолодження теплоносія на ділянках трубопроводів теплових мереж, які не мають теплоізоляції, Гкал/рік.

2. Розрахунок фактичних втрат теплової енергії на охолодження теплоносія в трубопроводах зовнішніх теплових мереж теплоізоляційними мінераловатними матами Q_{is} визначимо за методикою, наведеною в КТМ 204 України 244-94: «Норми та вказівки щодо нормування. Витрати палива і теплової енергії на опалення житлових і громадських будівель, а також на побутові потреби в Україні»:

$$Q_{is} = \sum (q_n^s \cdot l^s + q_n^r \cdot l^r) \cdot n \cdot \beta \cdot 0.86 \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал}, \quad (2.28)$$

де q_n^s, q_n^r – норма щільності теплового потоку від поверхні подаючого або зворотного ізолюваного трубопроводу відповідного діаметра, залежить від типу прокладки, Вт/м;

l^s, l^r – довжина подаючого або зворотного ізолюваного трубопроводу відповідного діаметра, м;

n – кількість годин роботи відповідної ділянки ізолюваного трубопроводу в планованому періоді, год;

β – коефіцієнт локальних тепловтрат з урахуванням тепловтрат арматури, опор і компенсаторів.

3. Визначення тепловтрат для неізолюваних трубопроводів проводиться за формулою:

$$Q_{n/is} = q_1 \cdot L \cdot n \cdot k \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал}, \quad (2.29)$$

де, q_1 – питомий тепловий потік від одного погонного метра неізолюваного трубопроводу за годину, ккал/(м·год);

L – довжина неізолюваного трубопроводу, м;

n – кількість годин роботи на рік, год;

k – коефіцієнт, що враховує різницю температури навколишнього середовища від $+25$ °С.

Теплові втрати при інших температурах навколишнього середовища визначаються множенням на коефіцієнт:

$$k = \frac{t_f + t_{in}}{25 + t_{in}}, \quad (2.30)$$

де t_f – фактична температура навколишнього середовища;

t_{in} – температура робочих тіл у трубі або в ємності.

З такими коефіцієнтами приблизно можна прийняти тепловтрати при температурі теплоносія від 100 до 50 °С.

Проміжні значення норм густини теплового потоку визначені інтерполяцією.

4. Розрахунок фактичних втрат теплової енергії у Гкал на охолодження теплоносія в трубопроводах зовнішніх теплових мереж за умови впровадження теплоізоляційних трубопроводів Q_{tot2} визначимо за методикою, наведеною в нормативному документі [96]:

$$Q_{tot2} = \sum (q_n^s \cdot l^s + q_n^r \cdot l^r) \cdot n \cdot \beta \cdot k_2 \cdot 0.86 \cdot 10^{-6}, \quad (2.31)$$

де k_2 – коефіцієнт, що враховує зміну норм густини теплового потоку при використанні теплоізоляційного шару з пінополіуретану.

2.3.3 Математичні моделі оцінки ефективності енергозберігаючих заходів при споживанні теплової енергії

Визначення енергоефективності від зменшення втрат тепла через огорожувальні конструкції будівлі. Вихідні дані для розрахунку визначаються за результатами натурного обстеження або проектними параметрами будівлі, її призначенням, режимом експлуатації, кліматичними умовами і нормативними значеннями температури внутрішнього повітря в будівлях. Перелік необхідних даних для розрахунку наведено в табл. 2.1.

Витрати енергії на опалення за опалювальний сезон Q (в Дж) визначаються за формулами (2.10) – (2.13) та даними, наведеними в табл. 2.2 – 2.6.

Після розрахунку значення Q встановлюємо заходи щодо зменшення тепловтрат будівлі, використовуючи табл. 2.8.

Витрати енергії на опалення в опалювальний сезон після заходів з термомодернізації будівлі – Q_{tm} , Дж визначаються аналогічно за формулами (2.10) – (2.13) та даними, наведеними в табл. 2.2 – 2.6.

У разі прийняття рішення про встановлення металопластикових вікон значення коефіцієнта тепловіддачі опору вікна, яке враховується у формулі (2.12), приймається згідно з табл. 2.9.

Економія енергії на опалення в опалювальний сезон в результаті заходів щодо зменшення втрат тепла – ΔQ визначається як: $\Delta Q = Q - Q_{tm}$.

Визначення енергоефективності від впровадження теплоізоляції на внутрішньобудинкових теплових мережах проводиться наступним чином.

1. Економія теплової енергії за рік ΔQ від впровадження теплоізоляції на теплових мережах повітряної прокладки (включаючи підвали та приміщення), що відповідають вимогам теплового опору згідно з діючими нормами (СниП 2.04.14-88*)) визначається за формулою

$$\Delta Q = Q_{sum1} - Q_{sum2}, \quad (2.32)$$

де Q_{sum1} – загальні втрати тепла на охолодження теплоносія в трубопроводах зовнішніх теплових мереж, ізольованих теплоізоляцією з тепловим опором,

Таблиця 2.8 – Заходи щодо зменшення тепловтрат будівлі

| № | Очікуваний результат | Подія |
|---|---|---|
| 1 | Зменшення тепловтрат через стелю | Утеплення стіни облицювальною цеглою, пінополістирольні плити, пінополістирол, мінеральна вата. |
| 2 | Зменшення тепловтрат через стелю | Утеплення горищного перекриття шаром мінеральної вати |
| 3 | Зниження тепловтрат через підлогу | Укладання під підлогу додаткового шару мінеральної вати, ДВП або ДСП |
| 4 | Зменшення тепловтрат через віконні прорізи | Монтаж металопластикових вікон з одно- або двокамерним склопакетом, можливе заповнення камери аргоном, нанесення на скло енергозберігаючого покриття. |
| 5 | Зменшення втрат тепла за рахунок інфільтрації | Використання герметика металопластикових вікон, відключення припливно-витяжної вентиляції під час відсутності людей в приміщенні, використання турбованих котлів. |

Таблиця 2.9 – Значення коефіцієнта опору теплопередачі основних типів металопластикових вікон

| № | Характеристики склопакетів | Позначення характеристик склопакетів | Коефіцієнт опору теплопередачі, (м ² ·К)/Вт |
|---|---|--------------------------------------|--|
| 1 | Однокамерний | 4-16-4 | 0,32 |
| 2 | Однокамерний з аргоном | 4-16-4Ar | 0,34 |
| 3 | Однокамерний з енергозберігаючим покриттям | 4-16-4i | 0,59 |
| 4 | Однокамерний з енергозберігаючим покриттям аргоном | 4-16-4iAr | 0,66 |
| 5 | Двокамерний | 4-12-4-12-4 | 0,49 |
| 6 | Двокамерний з аргоном | 4-12-4-12-4 Ar | 0,52 |
| 7 | Двокамерний з енергозберігаючим покриттям | 4-12-4-12-4i | 0,72 |
| 8 | Двокамерний з енергозберігаючим покриттям з аргоном | 4-12-4-12-4i Ar | 0,75 |

що не відповідає вимогам чинних нормативних документів, та трубопроводах без теплоізоляції, Гкал/рік;

$Q_{\text{sum}2}$ – сумарні втрати тепла на охолодження теплоносія в трубопроводах зовнішніх теплових мереж, утеплених за умови введення теплоізоляції на теплових мережах повітряної прокладки відповідно до вимог щодо термічного опору діючої нормативної документації, Гкал/ рік.

Значення $Q_{\text{sum}1}$ складається з 2 значень:

$$Q_{\text{sum}1} = Q_{\text{sum}1}^{n/is} + Q_{\text{sum}1}^{is}, \quad (2.33)$$

де $Q_{\text{sum}1}^{n/is}$ – тепловтрати на охолодження теплоносія в трубопроводах зовнішніх теплових мереж, які не мають теплоізоляції;

$Q_{\text{sum}1}^{is}$ – втрати тепла на охолодження теплоносія в трубопроводах зовнішніх теплових мереж, ізольованих теплоізоляцією від теплового опору, що не відповідає вимогам чинної нормативної документації.

2. Визначте значення $Q_{\text{sum}1}^{n/is}$ за формулою:

$$Q_{\text{sum1}}^{n/\text{is}} = 2 \cdot \pi \cdot r_{\text{ex}}^2 \cdot L \cdot (t_1 - t_{\text{en}}) \cdot \alpha \cdot n, \quad (2.34)$$

де r_{ex} – зовнішній радіус труби без ізоляції, м;

L – довжина неізольованої частини теплопроводу, м.

t_1 – середня температура теплоносія (для труб системи опалення приймається за температурним графіком при середній температурі зовнішнього повітря за опалювальний період, для труб системи гарячого водопостачання приймається $+55^\circ\text{C}$), $^\circ\text{C}$;

t_{en} – середня температура навколишнього середовища (навколо теплопроводу, в приміщеннях вимірюється під час аудиту та орієнтовно приймається на весь розрахунковий період), $^\circ\text{C}$;

α – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні труби в повітря, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

n – кількість годин роботи відповідної неізольованої ділянки трубопроводу в планованому періоді (наприклад, році), год.

Коефіцієнт α визначається за формулою

$$\alpha = 8 + 0.04 \cdot t_n + 6 \cdot \sqrt{V}, \quad (2.35)$$

де t_n – температура поверхні труби (для трубопроводів системи опалення приймається температурний графік при середній температурі зовнішнього повітря за опалювальний період, для трубопроводів гарячого водопостачання приймається 55°C), $^\circ\text{C}$;

V – швидкість руху повітря (у приміщеннях зазвичай значення коливаються в межах $0,2\text{--}0,3$ м/с, але не повинні перевищувати $1,0$ [97]), м/с.

3. Визначте значення $Q_{\text{sum1}}^{\text{is}}$ за формулою:

$$Q_{\text{sum1}}^{\text{is}} = L \cdot n \cdot \frac{(t_1 - t_{\text{en}})}{R} \cdot 10^{-6}, \quad (2.36)$$

де n – кількість годин роботи відповідної ізольованої ділянки трубопроводу в планованому періоді (наприклад, році), год.;

R – сума теплових опорів на шляху теплового потоку від теплоносія до навколишнього середовища, $(\text{м} \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C})/\text{Ккал}$.

$$R = \frac{(t_{\text{f1}} - t_{\text{en}})}{q_{\text{f1}}}, \quad (2.37)$$

де t_{f1} – фактична температура теплоносія під час перевірки, °С;

q_{f1} – фактична лінійна густина теплового потоку з 1 м довжини трубопроводу, ккал/м погон.

$$q_{f1} = 2 \cdot \pi \cdot r_{is}^2 \cdot (t_{f2} - t_{en}) \cdot \alpha, \quad (2.38)$$

де r_{is} – зовнішній радіус ізоляції на трубопроводі, м;

t_{f2} – фактична температура на поверхні ізоляційного шару під час ревізії, °С;

α – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні ізоляції труби в повітря:

$$\alpha = 8 + 0.04 \cdot t_{f2} + 6 \cdot \sqrt{V}. \quad (2.39)$$

4. Визначити загальні втрати тепла на охолодження теплоносія в утеплених трубопроводах зовнішніх теплових мереж за умови введення теплоізоляції на теплових мережах повітроводу відповідно до вимог щодо термічного опору чинної нормативної документації. Використовуючи формулу:

$$Q_{sum2} = \sum (q_n \cdot l) \cdot n \cdot k \cdot 0.86 \cdot 10^{-6}, \quad (2.40)$$

де q_n – норма щільності теплового потоку від поверхні ізолюваного трубопроводу відповідного діаметра, залежить від типу прокладки, діаметра і температури теплоносія, Вт/м;

l – довжина ізолюваного трубопроводу відповідного діаметра, м;

n – кількість годин роботи відповідної ділянки ізолюваного трубопроводу в планованому періоді, год;

k – коефіцієнт, що враховує різницю температури навколишнього середовища від + 5 °С.

Втрати тепла при інших температурах навколишнього середовища визначаються множенням на коефіцієнт:

$$k = \frac{t_f - t_{in}}{5 + t_{in}}, \quad (2.41)$$

де t_f – фактична температура навколишнього середовища, °С;

t_{in} – температура робочої речовини в трубі або в ємності, °С.

З такими коефіцієнтами приблизно можна прийняти тепловтрати при температурі теплоносія від 100 до 50 °С. Проміжні значення норм густини теплового потоку визначають інтерполяцією.

Визначення енергоефективності від впровадження автоматизованих систем контролю теплового режиму приміщень. Вихідні дані для розрахунку визначаються за результатами натурного обстеження або проектними параметрами будівлі, її призначенням, режимом експлуатації та іншими даними, зазначеними в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Вихідні дані для розрахунку ефективності енергозберігаючого заходу

| № | Ім'я параметра | Одиниця виміру | Прозначення |
|----|--|----------------|-------------------|
| 1 | Загальна площа стін | м ² | F _w |
| 2 | Товщина і-го шару стін | м | l _{wi} |
| 3 | Матеріал і-го шару стін | — | — |
| 4 | Загальна площа віконних прорізів | м ² | F _{win} |
| 5 | Товщина скла у віконних прорізах | м | l _{wini} |
| 6 | Кількість стекол у віконних прорізах | од. | — |
| 6 | Загальна площа мансардних поверхів | м ² | F _{af} |
| 7 | Товщина і-го шару горищних перекриттів | м | l _{afi} |
| 8 | Матеріал і-го шару горищних перекриттів | — | — |
| 9 | Загальна площа | м ² | F _f |
| 10 | Товщина і-го шару перекриттів | м | l _{fi} |
| 11 | Матеріал і-го шару перекриттів | | |
| 12 | Загальний час за опалювальний сезон, короткочасна відсутність людей у приміщенні тривалістю одного інтервалу від 8 до 16 год. | Год | τ ₁ |
| 13 | Загальний час за опалювальний сезон, середньострокова відсутність людей у приміщенні тривалістю одного інтервалу від 16 до 64 год. | Год | τ ₂ |
| 14 | Загальний час за опалювальний сезон, довготривала відсутність людей у приміщенні з тривалістю одного інтервалу більше 64 год. | Год | τ ₃ |
| 15 | Висота стель в кімнаті | м | h |

Економія енергоресурсів протягом опалювального сезону внаслідок впровадження оптимального тимчасового температурного режиму – ΔQ визначається за формулою [98]:

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^3 \left(\Delta t_i \cdot \tau_i \cdot \left(\sum_{j=1}^4 3600 \cdot k_j \cdot F_j + c \cdot m_{inf} \right) \right), \quad (2.42)$$

де Δt_i – рекомендоване значення зниження температури в приміщенні за відсутності людей, прийняте згідно з таблицею 10, °С;

k_1, k_2, k_3, k_4 – коефіцієнти теплопередачі зовнішніх стін, стелі, вікон та підлоги відповідно, визначені за формулою (2.12), Вт/(м² К);

F_i – площа елементів огорожувальних конструкцій, у тому числі зовнішніх стін, вікон, підлоги, стелі; приймається згідно з табл. 2.9, м²;

c – масова теплоємність повітря; у розрахунках орієнтовно прийнято значення $c = 1005$ Дж/(кг·К);

m_{inf} – маса повітря, що надходить у приміщення з інфільтратом за годину визначається за формулою (2.13), кг;

τ_1, τ_2, τ_3 – загальна тривалість короткочасної, середньочасової та довготривалої відсутності людей у приміщенні протягом опалювального сезону відповідно, год; приймається згідно з табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Рекомендоване значення зниження температури в приміщенні за відсутності людей

| № | Разова тривалість відсутності людей, год. | Δt_i , °С |
|---|---|-------------------|
| 1 | Короткочасна від 8 до 16 годин | 3 |
| 2 | Середньострокова від 16 до 64 годин | 4 |
| 3 | Довготривала, більше 64 годин | 5 |

Економія енергоресурсів протягом опалювального сезону в результаті впровадження оптимального тимчасового температурного режиму ΔQ може бути виражена як в кВт·год так і у Дж з використанням виразу, що відображає співвідношення цих величин: $1 \text{ Дж} \approx 2,78 \cdot 10^{-7} \text{ кВт} \cdot \text{год}$.

Висновки до розділу 2

1. Створено та науково обґрунтовано доцільність практичної реалізації методу раціонального впровадження природоохоронних технологій (РВПТ) на об'єктах соціальної інфраструктури, яким передбачається скорочення інвестиційних витрат на процес впровадження за рахунок використання його потенціалу самофінансування, що дозволяє підвищити ефективність декарбонізації урбанізованих територій.

2. Удосконалено метод багатокритеріального аналізу ефективності процедур впровадження природоохоронних технологій шляхом розподілу екологічних показників по групах за ознакою отриманого ефекту: декарбонізація, ресурсозбереження, енергозбереження, захист довкілля та ін., що дозволяє підвищити інформативність такого аналізу та аргументованість прийнятих на його основі технічних рішень щодо екологічної модернізації досліджуваного об'єкту інфраструктури.

3. Дістала подальшого розвитку математична модель енергоефективності систем теплопостачання та теплозабезпечення об'єктів соціальної інфраструктури шляхом їхнього представлення у вигляді єдиного технічного комплексу «виробник-транспортувальник-споживач теплової енергії», що дозволяє підвищити ефективність практичної реалізації методу РВПТ в таких комплексах та їхніх елементах.

4. Розроблено математичні моделі оцінки ефективності енергозберігаючих заходів при виробництві, транспортуванні та споживанні теплової енергії в комунальному господарстві. Розглянуто наступні ЕЕЗ: при виробництві теплової енергії: використання альтернативних джерел тепла – теплового насоса, геліосистеми, газових конденсаційних котлів; при транспортуванні теплової енергії: впровадження попередньо ізольованих труб зовнішніх теплових мереж замість трубопроводів у традиційній ізоляції або трубопроводів без ізоляції; при використанні теплової енергії: термомодернізація ОК та ІТП будинків, використання автоматизованих систем контролю за тепловими режимами приміщень.

РОЗДІЛ 3 ОПИС НАТУРНИХ ОБ'ЄКТІВ СОЦІАЛЬНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА КОМПЛЕКСУ ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВІДПРАЦЮВАННЯ МЕТОДУ РВПТ

В даному розділі представлено результати досліджень, проведених за такими напрямками:

- аналіз об'єктів соціальної інфраструктури обраних для відпрацювання методу РВПТ:
- формування комплексу природоохоронних технологій для відпрацювання методу РВПТ на натурних об'єктах;
- верифікація математичної моделі енергоефективності систем теплопостачання інфраструктурних об'єктів.

3.1 Характеристика об'єктів соціальної інфраструктури обраних для відпрацювання методу РВПТ

Для досліджень ефективності методу РВПТ було обрано три різних за призначенням натурних об'єкти (НО) сфери освіти, якими є: НО №1 – навчально-спортивний корпус Вінницького національного технічного університету (далі ВНТУ), НО №2 – типова будівля гуртожитку ВНТУ, НО №3 навчально-академічний корпус ВНТУ. В табл. 4.1 наведені результати оцінки поточного технічного та еколого-економічного стану НО №1-3 до впровадження природоохоронних ЕЕЗ. Зазначені об'єкти мають централізоване теплопостачання від районної котельні Комунального підприємство Вінницької міської ради «Вінницяміськтеплоенерго», яка розташована в межах міста Вінниця та працює на розрахунковому проектному виді палива – природному газі. Будівлі натурних об'єктів мають різні режими експлуатації, різні геометричні розміри та різний початковий енерго-екологічний стан, який оцінювався за значеннями середньої фактичної питомої енергопотребі за три роки стабільної роботи та іншими показниками прогнозованого та фактичного

річного та довгострокового рівнів енергопотреб. При обранні досліджуваних об'єктів соціальної інфраструктури використовувався принцип забезпечення максимальної репрезентативності.

Загальний вигляд досліджуваних натурних об'єктів представлено на рис. 4.14, результати комплексної оцінки поточного технічного та еколого-економічного стану цих об'єктів, проведеної з використанням методології ПРВ ЕЕЗ [81] та математичного апарату методу РВПТ, наведено в табл. 4.1.

Детальну інформацію про натурні об'єкти, необхідну для проведення досліджень, систематизовано у формі спеціально розроблених опитувальних листів.

3.1.1 Характеристика натурального об'єкту НО №1 – навчально-спортивного корпусу закладу освіти. Спорткорпус ВНТУ має будівлю 1986 р. забудови, являє собою 2-поверхову будівлю з опалювальним підвальним приміщенням під всією будівлею, та мансардовим поверхом над всією будівлею, загальною опалювальною площею 2282,0 м² (рис. 4.1). Згідно з технічною документацією будівельний об'єм НО №1 складає 8024,0 м³, також за проектом передбачена централізована система гарячого водопостачання, яка з 90-х років не використовується та частково демонтована. Будівлею використовуються наступні види паливно енергетичних ресурсів (ПЕР): тепла енергія у вигляді гарячої води на забезпечення потреб опалення; електрична енергія на забезпечення потреб гарячого водопостачання та внутрішнього освітлення.

Теплопостачання на потреби опалення будівлі НО №1 здійснюється централізовано від теплових мереж КП ВМР «ВІННИЦЯМІСЬКТЕПЛО-ЕНЕРГО». Внутрішньо будинкова система опалення в двотрубному виконанні із нижнім розведенням теплоносія та обладнана чавунними секційними радіаторами опалення М-140 без терморегуляторів. Індивідуальний тепловий пункт (далі ІТП) із автоматикою контролю та регулювання обсягів споживання теплової енергії – відсутній. Внутрішньобудинкова система опалення спроектована для роботи за температурним графіком – 95-70 °С, фактичний температурний графік останніх 3-х років експлуатації наближений до – 80-60°С.

Фактичні витрати тепла на централізоване гаряче водопостачання та потреби примусової припливної вентиляції в будівлі відсутні. Фактичний річний обсяг споживання теплової енергії будівлею НО №1, усереднений за останні 3 роки, складає 385,5 МВт·год.

Фундамент будівлі виконаний із бетонних фундаментних блоків товщиною 400 мм. Підвал розташований під всією будівлею НО №1, є опалювальним та використовується як тир та бомбосховище.

Перекрыття між опалювальним простором підвалу та приміщеннями першого поверху – багатопустотна залізобетонна плита, що вкрита шаром ДСП в кабінетах і шаром кольорового полірованого бетону в загальних коридорах.

Підлога опалювального підвалу – шар бетону на гравії або щебні з природного каменю товщиною 100 мм та шар керамзитобетону на керамзитовому піску товщиною 80 мм.

Зовнішні стіни, загальною площею 980,7 м², виконані з керамічної повнотілої цегли на цементно-піщаному розчині, вкриті зовні шаром цементної штукатурки за технологією «шуба», із середини – шаром вапняно-піщаного розчину; загальна товщина стінової конструкції складає 0,424 м. Приведений опір теплопередачі зовнішньої стіни складає 0,65 (м²·К)/Вт, що не відповідає діючим нормам [99], які вимагають мати опір не менший за 3,0 (м²·К)/Вт.

Покрівля є частково суміщеною та частково скатною не опалювального горища вкритою метало-профільним оцинкованим сайдингом, суміщеним покриттям та загальною площею 333,8 м². Покрівля має наступну конструкцію: дерев'яні стропила зовні підбиті дерев'яними кроквами на які вкрито шар руберойду та шар утеплювача у вигляді мінеральної вати товщиною 100 мм, зверху утеплювач вкрито шаром руберойду та метало-профільним оцинкованим сайдингом. Із середини приміщень суміщене покриття підшите шаром ДПВ. Приведений опір теплопередачі наявного суміщеного покриття складає 1,80 (м²·К)/Вт, що не відповідає діючим нормам які вимагають мати опір не менший за 5,3 (м²·К)/Вт. Горищне покриття має загальну площу 312,4 м², є холодним, не вентильється зовнішнім повітрям, перекрите залізобетонними плитами без шару

утеплювача у будь якого виконанні. Приведений опір теплопередачі наявного горючого покриття складає $0,37 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$, що не відповідає діючим нормам які вимагають мати опір не менший за $4,5 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$.

Наявні в будівлі НО №1 світлопрозорі конструкції мають різне конструктивне виконання, яке можна згрупувати по таких видах: ПВХ-профілі із однокамерними склопакетами $4M_1-18-4M_1$ (газове середовище – повітря) із загальною площею $11,4 \text{ м}^2$; приведений опір теплопередачі наявних світлопрозорих конструкції складає $0,32 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$; дерев'яні спарені переплети із подвійним склінням загальною площею $175,1 \text{ м}^2$, приведений опір теплопередачі наявних світлопрозорих конструкції складає $0,39 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$; скляні пустотілі блоки розмірами $244\times 244\times 98\text{мм}$ із загальною площею $29,8 \text{ м}^2$, приведений опір теплопередачі наявних світлопрозорих конструкції складає $0,33 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$, що не відповідає діючим нормам які вимагають мати опір не менший за $0,68 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$.

Наявні зовнішні двері мають різне конструктивне виконання, яке можна згрупувати по наступних видах: з алюмінієвого-профілю із одинарним склінням загальною площею $6,3 \text{ м}^2$, приведений опір теплопередачі наявних світлопрозорих конструкції складає $0,17 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$; дерев'яні, загальною площею $7,1 \text{ м}^2$, приведений опір теплопередачі наявних зовнішніх дверей складає $0,31 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$; сталеві не утеплені, загальною площею $1,5 \text{ м}^2$, приведений опір теплопередачі наявних зовнішніх дверей складає $0,17 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$, що не відповідає діючим нормам які вимагають мати опір не менший за $0,53 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$.

За ознакою тривалості фактичного використання приміщення будівлі можна поділити на 2 групи: використовуються з 8:00 до 18:00 (крім неділі) та з 1:00 до 16:00 у неділю. У святкові дні приміщення будівлі не використовуються.

Поточний екологічний стан НО №1 є таким: енергопотреба – $385,5 \text{ МВт}\cdot\text{год/рік}$; питоме енергоспоживання – $168,9 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2$; потреба в паливі – $38,7 \text{ тис. н. м}^3/\text{рік}$; викиди парникових газів – $20,6 \text{ тон. CO}_2/\text{рік}$; викиди забруднюючих речовин (NO_x) – $127,7 \text{ кг/рік}$.

Фактична середньорічна питома енергопотреба будівлі НО №1 на 1 м^2 загальної площі за останні 3 роки дорівнює $168,9 \text{ Вт/м}^2$ або на 1 м^3 опалювального об'єму – $55,2 \text{ Вт/м}^3$. Нормативна максимальна питома енергопотреба для будинків та споруд навчальних закладів $EP_{max} = 43,7 \text{ Вт/м}^3$ [99]. Тобто має місце перевищення питомої енергопотреби в 1,26 рази у порівнянні із граничним значення питомого енергоспоживання, та в 1,7 разів перевищує відповідний усереднений показник відповідних будівель для найрозвинутіших країн ЄС [81].

Висновок: будівля не відповідає сучасним державним вимогам щодо енергоефективності та потребує впровадження ЕЕЗ.

3.1.2 Характеристика натурального об'єкту №2 – типової будівлі гуртожитку закладу освіти. Будівля гуртожитку ВНТУ, 1990 року забудови, має дев'ять поверхів загальною опалювальною площею $8333,0 \text{ м}^2$ (рис. 4.1). Згідно з технічної документацією будівельний об'єм натурального об'єкту №2 складає $23147,2 \text{ м}^3$. Будівля має технічний поверх та неопалювальний підвал під всією будівлею. Будівлею використовуються наступні види паливно-енергетичних ресурсів: тепла енергія у вигляді гарячої води для забезпечення потреб опалення та централізованого гарячого водопостачання; електрична енергія для забезпечення потреб приготування їжі, внутрішнє освітлення та інші потреби.

Теплопостачання для забезпечення потреби опалення будівлі НО №2 здійснюється централізовано від теплових мереж КП ВМР «ВІННИЦЯМІСЬКТЕПЛО-ЕНЕРГО». Внутрішньо будинкова система опалення виконана в однотрубному виразі із верхнім розведенням теплоносія та обладнана радіаторами «Аккорд» без терморегуляторів. Під час обстеження встановлено, що трубопроводи внутрішньобудинкової системи опалення в підвальному приміщенні, які працюють протягом опалювального періоду, із загальною довжиною $148,7 \text{ м}$ в двотрубному виразі та зовнішнім діаметром від 57 мм до 89 мм , мають теплоізоляційний шар недостатньої товщини – 15 мм , через що температура на поверхні теплоізоляційного шару коливається в межах від $+25 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+28 \text{ }^\circ\text{C}$ при температурі теплоносія в падаючому трубопроводі $+72 \text{ }^\circ\text{C}$, та в

зворотному трубопроводі $+57\text{ }^{\circ}\text{C}$ при температурі оточуючого повітрям в підвальному приміщенні близько $+5,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Внутрішньобудинкова система опалення спроектована для роботи за температурним графіком – $95\text{-}70\text{ }^{\circ}\text{C}$, фактичний температурний графік останніх 3-х років наближений до – $80\text{-}60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Індивідуальний тепловий пункт із автоматикою контролю та регулювання обсягів споживання теплової енергії на потреби опалення – відсутній. В наявності є ІТП для забезпечення потреб в централізованому гарячому водопостачанні. Фактичний річний обсяг споживання теплової енергії будівлею, усереднений за останні 3 роки, складає $1233,3\text{ МВт}\cdot\text{год}$.

Фундамент будівлі стрічковий і складається з фундаментних бетонних блоків товщиною 600 мм . Перекриття між неопалювальним простором підпілля та кондиційованим об'ємом гуртожитку має загальну площу $1395,0\text{ м}^2$ являє собою багатопустотну залізобетонну плиту із шаром утеплювача з керамзитобетону товщиною 150 мм , вкритого шаром ДСП та паркетом в житлових кімнатах та керамічною плиткою в коридорах та санвузлах. Приведений опір теплопередачі переkritтя складає $0,73\text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$, що не відповідає діючим нормам які вимагають мати опір не менший за $3,8\text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$.

Зовнішня стіна, загальною площею $5285,3\text{ м}^2$, виконана з силікатної звичайної повнотілої цегли на цементно-піщаному розчині, оздобленої зовні цементно-піщаною а з середини – вапняно-піщаною штукатуркою, загальна товщина зовнішньої стінової конструкції складає $0,56\text{ м}$. Приведений опір теплопередачі зовнішньої стіни складає $0,74\text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$, що не відповідає діючим нормам які вимагають мати опір не менший за $3,0\text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$.

Покрівля є плоскою, вкритою чотирма шарами руберойду. Горищне переkritтя, загальною площею $1394,0\text{ м}^2$, холодне, не вентилується зовнішнім повітрям, переkritте залізобетонними плитами вкритими шаром шлакового гравію товщиною 50 мм . Приведений опір теплопередачі наявного горищного переkritтя складає $0,68\text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$, що не відповідає діючим нормам які вимагають мати опір не менший за $4,5\text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$.

Наявні світлопрозорі конструкції мають наступне конструктивне виконання: із подвійним склінням в дерев'яних спарених переплетах загальною площею 1019,2 м², приведений опір теплопередачі наявних світлопрозорих конструкції складає 0,39 (м²·К)/Вт, що не відповідає діючим нормам які вимагають мати опір не менший за 0,68 (м²·К)/Вт.

Наявні зовнішні двері будівлі мають різне конструктивне виконання, його можна охарактеризувати як дерев'яні із загальною площею 13,44 м², приведений опір теплопередачі наявних зовнішніх дверей складає 0,31 (м²·К)/Вт, що не відповідає діючим нормам які вимагають мати опір не менший за 0,53 (м²·К)/Вт. За ознакою тривалості фактичного використання приміщень будівлі її можна охарактеризувати як звичайний житловий будинок.

Поточний енерго-екологічний стан НО №2 є таким: енергопотреба будівлі – 1233,3 МВт·год/рік; питоме енергоспоживання – 148,0 кВт·год/м²; потреба в паливі – 152,1 тис.н.м³/рік; викиди парникових газів (СО₂) – 80,8 т/рік; викиди забруднюючих речовин (NO_x) – 501,7 кг/рік.

Фактична середньорічна питома енергопотреба на 1 м² загальної площі за останні 3 роки дорівнює 148,0 Вт/м². Нормативна максимальна питома енергопотреба для будинків та споруд навчальних закладів становить: $EP_{max} = 85,0$ Вт/м² [100]. Тобто має місце перевищення питомої енергопотреби в 1,74 рази у порівнянні із граничним значення питомого енергоспоживання та у 1,5 рази перевищує відповідний усереднений показник будівель даного типу для найбільш розвинутих країн ЄС [81]. Висновок дослідження: будівля не відповідає сучасним державним вимогам щодо енергоефективності та потребує впровадження ЕЕЗ.

3.1.3 Характеристика натурального об'єкту №3 – адміністративно-навчального корпусу закладу освіти. Навчальний корпус №1 ВНТУ – це будинок 1968 року забудови, має 4-поверховий основний об'єм прямокутної форми та 1-поверхову прибудову із трьома великими лекційними аудиторіями П-образної форми, загальною опалювальною площею – 6926,8 м² (див. рис. 4.1). Згідно з технічної документацією будівельний об'єм НО №3 складає 24756,0 м³.

Будівля має двоскатне горишне покриття та неопалювальне і не вентилязоване підпілля під всією будівлею. Будівлею використовуються наступні види паливно-енергетичних ресурсів: теплова енергія у вигляді гарячої води для забезпечення потреб опалення; електрична енергія для забезпечення потреб внутрішнього освітлення та роботи навчального та офісного електроспоживаючого обладнання.

Теплопостачання для потреби опалення будівлі НО №3 здійснюється централізовано від теплових мереж КП ВМР «Вінницяміськтеплоенерго». Внутрішньо будинкова система опалення виконана в двотрубному виразі із нижнім розведенням теплоносія та обладнана чавунними радіаторами М-140 без терморегуляторів. Під час обстеження встановлено, що трубопроводи внутрішньобудинкової системи опалення прокладені в технічних каналах із загальною довжиною 497,6 м в двотрубному виразі, мають зовнішній діаметр від 57 мм до 89 мм, зовнішній теплоізоляційний шар у трубопроводів відсутній.

Внутрішньобудинкова система опалення спроектована для роботи за температурним графіком – 95-70 °С, фактичний температурний графік останніх 3-х років експлуатації наближений до – 80-60°С. Фактичні витрати тепла для забезпечення централізованого гарячого водопостачання та потреб примусової припливної вентиляції на НО №3 відсутні. Фактичний річний обсяг споживання теплової енергії будівлею, усередненої за останні 3 роки, складає 1569,5 МВт·год.

Фундамент будівлі є стрічковим з глиняною звичайною повнотілою цеглою товщиною 650 мм. Перекриття над підпіллям має загальну площу 2960,0 м² та наступне виконання: підлога в кабінетах оздоблена лінолеумом та керамічною плиткою в коридорах на керамзитобетонному прошарку товщиною 80 мм, який вкриває залізобетонну основу. Приведений опір теплопередачі переkritтя складає 0,65 (м²·К)/Вт, що не відповідає діючим нормам які вимагають мати опір не менший за 3,75 (м²·К)/Вт.

Зовнішня стіна має загальну площу 3151,2 м², виконана з глиняної звичайної цегли на цементно-піщаному розчині оздобленої зовні глянцевою керамічною плиткою, з середини – вапняно-піщаною штукатуркою; загальна товщина

зовнішньої стінової конструкції складає 0,61 м. Приведений опір теплопередачі зовнішньої стіни складає 0,91 (м²·К)/Вт, що не відповідає діючим нормам, за якими опір теплопередачі має бути не меншим ніж 3,0 (м²·К)/Вт.

Скатна покрівля будівлі НО №3 вкрита азбестоцементним шифером. Горищне перекриття, загальною площею 2960,0 м² є холодним, вентилується зовнішнім повітрям, перекрите залізобетонними плитами, які вкриті шаром шлакового гравію товщиною у 50мм. Приведений опір теплопередачі наявного горищного перекриття складає 0,65 (м²·К)/Вт і не відповідає діючим нормативним вимогам, за якими опір теплопередачі має бути не меншим ніж 4,50 (м²·К)/Вт.

Наявні світлопрозорі конструкції виконані на 100% з ПВХ-профілів із однокамерними склопакетами 4М₁-18-4М₁ (газове середовище – повітря) загальною площею 1439,4 м². Приведений опір теплопередачі наявних світлопрозорих конструкції складає 0,32 (м²·К)/Вт, що не відповідає діючим нормам, за якими опір теплопередачі має бути не меншим ніж 0,68 (м²·К)/Вт.

Зовнішні двері є дерев'яними, складаються із ПВХ-профілів, мають загальну площу – 10,1 м². Приведений опір теплопередачі наявних вхідних дверей складає 0,42 (м²·К)/Вт, що не відповідає діючим нормам, за якими опір теплопередачі має бути не меншим ніж 0,53 (м²·К)/Вт.

За ознакою тривалості фактичної експлуатації приміщення будівлі можна поділити на 2 групи: використання з 8:00 до 18:00 (крім суботи та неділі), відсутність використання у вихідні та святкові дні.

Поточний енерго-екологічний стан НО №3 є таким: енергопотреба будівлі становить – 1569,5 МВт·год/рік; питоме енергоспоживання – 226,6 кВт·год/м²; потреба в паливі – 169,4 тис. н. м³/рік; викиди парникових газів (СО₂) складають – 90,0 т/рік; викиди забруднюючих речовин (NO_x) – 559,0 кг/рік.

Фактична середньорічна питома енергопотреба будівлі на 1 м² загальної площі за останні 3 роки дорівнює 226,6 Вт/м², на 1 м³ опалювального об'єму – 69,5 Вт/м³. При цьому нормативна максимальна питома енергопотреба для будинків та споруд навчальних закладів становить $EP_{max} = 49,6$ Вт/м³ [100]. Таким чином має місце перевищення питомої енергопотреби в 1,40 рази у порівнянні із

граничним значення питомого енергоспоживання, та перевищення у 2,27 разів відповідного усередненого показника для будівель даного типу у найбільш розвинутих країнах ЄС [81].

Висновок дослідження: будівля НО №3 не відповідає сучасним державним та міжнародним нормативним вимогам щодо енергоефективності та потребує впровадження ЕЕЗ.

3.2 Природоохоронні енергоефективні технології обрані для досліджень ефективності методу РВПТ

Для описаних об'єктів соціальної інфраструктури, обраних для вивчення методу РВПТ, сформовано комплекс ресурсо- та енергозберігаючих заходів, які використовувались в ході подальших експериментальних та розрахункових досліджень. Нижче наведено перелік цих заходів.

1. *Термомодернізація будівлі* – захід, що передбачає виконання комплексу робіт, результатом яких є підвищення термічного опору огорожувальних конструкцій будівлі [92], а саме: зовнішніх стін, суміщених покрівель, горищних покриттів, підлог першого поверху по ґрунту та над неопалювальними об'ємами; заміна світлопрозорих конструкцій та входних дверей на сучасні – з метою підвищення їх герметичності та опорів теплопередачі із досягнення рівнів, що відповідають вимогам ДБН В.2.6-31 [99].

2. *Модернізація трубопроводів систем загального теплопостачання, систем опалення та гарячого водопостачання а також запірної арматури на зазначених трубопроводах* – захід, що передбачає: виконання робіт заміни існуючої теплової ізоляції на трубопроводах та на них розташованій запірній арматурі [101] або виконання повної заміни зазначених трубопроводів на попередньо ізольовані з метою підвищення їхнього опору теплопередачі до рівнів, що відповідають вимогам діючої нормативної документації.

3. *Реконструкція системи гарячого водопостачання шляхом заміни застарілих моделей теплообмінників на сучасні компактні пластинчасті теплообмінники відповідної теплової потужності, із обов'язковим їх теплоізолюванням подальшому [102].* Конструктивні особливості пластинчастих теплообмінних апаратів мають підвищений тепловий ККД та меншу зовнішню поверхню, що дозволяє отримати менші технологічно неминучі втрати теплової енергії у порівнянні із застарілими моделями теплообмінників.

4. *Модернізація системи вентиляції шляхом впровадження теплоутилізаційних установок в загальнообмінну систему вентиляції.* Зазначена модернізація передбачає реконструкцію існуючої системи вентиляції шляхом впровадження в них теплоутилізаційних установок [102]. Зазначене теплоутилізаційне устаткування дозволяє зменшити витрати енергії на опалення та охолодження за рахунок відлучення теплової енергії від повітря, що викидається з будівлі через витяжну вентиляційну систему та її передачі до повітря, яке подається в будівлю через припливну систему вентиляції.

5. *Реконструкція існуючих або будівництво нових котельнь із впровадженням енергоефективних газоконденсаційних чи твердопаливних котлів.* Реконструкція передбачає заміну застарілого паливовикористовуючого обладнання на сучасні газові конденсаційні або твердопаливні котли з підвищеним коефіцієнтом корисної дії [103]. Одночасно під час проведення реконструкції має бути здійснено впровадження автоматики контролю процесу горіння, та автоматичне регулювання температурного режиму теплоносія на виході із котельні в залежності від погодних умов.

6. *Впровадження геліосистеми (ГС) в якості альтернативного джерела теплопостачання* – обладнання, яке дозволяє перетворити сонячне теплонадходження в теплову енергію теплоносія, що забезпечує функціонування гарячого водопостачання досліджуваного об'єкту без використання традиційного палива [104]. В кліматичних умовах України геліосистеми дозволяють забезпечити річну потребу в гарячому водопостачанні на 40-60%. Зазначена технологія може бути повністю

екологічно нейтральною за умови виробництва електричної енергії, що споживається насосами і автоматикою керування зазначеної системи, екологічно чистими джерелами – вітровими генераторами і сонячними фотопанелями.

7. Використання в якості альтернативного джерела теплопостачання теплових насосів [105]. Тепловий насос дозволяє опанувати низько потенційне тепло навколишнього середовища (зовнішнього повітря, проточних ґрунтових або поверхневих вод, ґрунту) через випарювання холодоагентів в зовнішніх контурах. Зазначена технологія споживає електроенергію але дозволяє зменшити загальне споживання енергії для забезпечення потреб систем опалення та гарячого водопостачання в 3-5 разів в залежності від типу теплового насосу і ККД обладнання.

8. Впровадження «Smart технологій» в системах опалення – захід, що передбачає використання регулюючих приладів та органів керування нагрівальних приладів внутрішньої системи опалення будинків, дозволяє, без участі та присутності людини, керувати системою опалення, шляхом підтримання температури внутрішнього повітря на заданому рівні або змінювати зазначену температуру протягом доби по заданому алгоритму в автоматичному режимі [106].

3.3 Верифікація математичних моделей методу РВПТ на натурних об'єктах соціальної інфраструктури

Експериментальне відпрацювання математичної моделі для комплексної оцінки ефективності енергозберігаючих заходів проводилась на базі натурального об'єкта складної технічної системи «виробник-споживач теплової енергії», за який було обрано будівлю закладу освіти 1993 року забудови [107] (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд досліджуваної будівлі закладу освіти

На основі аналізу технічної документації, результатів зовнішнього та внутрішнього обстеження природного об'єкта, усереднених даних про місячне та річне теплоспоживання будівлі запропоновано комплекс енергозберігаючих заходів, який включає:

– *захід №1* – термомодернізація огорожувальних конструкцій, яка передбачає виконання робіт із застосування теплоізоляційних матеріалів на огорожувальних конструкціях з метою підвищення опору їх теплопередачі до рівнів, що відповідають вимогам сучасних нормативних документів;

– *захід №2* – впровадження технології управління режимом опалення приміщень «розумний будинок», яка передбачає використання системи HERZ Smart Comfort [106] або її аналога для автоматизованого регулювання теплового режиму приміщень будівлі з урахуванням їх актуальної потреба в комфортній тепловій енергії;

– *захід №3* – термомодернізація індивідуальних теплових пунктів (ІТП) будівлі, яка передбачає покращення теплоізоляції трубопроводів та обладнання ІТП з метою підвищення опору їх теплопередачі до рівнів, що відповідають вимогам сучасних нормативних документів;

– *захід №4* – використання додаткового альтернативного джерела теплопостачання – геліосистеми, яка передбачає використання 180 сонячних колекторів [104] для перетворення сонячної теплової енергії в теплову енергію теплоносія, забезпечення функціонування систем опалення та гарячого теплопостачання досліджуваної будівлі та, при необхідності, інших будівель;

– *захід №5* – використання енергоефективних газових конденсаційних котлів [103] як основного джерела теплопостачання, що передбачає заміну застарілих газових котлів в системі опалення будинку на сучасні газові конденсаційні котли підвищеної ефективності.

Вихідними даними для оцінки ефективності запропонованих енергозберігаючих заходів були використані екологічні, енергетичні та економічні показники, що характеризують сучасний стан досліджуваної будівлі (табл. 3.1).

Результати комплексної оцінки ефективності енергозберігаючих заходів № 1-5 з використанням математичних моделей, наведених у підрозділах 2.2 і 2.3, показали наступне (рис. 3.2):

– *захід №1* є найефективнішим із рекомендованих енергозберігаючих заходів, що дозволяє зменшити втрати теплової енергії системи теплоспоживання в опалювальний період та отримати такий річний ефект: енергія: економія теплової енергії – 908,8 Гкал або 48,5%; екологічні: зменшення споживання природного газу – 115 тис.м³, скорочення викидів CO₂ та NO_x в атмосферу – 223,5 т та 0,245 т, відповідно; економічний: зменшення плати за опалення – 1740,2 тис. грн.;

– *захід №2* дозволяє зменшити втрати теплової енергії системою теплоспоживання в опалювальний період та отримати наступний річний ефект: енергетичний: економія теплової енергії – 130,3 Гкал або 7,0%; екологічні: зменшення споживання природного газу – 16,5 тис.м³, скорочення викидів CO₂ та NO_x в атмосферу – 32,0 т та 0,035 т, відповідно; економічний: зменшення плати за опалення – 249,5 тис. грн.;

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для комплексної оцінки ефективності енергозберігаючих заходів № 1-5

| Кратка спостереження | | Показники, що характеризують поточний стан об'єкт дослідження | | | | |
|----------------------|----|---|-------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|
| | | Енергетичний | Екологічні | | | Економічний |
| | | Q_0 , Гкал | V_{fuel} , тис. м ³ | M_{CO_2} , тон | M_{NO_x} , тон | C_{heat} , тис. грн. |
| Місяці року | 1 | 429,6 | 53,2 | 103,5 | 0,113 | 805,3 |
| | 2 | 378,6 | 47,9 | 93,1 | 0,102 | 724,9 |
| | 3 | 241,2 | 30,5 | 59,3 | 0,065 | 461,8 |
| | 4 | 104,2 | 13,2 | 25,6 | 0,028 | 199,5 |
| | 5 | 41,8 | 5,3 | 10,3 | 0,011 | 80,0 |
| | 6 | 10,6 | 1,3 | 2,6 | 0,003 | 20,3 |
| | 7 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,000 | 0,0 |
| | 8 | 1,7 | 0,2 | 0,4 | 0,000 | 3,3 |
| | 9 | 21,1 | 2,7 | 5,2 | 0,006 | 40,4 |
| | 10 | 128,3 | 16,2 | 31,6 | 0,035 | 245,7 |
| | 11 | 286,2 | 36,2 | 70,4 | 0,077 | 548,0 |
| | 12 | 226,7 | 28,7 | 55,8 | 0,061 | 434,1 |
| За рік | | 1870,3 | 236,7 | 460,0 | 0,504 | 3581,1 |

– захід №3 дозволяє зменшити втрати теплової енергії системою теплоспоживання протягом року та отримати такий річний ефект: енергетичний: економія теплової енергії – 118,7 Гкал або 6,3%; екологічні: зменшення споживання природного газу –15,0 тис. м³, скорочення викидів CO₂ та NO_x в атмосферу – 29,4 т та 0,032 т, відповідно; економічний: зменшення плати за теплову енергію – 227,1 тис. грн.;

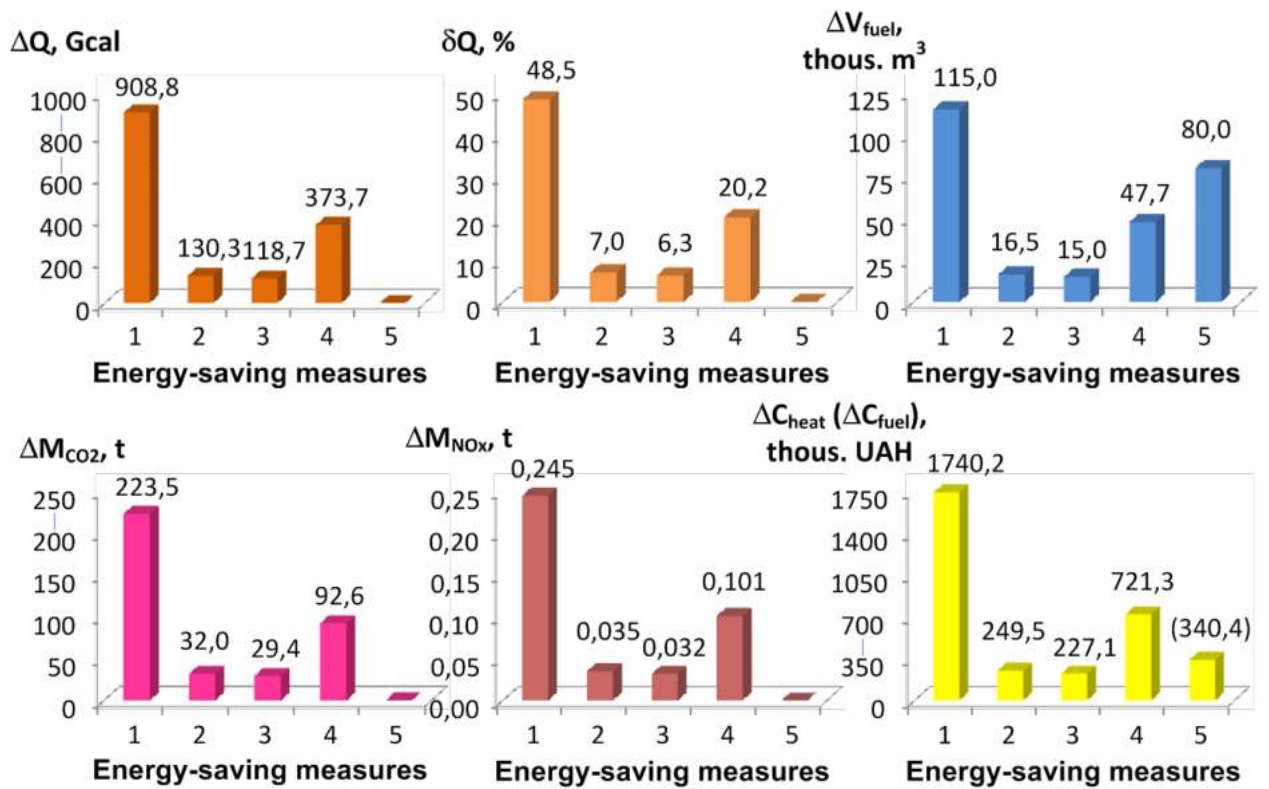


Рисунок 3.2 – Результати комплексної оцінки ефективності енергозберігаючих заходів № 1-5 за показниками енергетичного, екологічного та економічного ефектів

– захід №4 дозволяє протягом року отримати теплову енергію від сонячних теплонадходжень для системи теплопостачання і таким чином відбувається зменшення на відповідну кількість споживання теплової енергії що отримується від традиційного джерела енергії. Впровадження зазначеного заходу дозволяє отримати такий річний ефект: енергетика: додаткова кількість теплової енергії – 376,7 Гкал або 20,2%, з якої можна використати: для КЗ ХПДЮТ – 212,3 Гкал або 11,4%, інші будівлі (з травня по вересень) – 164,4 Гкал або 8,8%; при цьому забезпечується потреба КЗ ХПДЮТ в тепловій енергії: в період з травня по вересень – на 100%, в опалювальний період – на 2,8 ... 35,6%; екологічні: зменшення споживання природного газу 47,7 тис.м³, скорочення викидів CO₂ та NO_x в атмосферу – 92,6 т та 0,101 т відповідно; економічні: зменшення плати за теплову енергію – 721,3 тис. грн.; при цьому розрахунковий термін окупності заходу становить 5 років; при необхідності теплова потужність геліосистеми

може бути збільшена в 2,3 рази – до 880 Гкал/рік, якщо використовувати дах будівлі Б для розміщення додаткової кількості 240 сонячних колекторів;

– захід №5 дозволяє зменшити споживання природного газу для отримання необхідної кількості теплової енергії протягом року та отримати такий річний ефект: екологічний: зменшити споживання природного газу – 80,0 тис.м³; економічні: зменшення витрат на паливо – 340,4 тис. грн.; при цьому розрахунковий термін окупності заходу – 8,3 року.

Таким чином, у ході досліджень обраного натурного об'єкту продемонстровано практичну придатність математичної моделі для комплексної оцінки ефективності енергозберігаючих заходів, рекомендованих для складної технічної системи «виробник-постачальник-споживач» теплової енергії.

Висновки до розділу 3

1. Для досліджень ефективності методу РВПТ обрано три різних за призначенням натурних об'єкти (НО) сфери освіти, які розташовані на території Вінницького національного технічного університету: НО №1 – навчально-спортивний корпус, НО №2 – типова будівля гуртожитку, НО №3 – навчально-академічний корпус. Будівлі досліджуваних натурних об'єктів мають різні режими експлуатації, різні геометричні розміри та різний початковий енерго-екологічний стан, який оцінювався за значеннями середньої фактичної питомої енергопотреби за 3 роки експлуатації та іншими показниками прогнозованого і фактичного річного та довгострокового рівнів енергопотреби. При обранні досліджуваних об'єктів соціальної інфраструктури використовувався принцип забезпечення максимальної репрезентативності.

2. Для подальших експериментальних та розрахункових досліджень об'єктів соціальної інфраструктури, обраних для вивдпрацювання методу РВПТ, сформовано комплекс енергоефективних заходів: якими є: 1) термомодернізація будівлі, 2) модернізація трубопроводів систем загального тепlopостачання, 3) реконструкція системи гарячого водopостачання, 4) модернізація системи вентиляції, 5) впровадження енергоефективних газоконденсаційних чи

твердопаливних котлів, 6) впровадження геліосистем, 7) використання теплових насосів 8) впровадження «Smart технологій» в системах опалення будівель.

3. Підтверджено практичну придатність створених математичних моделей методу РВПТ в ході досліджень ефективності енергозберігаючих заходів, рекомендованих до впровадження на типовому натурному об'єкті – будівлі закладу освіти 1993 року забудови. Дана будівля розглядалась в якості складної технічної системи «виробник-постачальник-споживач теплової енергії». У ході досліджень проведено комплексну оцінку енергетичної, екологічної та економічної ефективності комплексу з 5-ти рекомендованих до впровадження на ЕЕЗ, до яких відносились: термомодернізація огорожувальних конструкцій будівлі, впровадження технології автоматизованого управління режимами опалення приміщень за допомогою системи HERZ Smart Comfort, термомодернізація індивідуальних теплових пунктів будівлі, використання альтернативних джерел теплової енергії – геліосистеми та енергоефективних газових конденсаційних котлів.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ СОЦІАЛЬНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА ОСНОВІ МЕТОДУ РВПТ

В даному розділі представлені результати комплексу досліджень по відпрацюванню методу РВПТ на об'єктах соціальної інфраструктури, які проводились за такими напрямками: 1) відпрацювання методики багатокритеріальної оцінки ефективності інноваційних енергоефективних технологій – «розумного» опалення та впровадження альтернативних систем теплопостачання – геліосистем; дослідження ефективності методу РВПТ при впровадженні рекомендованих енергоощадних технологій для обраних натурних об'єктах НО № 1-3, приведених у 3-му розділі.

4.1 Відпрацювання методики багатокритеріальної оцінки ефективності інноваційних енергоефективних технологій

4.1.1 Дослідження ефективності використання технології «розумного» опалення. В якості об'єкту дослідження обрано 3-поверхову будівлю навчального закладу [108], в якій розташовані різні за призначенням приміщення: навчальні аудиторії, науково-дослідницька лабораторія, конференц-зала та адміністративні кімнати (рис. 4.1). Будівля має загальну опалювальну площу 225,3 м², дві зовнішні стіни та дві внутрішні стіни, суміжні з опалювальними приміщеннями на кожному поверсі, опалювальний підвал та горище перекриття.

В результаті натурного обстеження будівлі визначені необхідні для теплотехнічних розрахунків конструктивні параметри огорожувальних конструкцій, середня фактична вартість питомого споживання теплової енергії для забезпечення потреб опалення, яка в опалювальному сезоні 2022-2023 років склала $q_{\text{averag}} = 97,5 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$.



Рисунок 4.1 – Загальний вигляд та технічні характеристики будівлі
обраної для досліджень ефективності «розумного» опалення

Виділена частина будівлі має дві зовнішні стіни та віконні прорізи, що виходять на північ. Співвідношення загальної площі віконних прорізів до площі зовнішніх стін значно перевищує середнє по всій будівлі. Виходячи з цього, можна припустити, що значення питомої витрати тепла в обраній секції будівлі буде перевищувати середнє значення питомої витрати тепла для всієї будівлі, яка визначалась за показами лічильників тепла. Середня температура всередині будівлі протягом опалювального сезону становила $t_{in} = +18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для досліджуваної будівлі рекомендовано впровадження технології «розумного» опалення, яка дозволяє управляти тепловими режимами приміщень за допомогою автоматизованої системи HERZ SmartComfort [106] або її аналога. Ця система являє собою набір компонентів для управління тепловим режимом приміщень в дистанційному режимі. У комплект системи входить (рис. 4.2):

- електронні терморегулятори ETKF+;
- датчик відкриття вікна;
- кімнатний термостат;



Рисунок 4.2 – Основні елементи автоматизованої системи HERZ Smart Comfort

- модуль комутації Cube+;
- термовимикач Eco SWITCH +.

Використання системи HERZ Smart Comfort відбувається наступним чином. Всі радіатори в будівлі оснащені електронними контролерами тепла ETKF+. У кожній кімнаті встановлений програмований кімнатний термостат, який вимірює температуру в приміщенні та дає команди терморегуляторам на їх відкриття або закриття. Наявна можливість безпосереднього керування електронним терморегулятором відповідно до температури повітря в кімнаті, але при цьому його ефективність знижується, оскільки регулятор встановлений безпосередньо на радіатор а штори, прямі сонячні промені та інші фактори можуть впливати його функціонування. Кімнатний термостат встановлюється на оптимальній висоті в глибині приміщення, де на нього не впливатимуть зовнішні фактори. У кожному вікні повинен бути встановлений датчик відкритого вікна. Для управління термостатами в дистанційній формі система повинна бути оснащена модулем Cube +, який знаходиться поруч з роутером і забезпечує підключення до Інтернету. Перемикач Eco SWITCH + використовується окремо, його робота впливає

на тепловий режим всієї будівлі, він встановлюється в коридорі і включається, коли останній співробітник залишає будівлю.

Автоматизоване регулювання теплових режимів опалювальних приміщень здійснюється наступним чином. Кімнатний термостат вимірює температуру в приміщенні і через терморегулятори змінює кількість теплоносія, що проходить через радіатор. Коли в кімнаті відкривається вікно, спрацьовує датчик відкритого вікна, і температура в приміщенні автоматично підтримується на рівні 17 °С (заводська настройка) або на іншому рівні, встановленому користувачем. За допомогою настінного терморегулятора встановлюється погодинна зміна температури в залежності від режиму присутності людини в приміщенні. Наприклад, вдень з 8-00 до 17-00, якщо в приміщенні нікого немає, можна встановити температуру 16 °С, яка після 17-00 повертається до 20 °С. Загалом протягом доби можна встановити 6 налаштованих теплових режимів у кімнатах. При цьому цими режимами можна керувати за допомогою смартфона, на якому встановлено спеціальне програмне забезпечення.

Переваги HERZ Smart Comfort. Основним фактором, що забезпечує ефективність даної системи опалення при раціональному використанні теплової енергії, є динамічність регулювання. У кожній кімнаті підтримується саме така температура, яка потрібна в даний момент, що забезпечує HERZ Smart Comfort.

Особливості HERZ Smart Comfort:

- температура контролюється і контролюється в кожному приміщенні;
- є можливість керувати опаленням за допомогою смартфона або ноутбука через Інтернет;
- передбачена автоматична зміна температури в приміщенні через певні проміжки часу (до 6 періодів на добу);
- є можливість дистанційно контролювати температуру в приміщеннях при зміні заданих налаштувань;
- тільки така система здатна реагувати на сонячні теплонадходження – відповідним зменшенням теплонадходжень від системи опалення і зарахунок цього отримувати додатковий енергозберігаючий та економічний ефекти;

– мінімізація тепловтрат при вентиляції.

За інформацією виробника, управління опаленням будівлі за допомогою системи HERZ Smart Comfort дозволяє економити до 60% теплової енергії.

Оцінка ефективності впровадження зазначеного енергозберігаючого заходу. У результаті аналізу фактичної потреби в комфортному теплозабезпеченні приміщень будівлі, за якої температура повітря в приміщенні має підтримуватися на рівні +20 °С, визначено показник відносної потреби будівлі в комфортному теплозабезпеченні – γ_{comf} (рис. 4.3):

$$\gamma_{\text{comf}} = \sum_{i=1}^3 \frac{S_{\text{hai}}}{S_{\text{ha}}} \cdot \gamma_{\text{comfi}} = \frac{79,2}{225,3} \cdot 0,18 + \frac{68,4}{225,3} \cdot 0,02 + \frac{77,7}{225,3} \cdot 0,27 = 0,16, \quad (4.1)$$

де S_{hai} – опалювальна площа i -го поверху будинку, м²;

γ_{comfi} – відносна потреба комфортного теплопостачання i -го поверху:

$$\gamma_{\text{comfi}} = \frac{\tau_{h(w)i}}{\tau_{h(w)}}, \quad (4.2)$$

де $\tau_{h(w)i}$ – середньотижнева тривалість періоду комфортного теплопостачання в опалювальний сезон для i -го поверху, год;

$\tau_{h(w)}$ – тривалість тижневого періоду – 168 год.

У подальших розрахунках було прийнято, що в приміщеннях, які потребують комфортного тепла, система HERZ SmartComfort підтримує комфортний тепловий режим з температурою $t_{\text{in}}^{\text{comf}}$, а в інших приміщеннях – економний режим з температурою $t_{\text{in}}^{\text{econ}}$, яка нижче $t_{\text{in}}^{\text{comf}}$ на 4,0°С і дорівнює 16°С.

Показники енергоефективності від використання системи регулювання теплових режимів для всіх приміщень об'єкта №1 визначено за формулами (без урахування теплової інерції будівлі):

$$\delta Q = (1 - \gamma_{\text{comf}}) \cdot \frac{t_{\text{in}}^{\text{comf}} - t_{\text{in}}^{\text{econ}}}{t_{\text{in}}^{\text{comf}} - t_{\text{out(a)}}} \cdot 100\% = (1 - 0,16) \cdot \frac{20 - 16}{20 - (-0,8)} \cdot 100\% = 17\%, \quad (4.3)$$

де $t_{\text{out(a)}} = -0,8$ °С – середня температура повітря за опалювальний період;

$$\Delta Q = (q \cdot S_{\text{ha}}) \cdot \frac{\delta Q}{100} \cdot 10^3 = (97,5 \cdot 225,3) \cdot \frac{17}{100} = 3734 \text{ kW} \cdot \text{h}, \quad (4.4)$$

де $q = 97,5$ (кВт·год)/м² – фактичне питоме теплоспоживання будівлі.

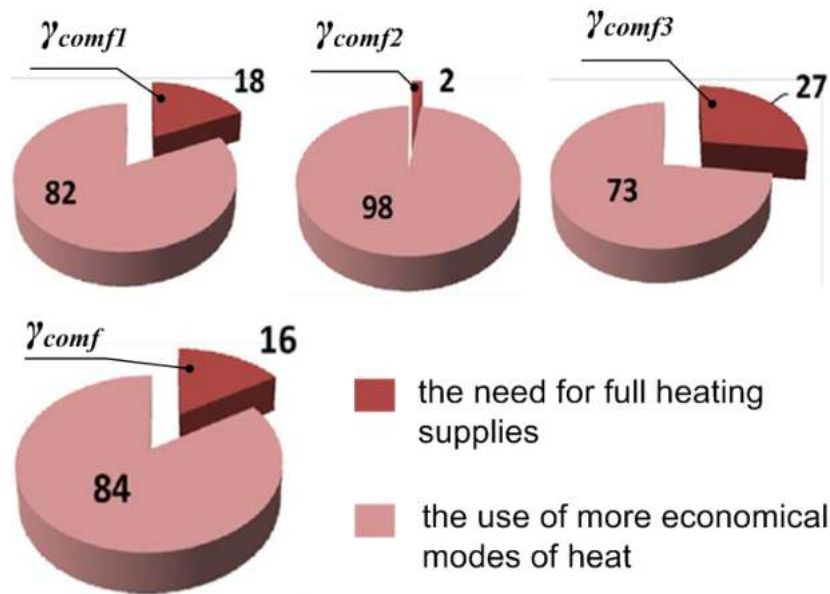


Рисунок 4.3 – Результати аналізу потреби в приміщень будівлі в комфортному теплозабезпеченні

За формулами (2.4) – (2.7) визначено показники еколого-економічного ефекту від впровадження енергозберігаючого заходу на опалювальний період, отримані результати склали: зменшення споживання природного газу на опалення – $\Delta V_{fuel} = 406,4 \text{ м}^3$; зменшення викидів CO_2 та NO_x в атмосферу – $\Delta M_{\text{CO}_2} = 789,1 \text{ кг}$; $\Delta M_{\text{NO}_x} = 0,86 \text{ кг}$; зменшення плати за використання теплової енергії та палива $\Delta C_{hc} = 4441 \text{ грн}$ та $-\Delta C_{fuel} = 4041 \text{ грн}$.

На базі обраної будівлі, яка розглядалась як фізична модель для типових будівель та інших за призначенням будівель, проведено оцінку ефективності використання системи HERZ Smart Comfort в усіх приміщеннях досліджуваного навчального корпусу (загальна опалювальна площа 5821 м^2), усіх приміщеннях навчального закладу (загальна опалювальна площа 51186 м^2) та приміщеннях лікарень і житлових будинків з однаковими опалювальними площами (рис. 4.4, 4.5).

Результати відпрацювання методики багатокритеріального оцінювання ефективності інноваційних ЕЕЗ підтвердили її інформативність та можливість використання під час математичного та фізичного моделювання енерго-екологічного стану технічних систем «виробник-споживач теплової енергії».

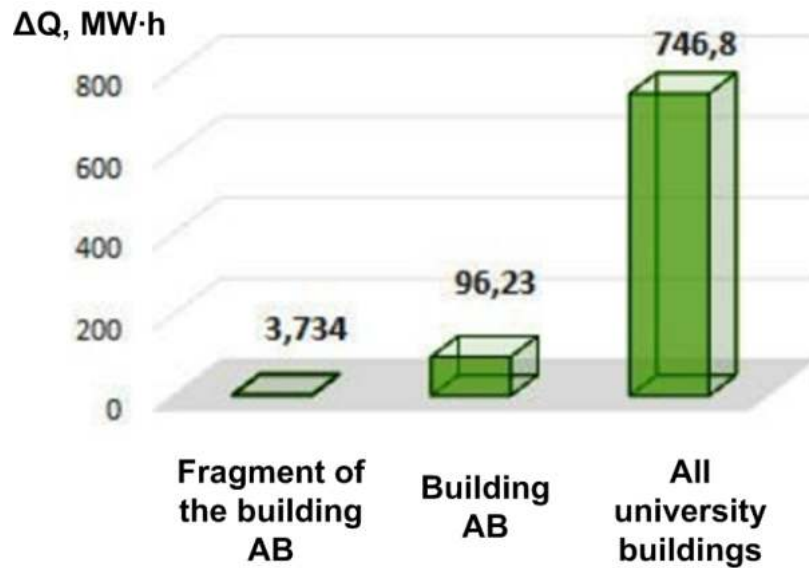


Рисунок 4.4 – Результати оцінки ефективності використання технології «розумного» опалення в різних приміщеннях досліджуваного закладу освіти

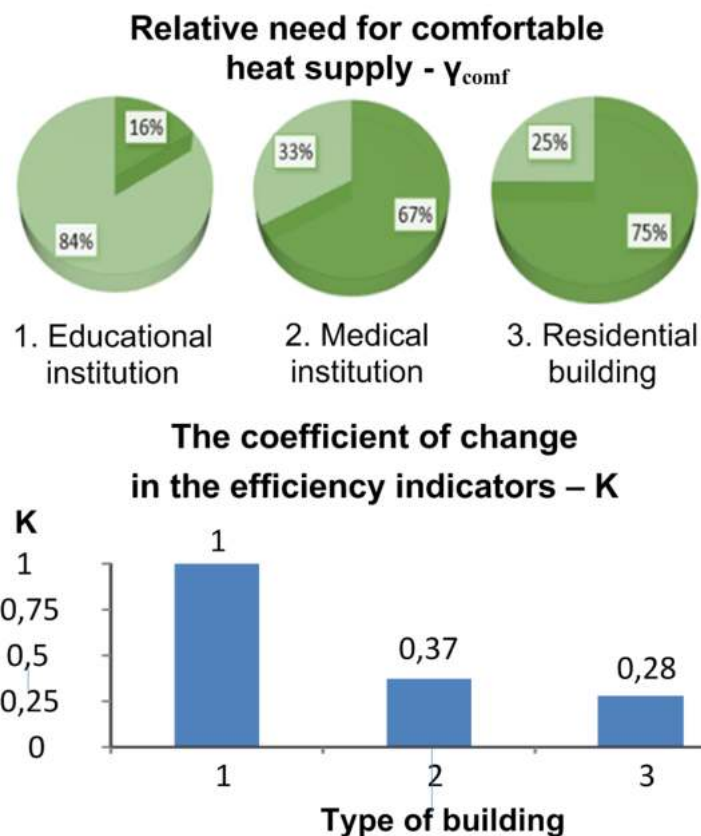


Рисунок 4.5 – Результати оцінки ефективності використання технології «розумного» опалення в різних за призначенням будівлях

4.1.2 Дослідження ефективності впровадження альтернативних систем теплопостачання – геліосистем. В якості об'єкту дослідження обрано будівлю закладу освіти, опис якої приведений у підрозділі 3.3 [107]. Будівля складається з двох корпусів, має багаторівневу комплексну Т-подібну форму (рис. 4.6) та досліджується в повному обсязі. Відповідно до проектної документації її будівельний об'єм складає 80375 м³; загальна площа будівлі 15159 м²; корисна площа 13712 м²; проектна питома витрата теплової енергії на опалення 1 м² загальної площі складає 183 Вт/м².



Рисунок 4.6 – Загальний вигляд будівлі для дослідження ефективності використання альтернативного джерела теплопостачання – теліосистеми

Фактичне споживання тепла будівлею, усереднено за 4 останні роки, становить: річне – 1870,3Гкал; щомісячне:

| | | |
|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| січень – 429,6Гкал; | травень – 41,8Гкал; | вересень – 21,1Гкал; |
| лютий – 378,6Гкал; | червень – 11,0Гкал; | жовтень – 128,3Гкал; |
| березень – 241,2Гкал; | липень – 0,0Гкал; | листопад – 286,2Гкал; |
| квітень – 104,2Гкал; | серпень – 1,7Гкал; | грудень – 226,7Гкал. |

Для досліджуваног об'єкту рекомендовано впровадження 2-х інноваційних ЕЕЗ: управління тепловими режимами приміщень будівлі за допомогою системи HERZ SmartComfort (технологія «розумного» опалення, описана вище) та використання альтернативного джерела теплопостачання – геліосистеми.

Елементи геліосистеми – це сонячні колектори, які перетворюють теплову енергію сонця в теплову енергію теплоносія, що забезпечує функціонування систем опалення та гарячого водопостачання будівлі, та, при необхідності, інших будівель. У геліосистемі рекомендується використовувати сучасні енергоефективні сонячні колектори плоского типу, такі як колектори Buderus (Німеччина) серії SKT 1.0 [104] (рис. 4.7) або аналогічні пристрої.

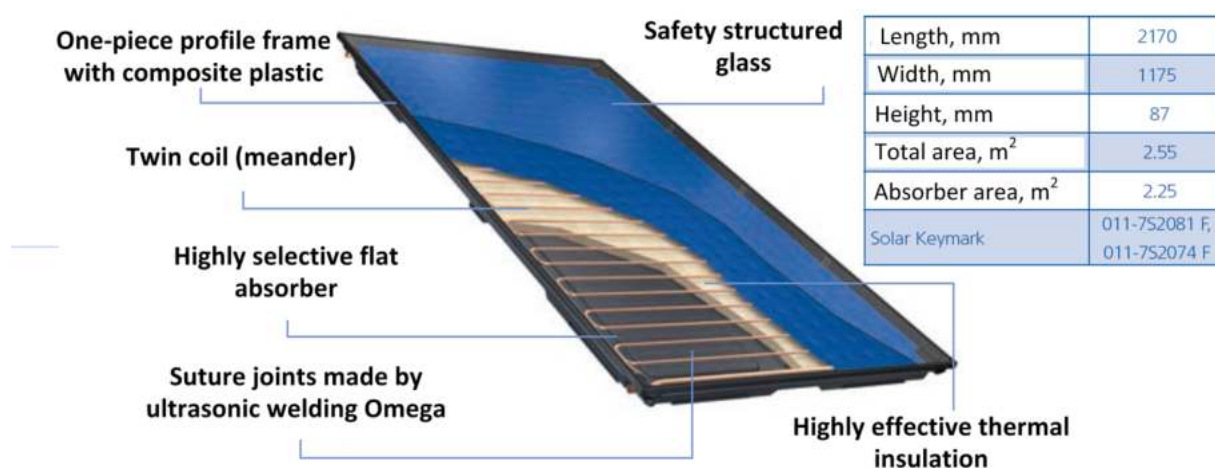


Рисунок 4.7 – Вигляд і технічні характеристики сонячного колектора – SKT 1.0

Місце можливого розташування геліосистеми із загальною площею 1080 м² розташовано з південного боку одного з корпусів досліджуваної будівлі (рис. 4.8).

На обраному майданчику можна розмістити 180 колекторів рекомендованого типу: 3 ряди по 60 елементів (рис. 4.9).

Для забезпечення максимальної теплової потужності сонячних колекторів (табл. 4.1) рекомендується регулювати кут нахилу їх панелей до земної поверхні в межах 27 ... 75 °С в залежності від географічної широти місцевості їхнього розташування та в залежності від місяця року (табл. 4.2).

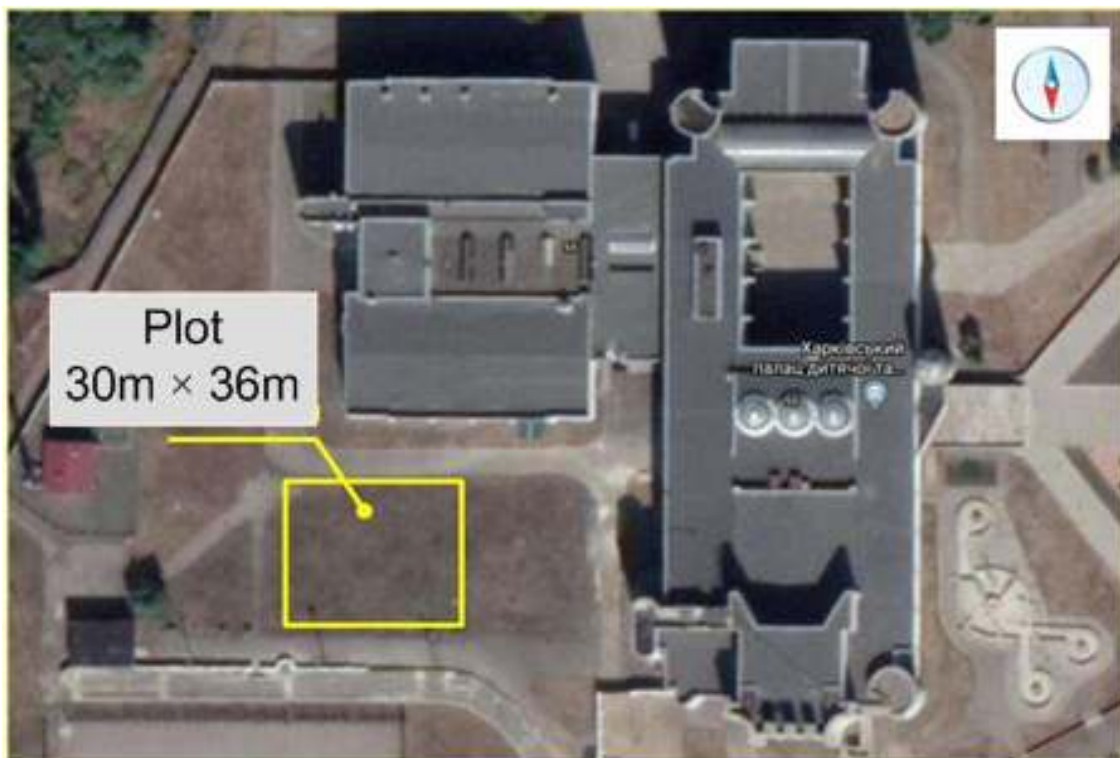


Рисунок 4.8 – Місце можливого розташування геліосистеми

Таблиця 4.1 – Значення питомої середньомісячної теплової потужності що приходить на сонячні колектори – E_c , кВт·год/(м²·добу)

| Місяць року | | | | | | | | | | | | Рік |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 1,19 | 2,02 | 3,05 | 3,92 | 5,38 | 5,46 | 5,56 | 4,88 | 3,49 | 2,10 | 1,19 | 0,90 | 3,26 |

Обґрунтування доцільності застосування геліосистем. Останнім часом взаємодія енергетики та навколишнього середовища набула небезпечного характеру. Паливне-теплоенергетичне устаткування здійснює хімічне забруднення навколишнього середовища викидами шкідливих речовин, насамперед оксидів азоту та сірки, викидами парникових газів – CO₂, CO та ін., викидами золи та сажі, що суттєво загострює екологічні проблеми урбанізованих територій.

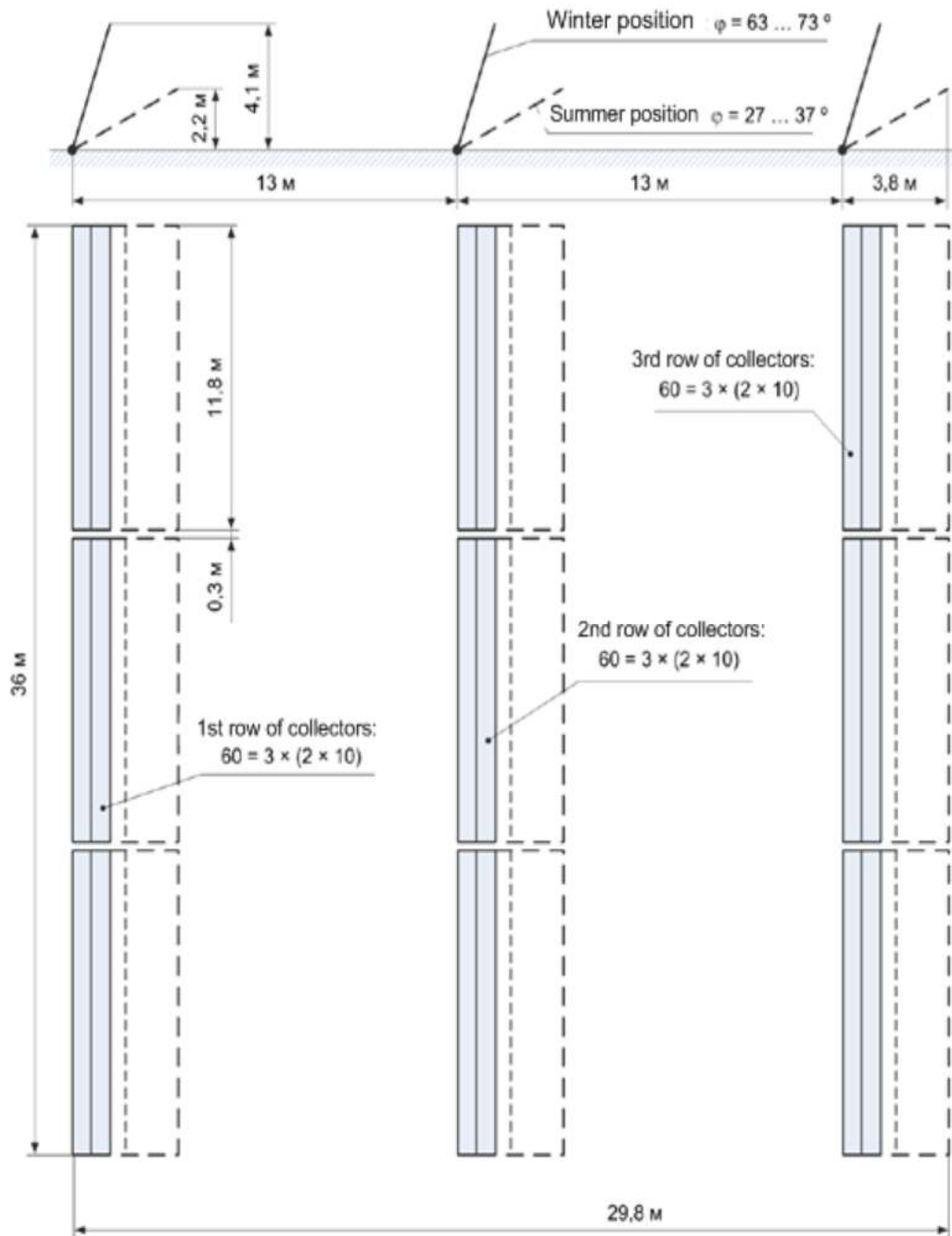


Рисунок 4.9 – Схема розташування 180-ти сонячних колекторів SKT 1.0

Зростання техногенного навантаження на довкілля та загострення проблем екологічної безпеки вимагають негайної зміни енерго-екологічної політики та досягнення сталого розвитку вже на сучасному етапі. Вирішення зазначеної проблеми стає можливим завдяки чіткій оптимізації структури енергетичного балансу країни, в якому найбільшу частку мають становити екологічно безпечні джерела енергії з відновлюваних джерел енергії.

Таблиця 4.2 – Значення оптимальних кутів нахилу сонячних колекторів

| Місяць | Географічна широта місцевості | | | | | | | |
|--------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 45 ^a | 46 ^a | 47 ^a | 48 ^a | 49 ^a | 50 ^a | 51 ^a | 52 ^a |
| 1. Січень | 66 ^a | 67 ^a | 68 ^a | 69 ^a | 70 ^a | 71 ^a | 72 ^a | 73 ^a |
| 2. Лютий | 58 ^a | 59 ^a | 60 ^a | 61 ^a | 62 ^a | 63 ^a | 64 ^a | 65 ^a |
| 3. Березень | 47 ^a | 48 ^a | 49 ^a | 50 ^a | 51 ^a | 52 ^a | 53 ^a | 54 ^a |
| 4. Квітень | 36 ^a | 37 ^a | 38 ^a | 39 ^a | 40 ^a | 41 ^a | 42 ^a | 43 ^a |
| 5. Травень | 26 ^a | 27 ^a | 28 ^a | 29 ^a | 30 ^a | 31 ^a | 32 ^a | 33 ^a |
| 6. Червень | 22 ^a | 23 ^a | 24 ^a | 25 ^a | 26 ^a | 27 ^a | 28 ^a | 29 ^a |
| 7. Липень | 24 ^a | 25 ^a | 26 ^a | 27 ^a | 28 ^a | 29 ^a | 30 ^a | 31 ^a |
| 8. Серпень | 32 ^a | 33 ^a | 34 ^a | 35 ^a | 36 ^a | 37 ^a | 38 ^a | 39 ^a |
| 9. Вересень | 43 ^a | 44 ^a | 45 ^a | 46 ^a | 47 ^a | 48 ^a | 49 ^a | 50 ^a |
| 10. Жовтень | 55 ^a | 56 ^a | 57 ^a | 58 ^a | 59 ^a | 60 ^a | 61 ^a | 62 ^a |
| 11. Листопад | 64 ^a | 64 ^a | 65 ^a | 66 ^a | 67 ^a | 68 ^a | 69 ^a | 71 ^a |
| 12. Грудень | 68 ^a | 69 ^a | 70 ^a | 71 ^a | 72 ^a | 73 ^a | 74 ^a | 75 ^a |

На традиційну енергетику сьогодні припадає не менше 30% усіх викидів в атмосферу. Із загального обсягу викидів близько 30% становлять тверді речовини, понад 60% – ангідрид і близько 55% – оксиди азоту. В цих умовах в регіоні важлива інтеграція енергетики та екології, тісний взаємозв'язок екологічних аспектів енергетики з енергетичними аспектами екології [109]. Реалізація такої інтеграції відповідає концепції сталого розвитку суспільства, основною метою якої є забезпечення високої якості життя нинішнього та майбутніх поколінь на основі збалансованого вирішення проблем економічного розвитку, збереження природного середовища, раціонального використання та відтворення природно-ресурсного потенціалу планети.

Аналіз стратегії розвитку енергетичного сектору ЄС показує, що між 2020 і 2030 роками відносні частки в енергетичному балансі первинних джерел енергії, таких як нафта і тверде паливо, зменшаться на 0,4% (з 35,7 до 35,3%) та на 0,7% (з 17,4 до 16%) відповідно, природного газу – не зміниться – 25,7%, а частка відновлюваних джерел енергії збільшиться на 3,1% (з 9,9% до 12,0%). Таким чином, внесок в енергетичний баланс традиційних джерел енергії з роками буде зменшуватися, також відбудеться зростання їх вартості, тоді як потужності відновлюваних джерел енергії, навпаки, значно зростуть [110, 111].

Одним із перспективних напрямів енергозбереження є використання сонячної енергії у зв'язку з вичерпанням світових запасів нафти і газу, а також проблемою забруднення навколишнього середовища продуктами згоряння викопного палива.

Технологія використання сонячної енергії, є найбільш підготовленою для забезпечення комунально-побутових потреб, за її допомогою здійснюється підігрів води. Національна енергетична стратегія України на період до 2030 року передбачає поступове збільшення виробництва обладнання сонячних систем для гарячого водопостачання та опалення, а також планується встановити близько 2 млн м² сонячних колекторів, що дозволить отримати відчутну економію викопного палива та фінансових коштів що спрямовуються на його купівлю. Досвід експлуатації цих систем показав, що 1 м² сонячного колектора за оптимальних умов експлуатації економить від 0,1 до 0,15 тонн умовного палива протягом літнього сезону. Масштабне використання геліосистем в Україні до 2030 року заощадить до 200 тис. тонн умовного палива в рамках прийнятої стратегії розвитку енергетики України [112].

Оцінка ефективності використання системи HERZ Smart Comfort для регулювання теплових режимів приміщень будівлі. Аналіз потреби приміщень досліджуваної будівлі у комфортному теплопостачанні показав, що за тривалістю фактичного використання їх можна поділити на 4 групи: цілодобові; що використовуються з 9:00 до 19:00 (крім вихідних), та з 14:00 до 20:00; і такі що використовуються за спеціальним графіком (рис. 4.10).

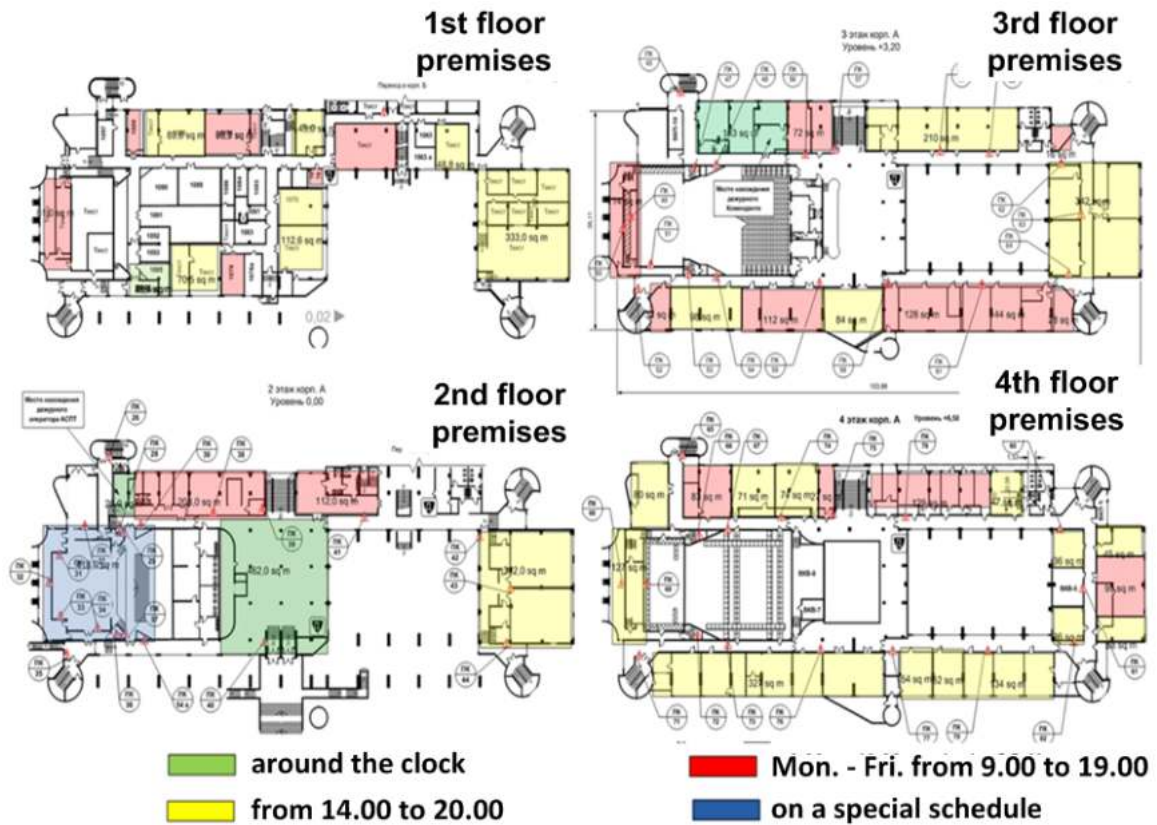


Рисунок 4.10 – Результати аналізу потреби приміщень досліджуваної будівлі в комфортному теплопостачанні

У приміщеннях, які не використовуються цілодобово, можна запровадити економний режим споживання тепла шляхом зниження температури під час відсутності персоналу та відвідувачів. Для розрахунку середня комфортна температура в приміщенні береться рівною $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тимчасове зниження температури доцільне, якщо приміщення не використовується протягом 10-12 годин і більше, має місце в більшості навчальних і адміністративних будівель у нічний час, у вихідні та святкові дні. Тимчасове зниження температури не повинно перевищувати $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, щоб уникнути порушення режиму вологості і появи температурних деформацій. Передбачалося, що система автоматичного контролю теплового режиму приміщень забезпечує комфортну температуру лише в приміщеннях, які фактично використовуються персоналом і відвідувачами, в інших приміщеннях вона підтримує температуру економного режиму – менше на $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ від комфортної, тобто $16\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В якості вихідних даних для проведення досліджень були використані значення опалювальних площ приміщень будівлі та результати аналізу їх потреби для комфортного теплопостачання (табл. 4.3, див. рис. 4.10).

У розрахунках враховано діючий на період дослідження тариф на теплову енергію. Теплова інерція будівлі не враховувалась. Втрати тепла приймалося пропорційними до опалювальної площі кімнати. Оптимізацію теплопостачання за часом передбачається проводити в усьому будинку, за винятком приміщень з цілодобовим перебуванням персоналу. У розрахунках були використані такі співвідношення.

1. Фактичне споживання теплової енергії в опалювальний сезон:

$$Q_a = k \cdot F \cdot \Delta t_a, \quad (4.5)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій будівлі, Вт/м²;

F – площа огорожувальних конструкцій, м²;

Таблиця 4.3 – Класифікація приміщень натурального об'єкта

| Тип приміщення | Режим використання | Площа, м ² | Доля площі, % |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------|
| Цілодобова кімната персоналу | цілодобово | 1079 | 11,9 |
| Адмінприміщення | Понед. – Пятниця з 9:00 по 19:00 | 1382 | 15,3 |
| Навчальні кімнати | з 14:00 по 20:00 | 4208 | 46,6 |
| Використовується в одну зміну | з 8:00 по 18:00 | 390 | 4,3 |
| Навчальні кімнати | 2 дні на тиждень з 9:00 по 18:00 | 615 | 6,8 |
| Використовується в дві зміни | цілодобово | 1365 | 15,1 |
| Глядацька зала на 450 місць | – | 9033 | 100,0 |

Δt_a – різниця між температурою приміщення та середньою місячною температурою зовнішнього повітря в опалювальному сезоні, °С.

З виразу (4.5) витікає

$$k \cdot F = \frac{Q_a}{\Delta t_a}. \quad (4.6)$$

2. Розрахункові витрати теплової енергії на середньомісячну температуру зовнішнього повітря опалювального сезону при використанні терморегулятора (ТР) визначається оптимізацією тимчасової температури будівлі:

$$Q_e = k \cdot F \cdot \Delta t_e = \frac{Q_a}{\Delta t_a} \cdot \Delta t_e, \quad (4.7)$$

де Δt_e – різниця внутрішньої та зовнішньої температур для середньомісячних температур опалювального сезону, °С.

3. Споживання тепла після ТР, Гкал:

$$Q_{TC} = \frac{Q_e \cdot \tau_{16} \cdot (\Delta t_e - 4)}{\Delta t_e \cdot \tau_w} + \frac{Q_e \cdot \tau_{20}}{\tau_w}, \quad (4.8)$$

де τ_{16} – кількість годин на тиждень з температурою в приміщенні 16°С, год;

τ_{20} – кількість годин на тиждень з температурою в приміщенні 20°С, год;

τ_w – кількість годин на тиждень, год.

Середньомісячні значення фактичного споживання теплової енергії скориговано з урахуванням середньомісячних зовнішніх температур за тривалий період.

В якості вихідних даних для розрахунків були використані значення середньомісячного фактичного споживання теплової енергії об'єктом дослідження в опалювальних сезонах (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Середньомісячне споживання теплової енергії будівлею – Q_a , Гкал

| Місяць | Січень | Лютий | Березень | Квітень | Жовтень | Листопад | Грудень |
|-----------------------------|--------|-------|----------|---------|---------|----------|---------|
| Споживання теплової енергії | 260,5 | 235,6 | 171,2 | 55,1 | 65,6 | 177,4 | 140,5 |

На підставі наведених коефіцієнтів оцінено рівень економії теплової енергії в усіх приміщеннях будівлі, які потребують оптимізації температурного режиму. Результати розрахунків (табл. 4.5, рис. 4.11) свідчать, що застосування оптимізації температурного режиму будівлі шляхом зниження температури під час відсутності персоналу та відвідувачів дозволяє заощадити 130,3 Гкал або 11,1 % теплової енергії за опалювальний сезон.

Крім того, відповідними показниками еколого-економічного ефекту є: зменшення споживання природного газу – 16,5 тис. м³, скорочення викидів CO₂ та NO_x в атмосферу – 32,0 т та 0,035 т відповідно; зменшення плати за опалення – 249,5 тис. грн.

Таблиця 4.5 – Результати розрахунку економії теплової енергії в усіх приміщеннях будівлі за умови оптимізації температурного режиму

| Місяць | Потреба в тепловій енергії до ТР, Гкал | Потреба в тепловій енергії за ТР, Гкал | Економія теплової енергії за рахунок ТР, Гкал | Частка збереженої енергії, % |
|--|--|--|---|------------------------------|
| Січня | 258 | 234,2 | 23,8 | 9,2 |
| Лютий | 255 | 231,4 | 23,6 | 9,3 |
| Березень | 185 | 163,0 | 22 | 11,9 |
| Квітня (за період з 01.04.19 по 14.04.19) | 66 | 54,0 | 12 | 18,2 |
| Жовтень (за період з 15.10.19 по 31.10.19) | 59 | 49,8 | 9,2 | 15,6 |
| Листопад | 188 | 165,5 | 22,5 | 12,0 |
| Грудень | 160 | 142,8 | 17,2 | 10,7 |
| Опалювальний сезон | 1171 | 1040,7 | 130,3 | 11,1 |

Оцінка ефективності використання альтернативного джерела теплопостачання – геліосистеми. Для визначення основної енергетичної характеристики геліосистеми – її середньомісячної теплопродуктивності Q_m (кВт·год) використовується наступна формула [114]:

$$Q_m = E_s \cdot s \cdot \eta \cdot N, \quad (4.9)$$

де E_s – питома середньомісячна теплова потужність сонячних колекторів в кліматичній зоні НО №2, кВт·год/(м²·добу) (див. табл. 4.4);

s – площа поверхні одного сонячного колектора, м² (для колекторів рекомендованого типу 2,55 м²);

η – ефективність сонячного колектора (0,794 для колекторів рекомендованого типу [104]);

N – кількість сонячних колекторів у сонячній системі.

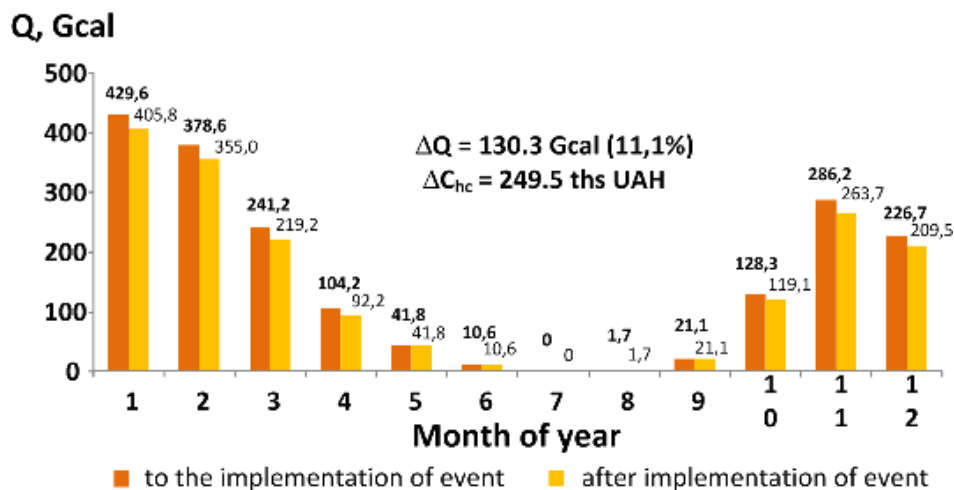


Рисунок 4.11 – Результати оцінки ефективності використання геліосистеми

Результати розрахунків середньомісячної та річної теплової потужності ГС, яка може бути розташована в рекомендованій зоні (рис. 4.12), свідчать про те, що вона здатна виробляти 376,7 Гкал теплової енергії на рік, або 20,2% від існуючого об'єму споживання теплової енергії. При необхідності теплопродуктивність ГС можна збільшити в 2,3 рази – до 880 Гкал/рік, якщо використовувати дах будівлі для розміщення додаткової кількості 240 сонячних колекторів (рис. 4.13).

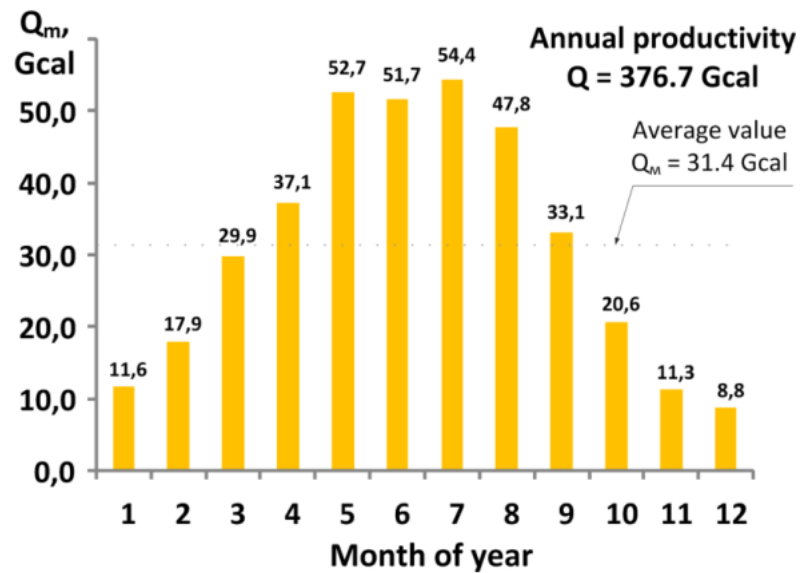


Рисунок 4.12 – Діаграма середньомісячної теплопродуктивності геліосистеми із 180 колекторів СКТ 1.0

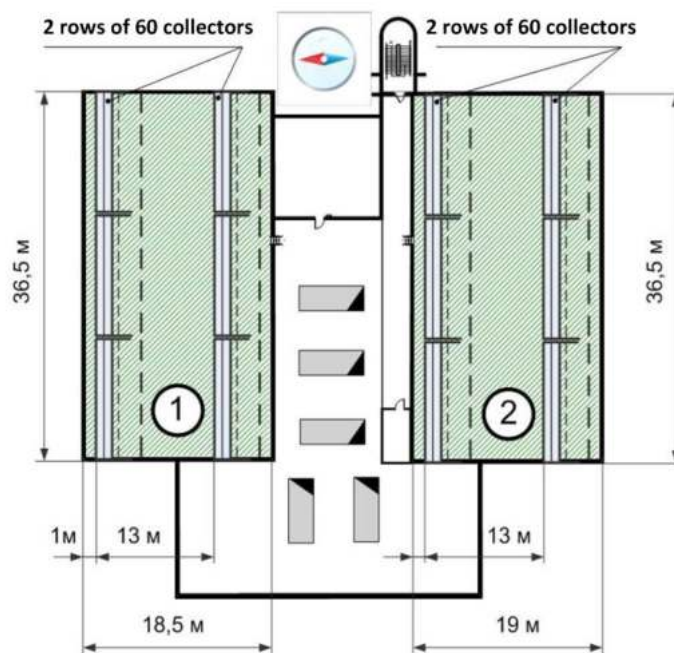


Рисунок 4.13 – Загальний вигляд додаткової ділянки розміщення геліосистеми

Багатокритеріальна оцінка ефективності використання геліосистеми показує, що даний захід дозволяє додатково отримати такий річний ефект: додаткова кількість отриманої теплової енергії – 376,7 Гкал або 20,2%, з яких

можна використати: на потреби будівлі – 212,3 Гкал або 11,4%, інших будівель (з травня по вересень) – 164,4 Гкал або 8,8%. При цьому потреба будівлі закладу освіти в тепловій енергії забезпечується: у період з травня по вересень – на 100%, в опалювальний період – на 2,8 ... 35,6%; екологічні ефекти – зменшення споживання природного газу – на 47,7 тис. м³, скорочення викидів CO₂ та NO_x – 92,6 т та 0,101 т, відповідно; економічні ефекти: зменшення плати за теплову енергію – на 721,3 тис. грн.; термін окупності заходу – 5 років.

4.2 Дослідження ефективності впровадження енергоощадних технологій на об'єктах соціальної інфраструктури з використанням методу РВПТ

На основі математичного апарату методу РВПТ, приведеного у розділі 2, та натурних об'єктів № 1-3, описаних в розділі 3, проведено комплекс розрахункових досліджень по оцінюванню ефективності використання запропонованої технології раціонального впровадження природоохоронних енергозберігаючих технологій на об'єктах соціальної інфраструктури.

Після аналізу початкового стану НО №1-3 (рис. 4.14, табл. 4.6) для кожного з них сформовано комплекс рекомендованих до впровадження ЕЕЗ та проведено розрахунки їх ефективності, результати яких представлені в табл. 4.7-4.10.

Для НО №1 рекомендовано до впровадження 9 ЕЕЗ, які відповідно до номеру пріоритетності заходу – NP_з, що визначає послідовність впровадження ЕЕЗ, розташувались у наступному порядку:

- 1) **ТМ_{ОК(кр.гор)}** – термомодернізація огорожувальних конструкцій – горищного перекриття, із $\overline{\Delta p}_z = 0,15$ та $T_{з(ок)}^p = 2,3$ роки;
- 2) **ТМ_{ІФ}** – впровадження новітнього обладнання – припливно-вентиляційні установки із рекуператорами, із $\overline{\Delta p}_z = 0,15$ та $T_{з(ок)}^p = 3,7$ роки;
- 3) **ГКК** – впровадження альтернативного джерела теплової енергії – теплового насоса, із $\overline{\Delta p}_z = 0,05$ та $T_{з(ок)}^p = 5,0$ роки;
- 4) **ТМ_{КУВ}** – впровадження новітнього обладнання – Smart системи опалення, із $\overline{\Delta p}_z = 0,05$ та $T_{з(ок)}^p = 5,3$ роки;

НО №1 Учбовий корпусу №6 ВІТУ

НО №2 Гуртожиток №4 ВІТУ

НО №3 Учбовий корпусу №1 ВІТУ



Рисунок 4.14 – Загальний вигляд досліджуваних натурних об'єктів

Таблиця 4.6 – Результати оцінки існуючого технічного та еколого-економічного стану натурних об'єктів НО№1-3

| № п/п | НО | Характеристика НО | | | Річні показники - р | | | | | | Довгострокові показники - Р | | | | |
|-------|-------|-------------------|------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|---|------------------|------------------|------------------------------------|-----------------------------|---|----------------|----------------|-----------------------------------|
| | | Тип системи ТП | Вид палива | $S_{об}$, м ² | q , МВт/год | q_{Σ} , кВт/год/м ² | $\Pi_{П}$ (V _П), т. (т.м ³) | Π_{CO_2} , т | Π_{NOx} , кг | $C_{П}$ (C _Т), тис.грн | Q, МВт/год | $M_{П}$ (V _П), т. (т.м ³) | M_{CO_2} , т | M_{NOx} , кг | $C_{П}$ (C _Т) тис.грн |
| 1 | НО №1 | Ц | ПГ | 2282,0 | 385,5 | 168,9 | 38,7 | 20,6 | 127,7 | 787,8 | 9637 | 967 | 514 | 3,19 | 19694 |
| 2 | НО №2 | Ц | ПГ | 8333,0 | 1233,3 | 148,0 | 152,1 | 80,8 | 501,7 | 3096 | 30833 | 3802 | 2020 | 12,5 | 77399 |
| 3 | НО №3 | Ц | ПГ | 6926,8 | 1569,5 | 226,6 | 169,4 | 90,0 | 559,0 | 3449 | 39239 | 4236 | 2251 | 14,0 | 86237 |

Таблиця 4.7 – Показники ефективності ЕЕЗ рекомендованих до впровадження на натурному об'єкті №1 (з ГКК та без ТН)

| № П/П | ПТ | 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(с)} , кВт·год/м ² | ΔV _{з(п)} , тис. м ³ | Δm _{з(CO₂)} , т | Δm _{з(NO_x)} , кг | ΔC _{з(τ)} , тис. грн | Δp _з | | | | | | |
| 1 | ТМ ОК (к) | 52,4 | 23,0 | 7,12 | 3,8 | 23,5 | 145,0 | 0,14 | 340,4 | 2,3 | 1 | 0,34 | 1 | I |
| 2 | ТМ СВ | 51,4 | 22,5 | 6,99 | 3,7 | 23,0 | 142,2 | 0,13 | 520,2 | 3,7 | 1 | 0,52 | 2 | I |
| 3 | АДЕ ГКК | 16,1 | 7,1 | 2,19 | 1,2 | 7,2 | 31,9 | 0,04 | 160,8 | 5,0 | 1 | 0,16 | 3 | II |
| 4 | РБ | 16,4 | 7,2 | 2,22 | 1,2 | 7,3 | 45,3 | 0,04 | 239,2 | 5,3 | 1 | 0,24 | 4 | II |
| 5 | ТМ ОК (д) | 4,2 | 1,8 | 0,57 | 0,3 | 1,9 | 11,7 | 0,01 | 63,5 | 5,4 | 1 | 0,06 | 5 | II |
| 6 | ТМ ОК (с) | 107,3 | 47,0 | 14,57 | 7,7 | 48,1 | 296,7 | 0,28 | 1902,6 | 6,4 | 1 | 1,92 | 6 | II |
| 7 | ГС | 32,4 | 14,2 | 4,39 | 2,3 | 14,5 | 85,4 | 0,08 | 832,3 | 9,7 | 1 | 0,84 | 7 | III |
| 8 | ТМ ОК (к) | 12,2 | 5,3 | 1,65 | 0,9 | 5,4 | 33,6 | 0,03 | 430,0 | 12,8 | 0 | 0,43 | 8 | – |
| 9 | ТМ ОК (в) | 29,3 | 12,9 | 3,98 | 2,1 | 13,1 | 81,1 | 0,08 | 1068,1 | 13,2 | 0 | 1,08 | 9 | – |
| 10 | ТМ ІПІ | 18,7 | 8,2 | 2,54 | 1,3 | 8,4 | 51,6 | 0,05 | 697,0 | 13,5 | 0 | 0,70 | 10 | – |
| 11 | ТМ _{ОК(підл.підв)} | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,00 | 0 | – |
| 12 | ТМ _{ОК(підл.грунт)} | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,00 | 0 | – |
| 13 | ТМ _{ГВС} | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,00 | 0 | – |
| 14 | ТМ _{Г(в)} | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,00 | 0 | – |
| 15 | ТМ _{Г(з)} | 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 | – |

Таблиця 4.8 – Показники ефективності ЕЕЗ рекомендованих до впровадження на натурному об'єкті №1 (з ТН та без ГКК)

| № П/П | ЕЕЗ | Абсолютне - Δp _з та відносне - Δp _з зменшення показників р | | | | | | | C _з , тис. грн | T _{р_з(ок)} , роки | I _з | e _з | NP _з | Етап |
|-------|------------------------------|--|---|--|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------|---------------------------|---------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|------|
| | | Δq _з , МВт·год | Δq _{з(с)} , кВт·год/м ² | ΔV _{з(п)} , тис. м ³ | Δm _{з(CO₂)} , т | Δm _{з(NO_x)} , кг | ΔC _{з(τ)} , тис. грн | Δp _з | | | | | | |
| 1 | ТМ _{ОК(кр.гор)} | 52,4 | 23,0 | 7,12 | 3,8 | 23,5 | 145,0 | 0,14 | 340,4 | 2,3 | 1 | 0,15 | 1 | I |
| 2 | ТМ _{ІФ} | 51,4 | 22,5 | 6,99 | 3,7 | 23,0 | 142,2 | 0,13 | 520,2 | 3,7 | 1 | 0,22 | 2 | I |
| 3 | ТМ _{КУБ} | 16,4 | 7,2 | 2,22 | 1,2 | 7,3 | 45,3 | 0,04 | 239,2 | 5,3 | 1 | 0,10 | 3 | II |
| 4 | ТМ _{ОК(двері)} | 4,2 | 1,8 | 0,57 | 0,3 | 1,9 | 11,7 | 0,01 | 63,5 | 5,4 | 1 | 0,03 | 4 | II |
| 5 | ТМ _{ОК(стіни)} | 107,3 | 47,0 | 14,57 | 7,7 | 48,1 | 296,7 | 0,28 | 1902,6 | 6,4 | 1 | 0,82 | 5 | II |
| 6 | ТН | 66,9 | 29,3 | 9,09 | 4,8 | 30,0 | 176,6 | 0,17 | 1483,1 | 8,4 | 1 | 0,64 | 6 | III |
| 7 | ГС | 32,4 | 14,2 | 4,39 | 2,3 | 14,5 | 85,4 | 0,08 | 832,3 | 9,7 | 1 | 0,36 | 7 | III |
| 8 | ТМ _{ОК(кр.сум)} | 12,2 | 5,3 | 1,65 | 0,9 | 5,4 | 33,6 | 0,03 | 430,0 | 12,8 | 0 | 0,19 | 8 | – |
| 9 | ТМ _{ОК(вік)} | 29,3 | 12,9 | 3,98 | 2,1 | 13,1 | 81,1 | 0,08 | 1068,1 | 13,2 | 0 | 0,46 | 9 | – |
| 10 | ТМ ІПІ | 18,7 | 8,2 | 2,54 | 1,3 | 8,4 | 51,6 | 0,05 | 697,0 | 13,5 | 0 | 0,30 | 10 | – |
| 11 | ТМ _{ОК(підл.підв)} | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,00 | 0 | – |
| 12 | ТМ _{ОК(підл.грунт)} | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,00 | 0 | – |
| 13 | ТМ _{ГВС} | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,00 | 0 | – |
| 14 | ТМ _{Г(в)} | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,00 | 0 | – |
| 15 | ТМ _{Г(з)} | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,00 | 0 | – |
| 16 | ГКК | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,00 | 0 | – |

Таблиця 4.9 – Показники ефективності ЕЕЗ рекомендованих до впровадження на натурному об'єкті №2

| № п/п | ПТ | Параметри ефективності рекомендованих ПТ | | | | | | | C _з , тис.грн | T ^p _{з(ок)} , роки | I _з | e _з | NP _з | Етап |
|-------|------------------------------|--|---|---|--------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------|--|----------------|----------------|-----------------|------|
| | | Δq _з , МВт·год | Δq _{з(с)} , кВт·год/м ² | Δv _{з(п)} , тис.м ³ | Δm _{з(CO2)} , т | Δm _{з(NOx)} , кг | Δc _{з(τ)} , 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 _{ІФ} | 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(вік)} | 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(підл.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 _{ГПП} | 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 | – |

Таблиця 4.10 – Показники ефективності ЕЕЗ рекомендованих до впровадження на натурному об'єкті №3

| № п/п | ПТ | Параметри ефективності рекомендованих ПТ | | | | | | | C _з , тис. грн | T ^p _{з(ок)} , роки | I _з | e _з | NP _з | Етап |
|-------|------------------------------|--|---|--|--------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------|---------------------------|--|----------------|----------------|-----------------|------|
| | | Δq _з , МВт·год | Δq _{з(с)} , кВт·год/м ² | Δv _{з(п)} , тис. м ³ | Δm _{з(CO2)} , т | Δm _{з(NOx)} , кг | Δc _{з(τ)} , 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 | 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 | – |
| 11 | ТМ _{ОК(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 | ТМ _{ГВС} | 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 | – |

- 5) **ТМОК(двері)** – термомодернізація огорожувальних конструкцій – зовнішніх входних дверей, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,01$ та $T^{p_{3(ок)}} = 5,4$ роки;
- 6) **ТМОК(стіни)** – термомодернізація огорожувальних конструкцій – зовнішніх стін, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,31$ та $T^{p_{3(ок)}} = 6,4$ роки;
- 7) **ТН** – впровадження альтернативного джерела теплової енергії – теплового насосу, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,19$ та $T^{p_{3(ок)}} = 8,4$ роки;
- 8) **ГС** – впровадження альтернативного джерела теплової енергії – геліосистеми, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,09$ та $T^{p_{3(ок)}} = 9,7$ років.

ЕЕЗ 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 2 заходи – **ТМІФ**, **ТМОК(кр.гор)**, II-й містить 4 заходи – **ГКК**, **ТМКУБ**, **ТМОК(двері)**, **ТМОК(стіни)**, а III-й етап містить 2 заходи – **ТН**, **ГС**.

Для НО №2 рекомендовано до впровадження 7 ЕЕЗ, які відповідно до номеру пріоритетності NP_3 розташувались у наступному порядку:

- 1) **ТМТ(в)** – термомодернізація внутрішньобудинкових трубопроводів системи теплопостачання – теплоізоляція мереж, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,01$ та $T^{p_{3(ок)}} = 3,5$ роки;
- 2) **ТМОК(кр.гор)** – термомодернізація огорожувальних конструкцій – горищного перекриття, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,09$ та $T^{p_{3(ок)}} = 4,4$ роки;
- 3) **ТМОК(підл.підв)** – термомодернізація огорожувальних конструкцій – підлоги над неопалювальним підвалом, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,07$ та $T^{p_{3(ок)}} = 4,5$ роки;
- 4) **ТМОК(стіни)** – термомодернізація огорожувальних конструкцій – зовнішніх стін, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,40$ та $T^{p_{3(ок)}} = 7,2$ роки;
- 5) **ТМІФ** – впровадження новітнього обладнання – припливно-вентиляційні установки із рекуператорами, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,11$ та $T^{p_{3(ок)}} = 9,1$ роки;
- 6) **ТМОК(двері)** – термомодернізація огорожувальних конструкцій – зовнішніх входних дверей, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,01$ та $T^{p_{3(ок)}} = 9,2$ роки;
- 7) **ТМКУБ** – впровадження новітнього обладнання – Smart системи опалення, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,02$ та $T^{p_{3(ок)}} = 11,5$ роки.

ЕЕЗ 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 1 захід – $\text{ТМ}_{\text{T(В)}}$, II-й містить 3 заходи – $\text{ТМ}_{\text{ОК(кр.гор)}}$, $\text{ТМ}_{\text{ОК(підл.підв)}}$, $\text{ТМ}_{\text{ОК(стіни)}}$, III-й етап містить 3 заходи – $\text{ТМ}_{\text{ІФ.}}$, $\text{ТМ}_{\text{ОК(двері)}}$, $\text{ТМ}_{\text{КУБ.}}$

Для НО №3 рекомендовано до впровадження 8 ЕЕЗ, які відповідно до номеру пріоритетності NP_3 розташувались у наступному порядку:

- 1) $\text{ТМ}_{\text{T(В)}}$ – термомодернізація внутрішньобудинкових трубопроводів системи теплопостачання – теплоізоляція мереж, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,10$ та $\text{ТP}_{3(\text{ок})} = 0,8$ років;
- 2) $\text{ТМ}_{\text{ОК(підл.підв)}}$ – термомодернізація огорожувальних конструкцій – підлоги над неопалювальним підвалом, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,14$ та $\text{ТP}_{3(\text{ок})} = 3,5$ роки;
- 3) $\text{ТМ}_{\text{КУБ.}}$ – впровадження новітнього обладнання – Smart системи опалення, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,09$ та $\text{ТP}_{3(\text{ок})} = 4,0$ роки;
- 4) $\text{ТМ}_{\text{ОК(кр.гор)}}$ – термомодернізація огорожувальних конструкцій – горіщного перекриття, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,16$ та $\text{ТP}_{3(\text{ок})} = 4,3$ роки;
- 5) $\text{ТМ}_{\text{ІФ.}}$ – впровадження новітнього обладнання – припливно-вентиляційні установки із рекуператорами, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,07$ та $\text{ТP}_{3(\text{ок})} = 6,3$ роки;
- 6) $\text{ТМ}_{\text{ОК(двері)}}$ – термомодернізація огорожувальних конструкцій – зовнішніх входних дверей, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,01$ та $\text{ТP}_{3(\text{ок})} = 9,2$ роки;
- 7) $\text{ТМ}_{\text{ОК(стіни)}}$ – термомодернізація огорожувальних конструкцій – зовнішніх стін, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,14$ та $\text{ТP}_{3(\text{ок})} = 9,4$ роки;
- 8) $\text{ТМ}_{\text{ОК(вік)}}$ – термомодернізація огорожувальних конструкцій – віконних конструкцій, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,16$ та $\text{ТP}_{3(\text{ок})} = 10,2$ роки;
- 9) $\text{ТМ}_{\text{ІТП.}}$ – впровадження новітнього обладнання – індивідуального теплового пункту, із $\overline{\Delta p}_3 = 0,03$ та $\text{ТP}_{3(\text{ок})} = 12,0$ років.

ЕЕЗ 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 – $\text{ТМ}_{\text{T(В)}}$, $\text{ТМ}_{\text{ОК(підл.підв)}}$, $\text{ТМ}_{\text{КУБ.}}$, $\text{ТМ}_{\text{ОК(кр.гор)}}$, II-й містить 1 захід – $\text{ТМ}_{\text{ІФ.}}$, III-й етап містить 4 заходи – $\text{ТМ}_{\text{ОК(двері)}}$, $\text{ТМ}_{\text{ОК(стіни)}}$, $\text{ТМ}_{\text{ОК(вік)}}$, $\text{ТМ}_{\text{ІТП.}}$

НО №1

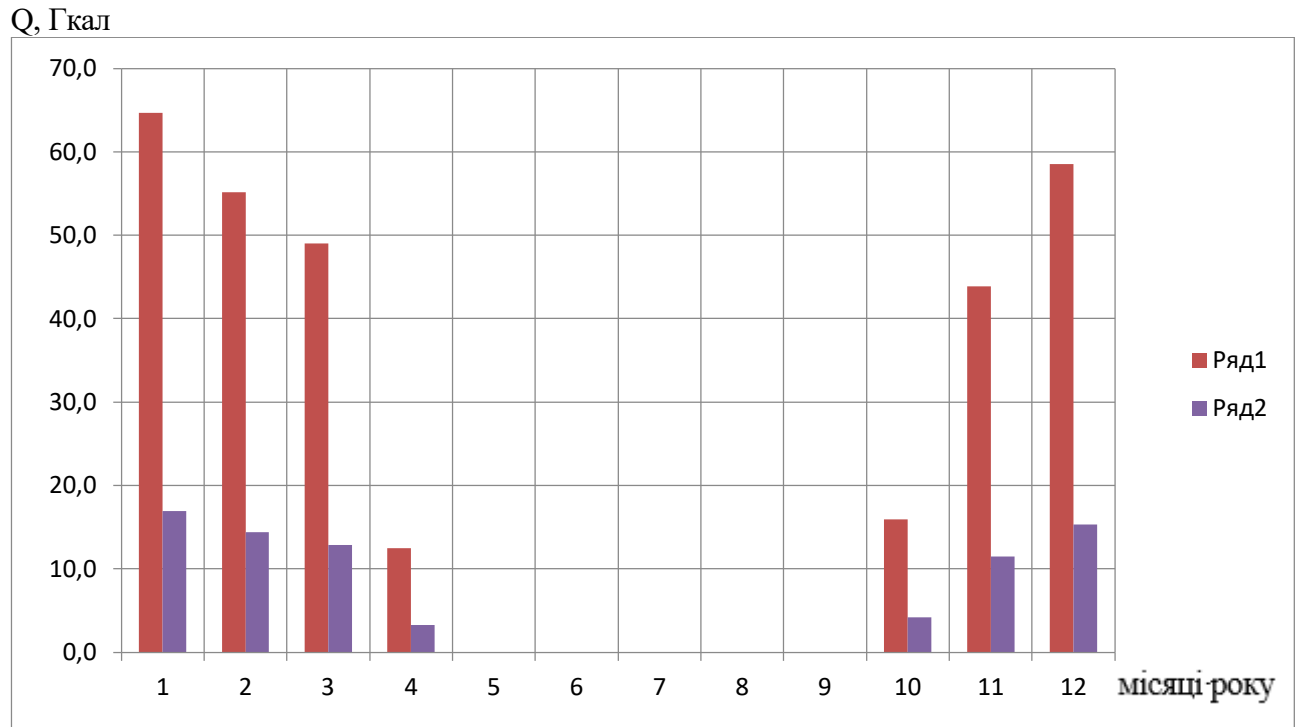


Рисунок 4.11 – Результати порівняння обсягів теплоспоживання об'єктом досліджень до (ряд 1) і після (ряд 2) впровадження заходу з енергозбереження – ТМОк

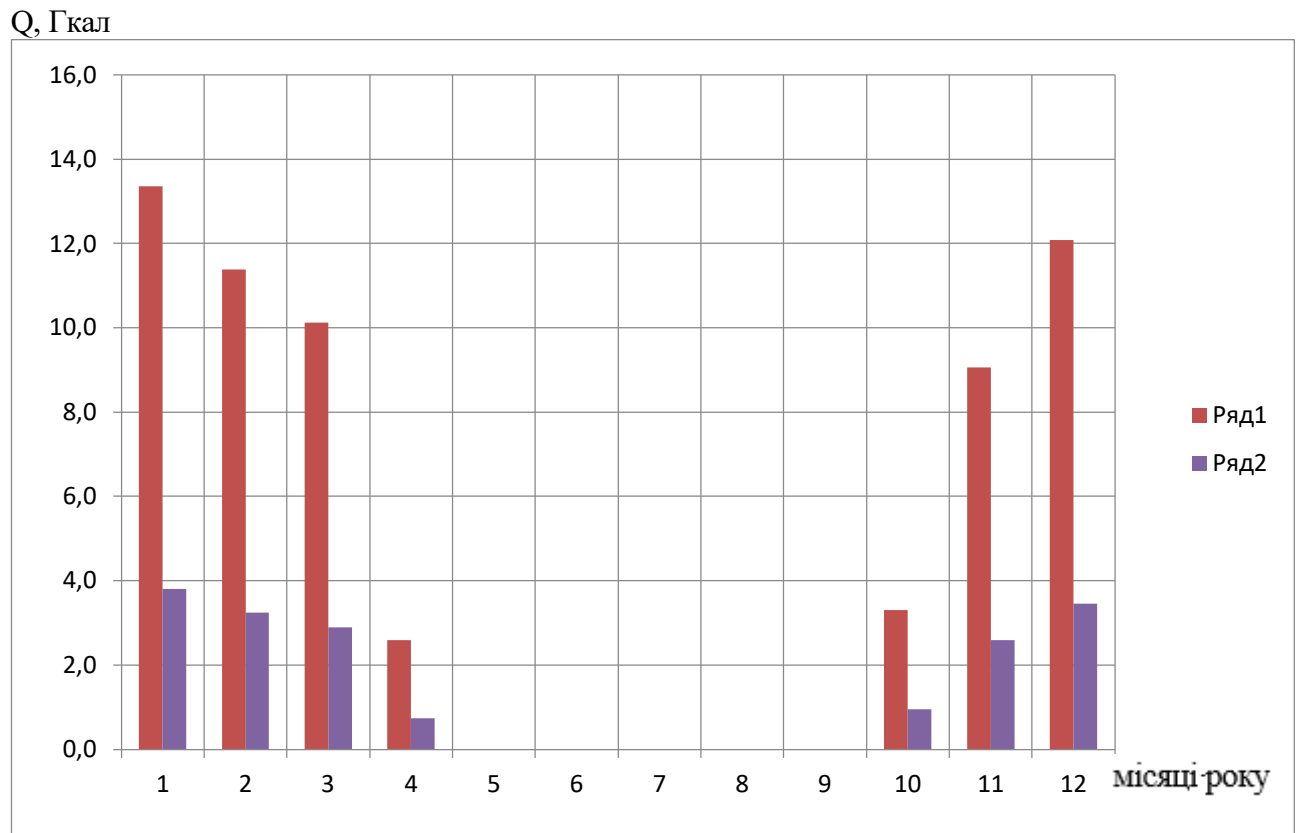


Рисунок 4.12 – Результати порівняння обсягів теплоспоживання об'єктом досліджень до (ряд 1) і після (ряд 2) впровадження заходу з енергозбереження – ІФ

Q, Гкал

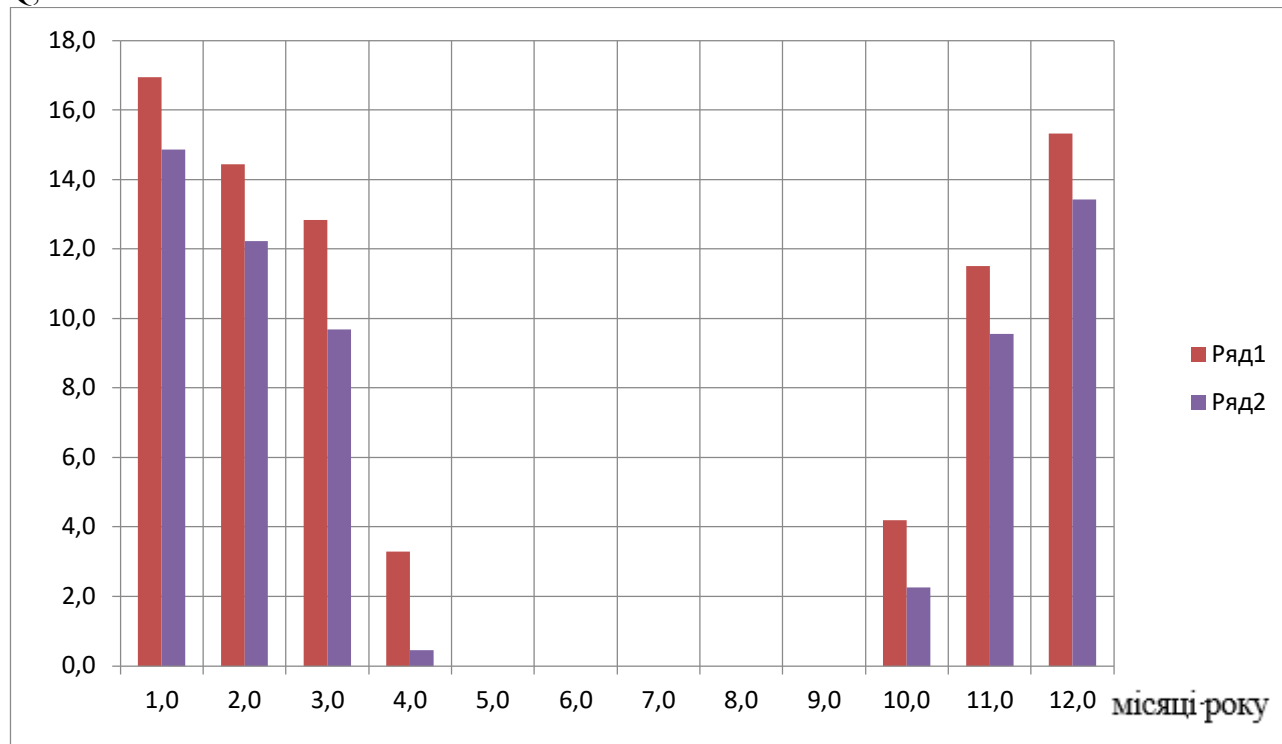


Рисунок 4.13 – Результати порівняння обсягів теплоспоживання об’єктом досліджень до (ряд 1) і після (ряд 2) впровадження заходу з енергозбереження – ІТП

Q, Гкал

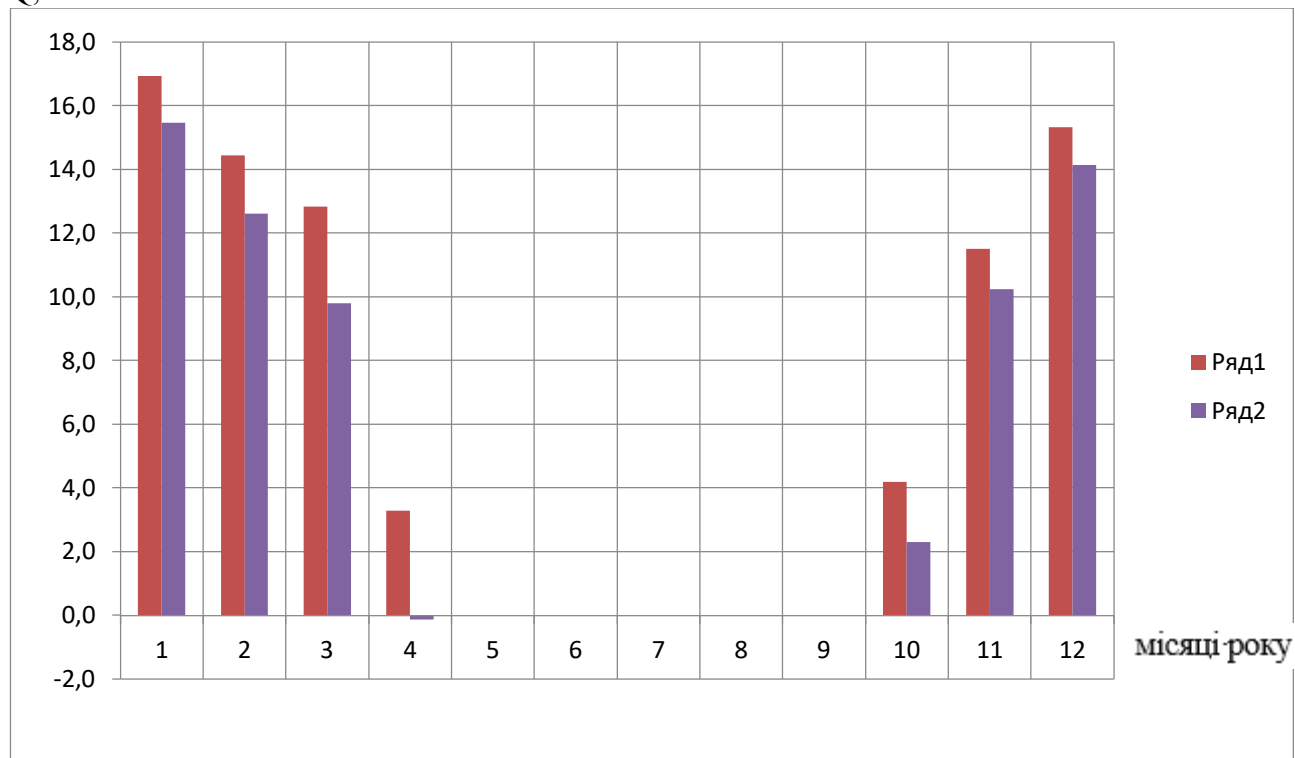


Рисунок 4.14 – Результати порівняння обсягів теплоспоживання об’єктом досліджень до (ряд 1) і після (ряд 2) впровадження заходу з енергозбереження – КУБ

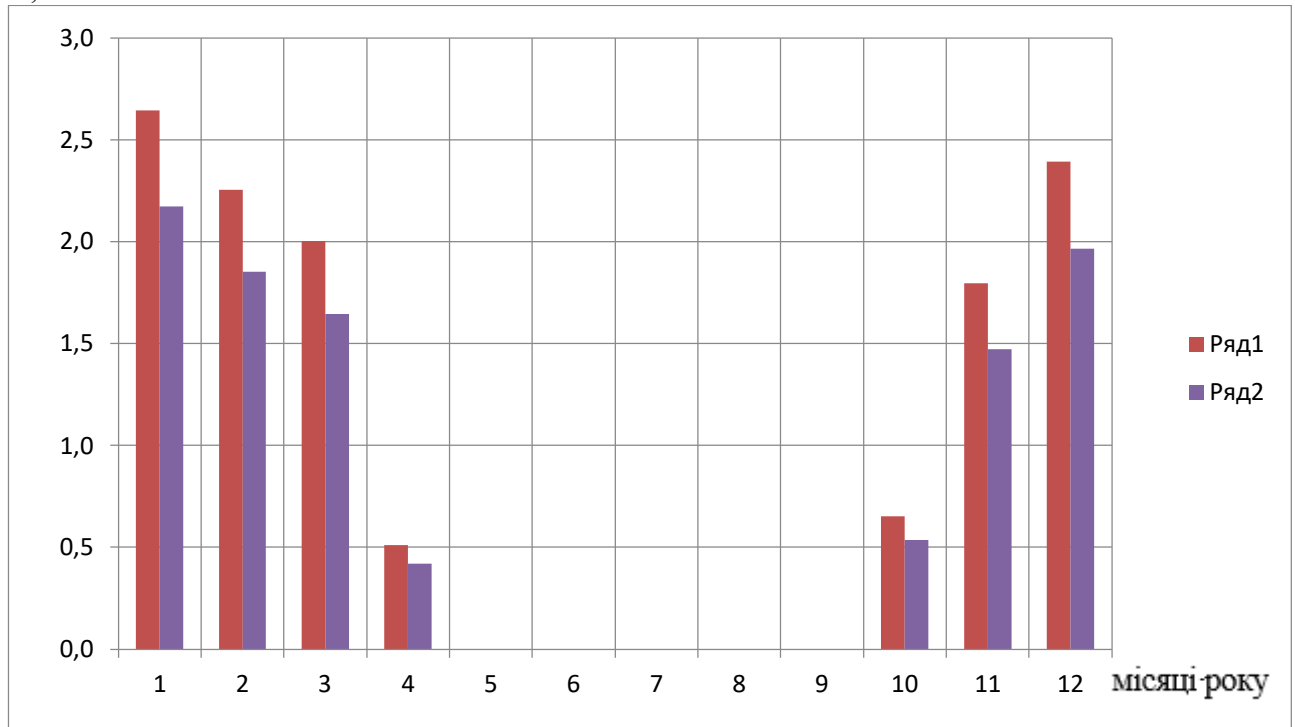
V, тис.н.м³

Рисунок 4.15 – Результати порівняння обсягів теплоспоживання об'єктом досліджень до (ряд 1) і після (ряд 2) впровадження заходу з енергозбереження – ГКК

Q, Гкал

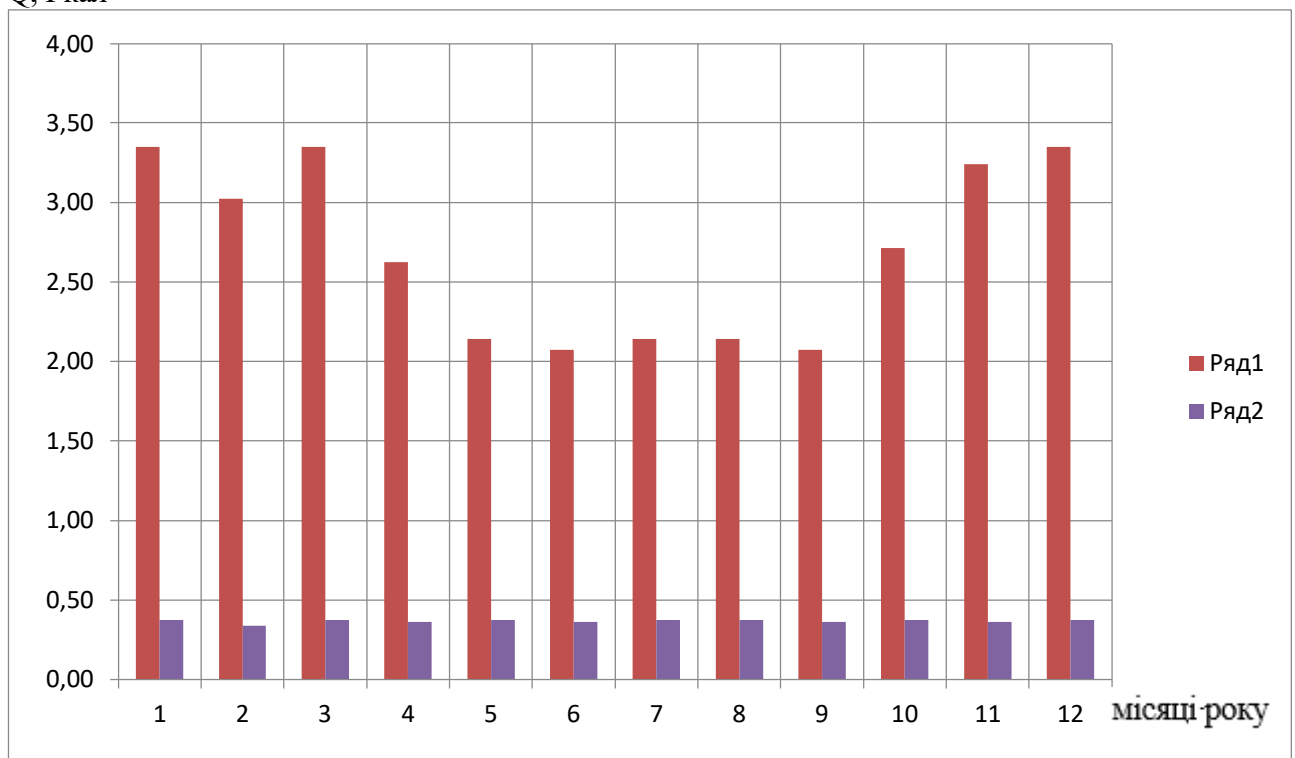


Рисунок 4.16 – Результати порівняння обсягів теплоспоживання об'єктом досліджень до (ряд 1) і після (ряд 2) впровадження заходу з енергозбереження – ГС

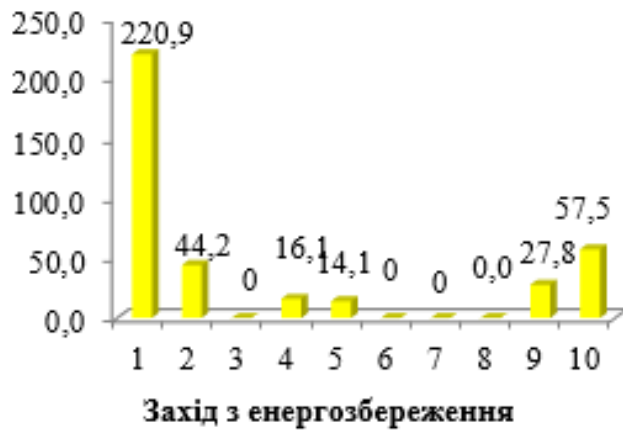
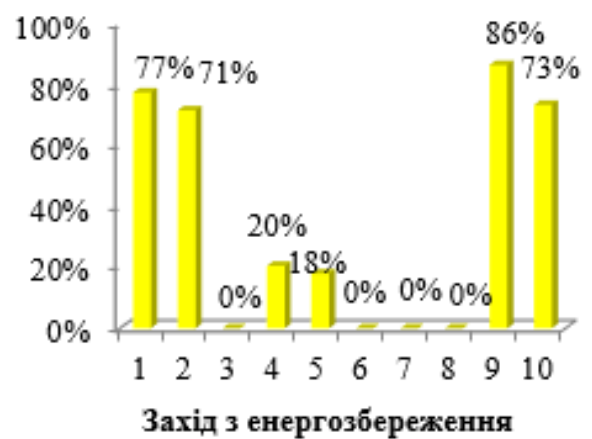
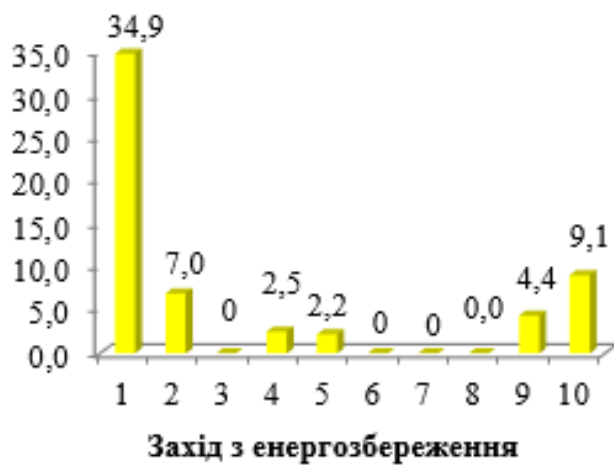
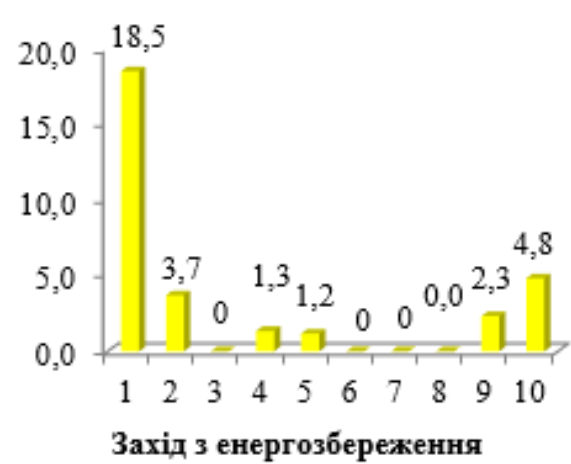
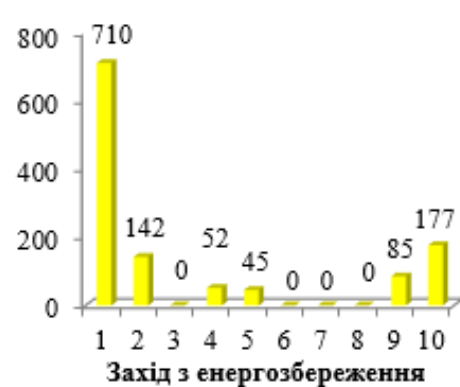
ΔQ , Гкал δQ , % $\Delta V_{пр}$,
тис.м³ ΔM_{CO_2} , т ΔM_{NOx} ,
кг $\Delta C_{оп(п)}$,
тис.грн

Рисунок 4.17 – Результати порівняння обсягів теплоспоживання об'єктом досліджень до і після впровадження заходів з енергозбереження (де 1 – ТМок, 2 – ІФ, 3 -ТМГВС, 4 – ІТП, 5 – КУБ, 6 – ТМТ(в), 7 – ТМзо(в), 8 – ГКК, 9 – ГС, 10 – ТН) за показниками енергетичного, екологічного та економічного ефектів

НО №2

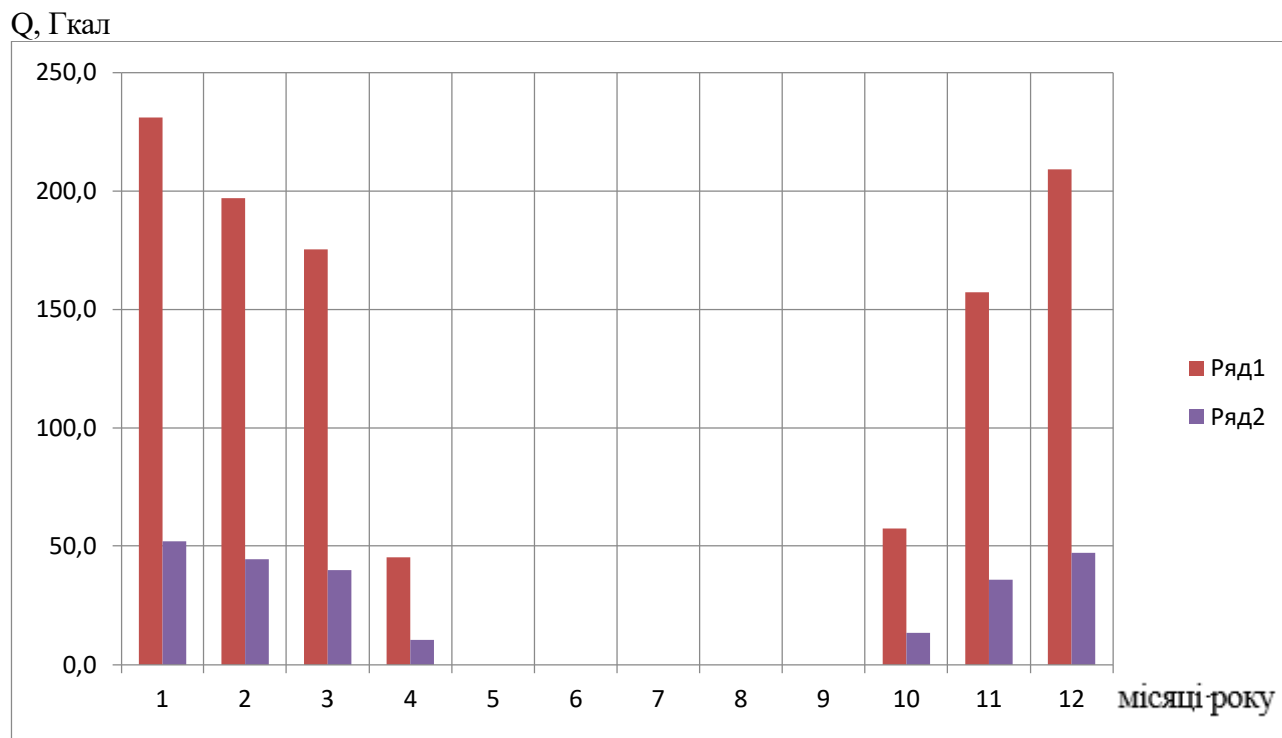


Рисунок 4.18 – Результати порівняння обсягів теплоспоживання об'єктом досліджень до (ряд 1) і після (ряд 2) впровадження заходу з енергозбереження – ТМок

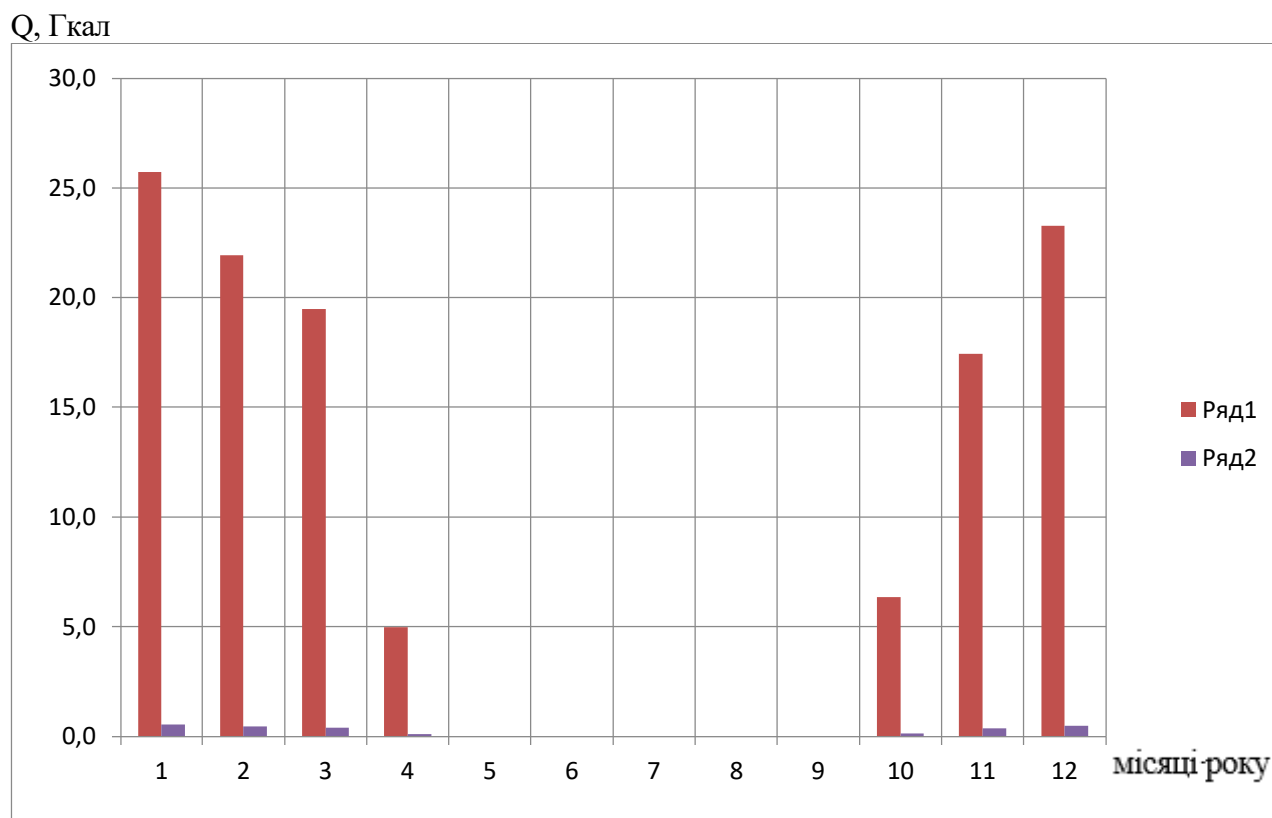


Рисунок 4.19 – Результати порівняння обсягів теплоспоживання об'єктом досліджень до (ряд 1) і після (ряд 2) впровадження заходу з енергозбереження – ІФ

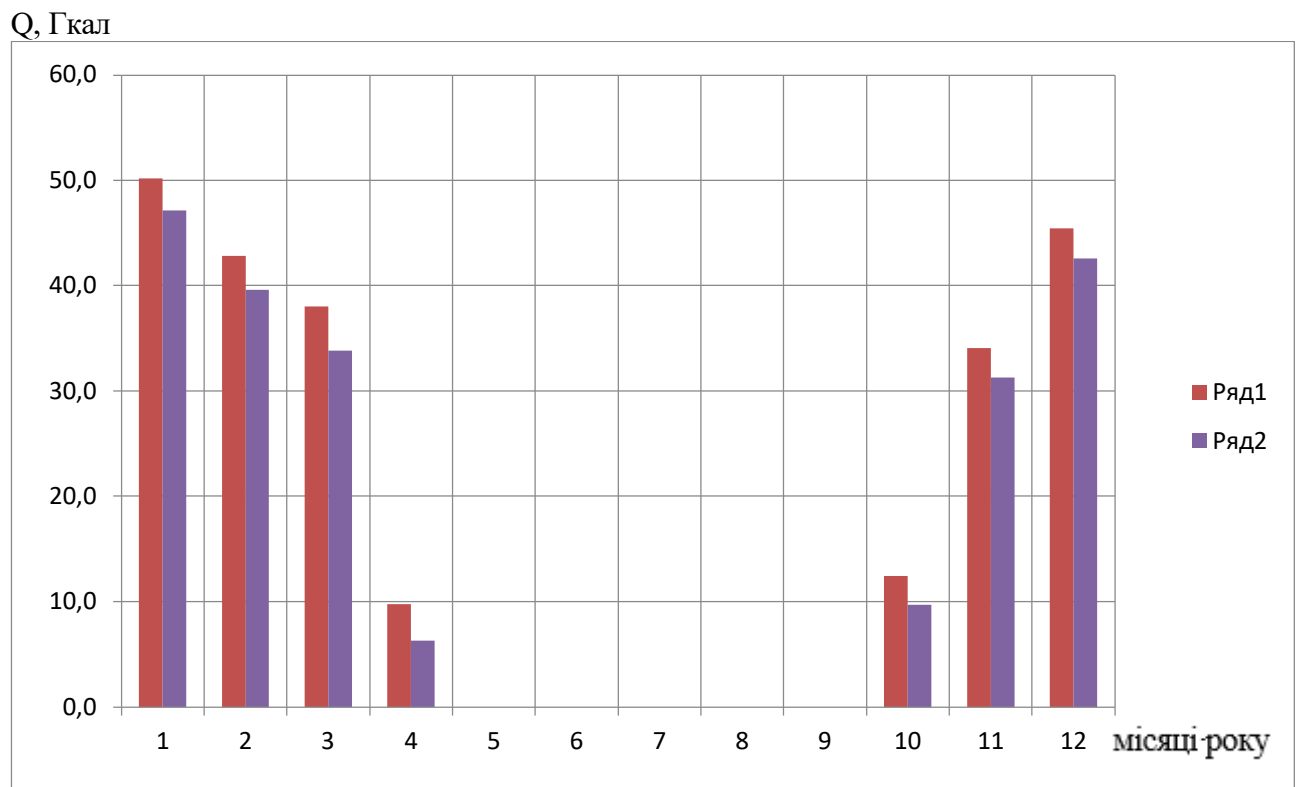


Рисунок 4.20 – Результати порівняння обсягів теплоспоживання об’єктом досліджень до (ряд 1) і після (ряд 2) впровадження заходу з енергозбереження –**КУБ**

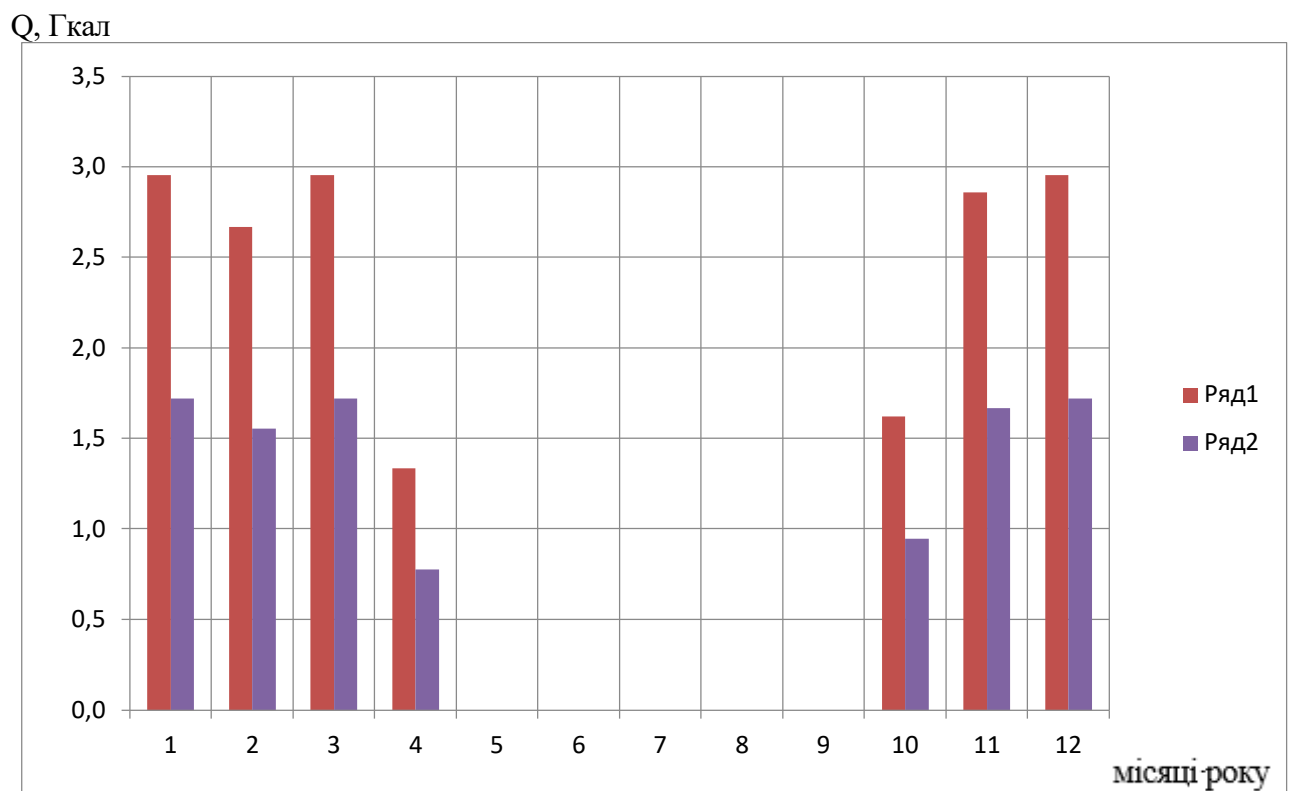
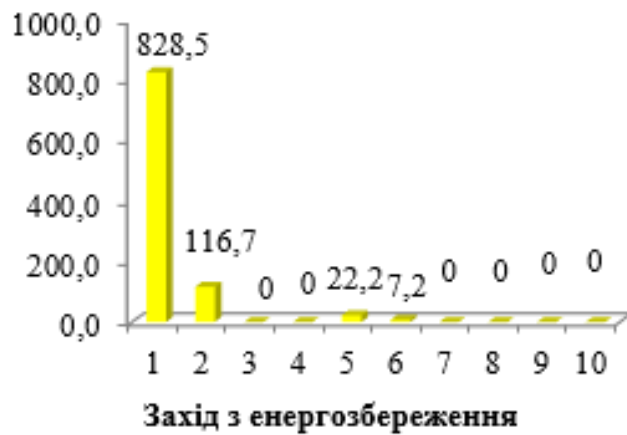
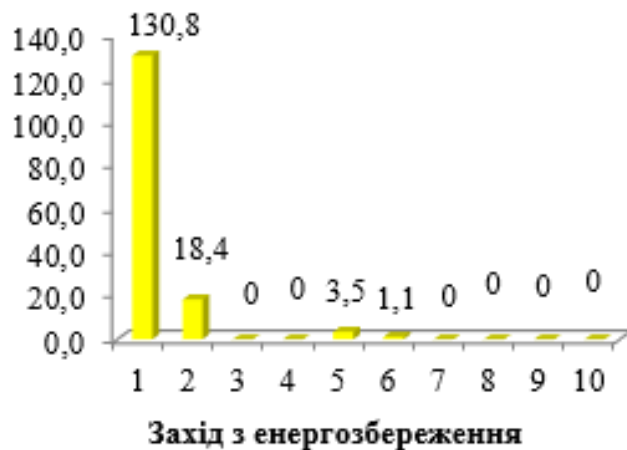
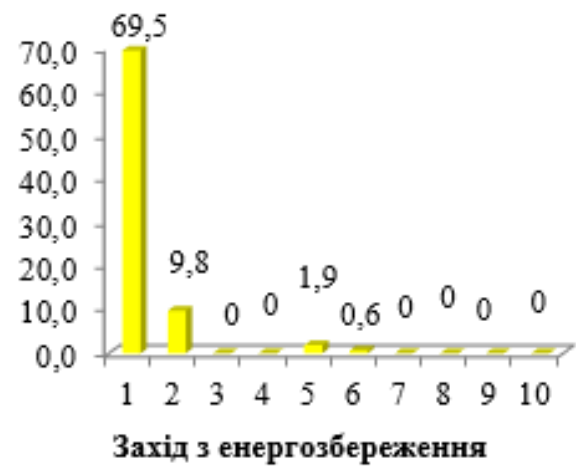
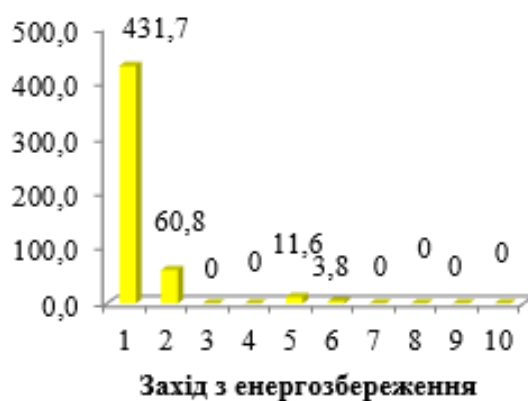


Рисунок 4.21 – Результати порівняння обсягів теплоспоживання об’єктом досліджень до (ряд 1) і після (ряд 2) впровадження заходу з енергозбереження –**ТМ_{Т(в)}**

ΔQ , Гкал δQ , % $\Delta V_{пр}$,тис.м³ ΔM_{CO_2} , т ΔM_{NOx} ,

кг

 $\Delta C_{оп(п)}$,

тис.грн

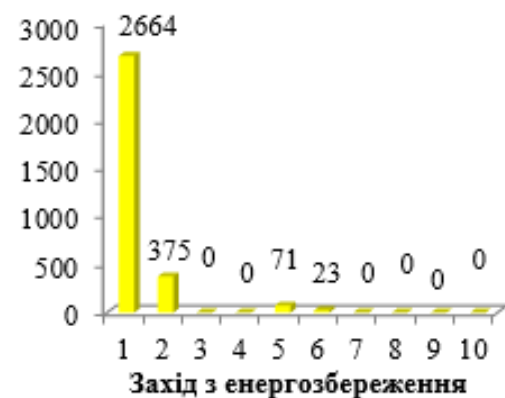


Рисунок 4.22 – Результати порівняння обсягів теплоспоживання об'єктом досліджень до і після впровадження заходів з енергозбереження (де 1 – ТМ_{ок}, 2 – ІФ, 3 -ТМ_{ГВС}, 4 – ІТП, 5 – КУБ, 6 – ТМ_{Т(в)}, 7 – ТМ_{зо(в)}, 8 – ГКК, 9 – ГС, 10 – ТН) за показниками енергетичного, екологічного та економічного ефектів.

НО №3

Q, Гкал

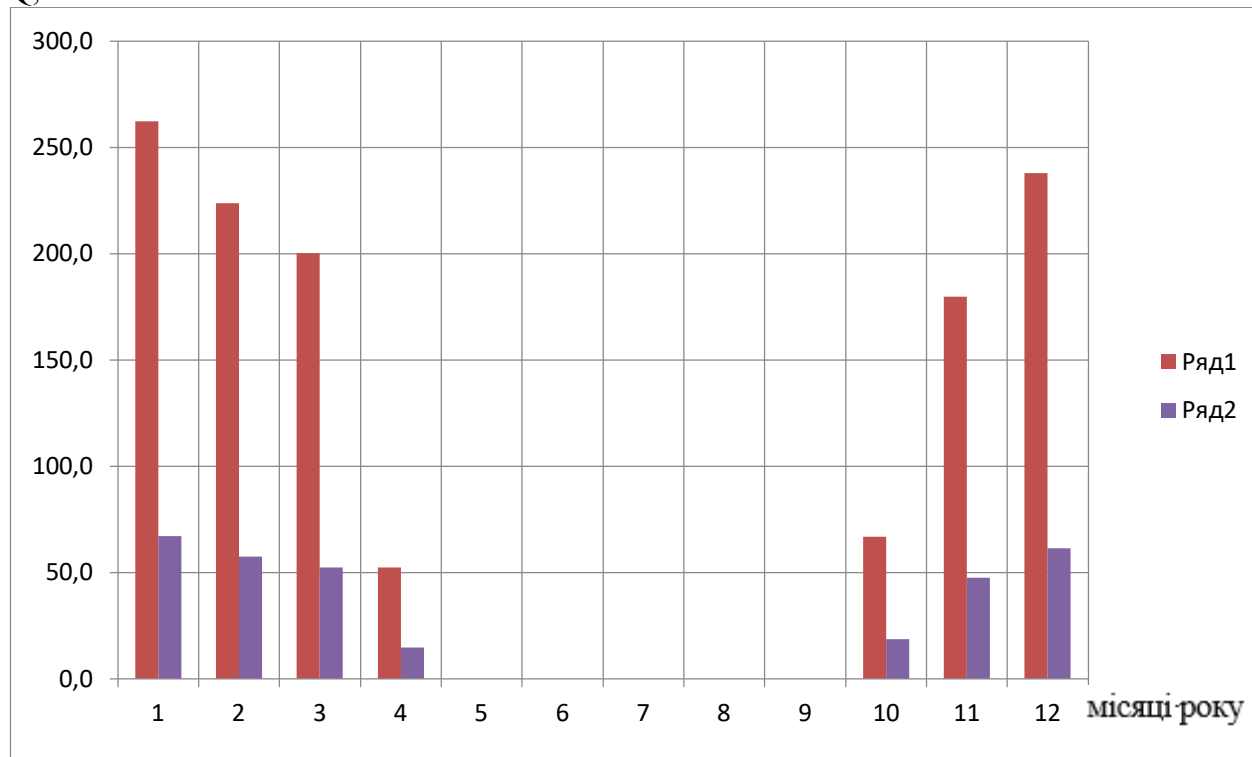


Рисунок 4.23 – Результати порівняння обсягів теплоспоживання об'єктом досліджень до (ряд 1) і після (ряд 2) впровадження заходу з енергозбереження – ТМок

Q, Гкал

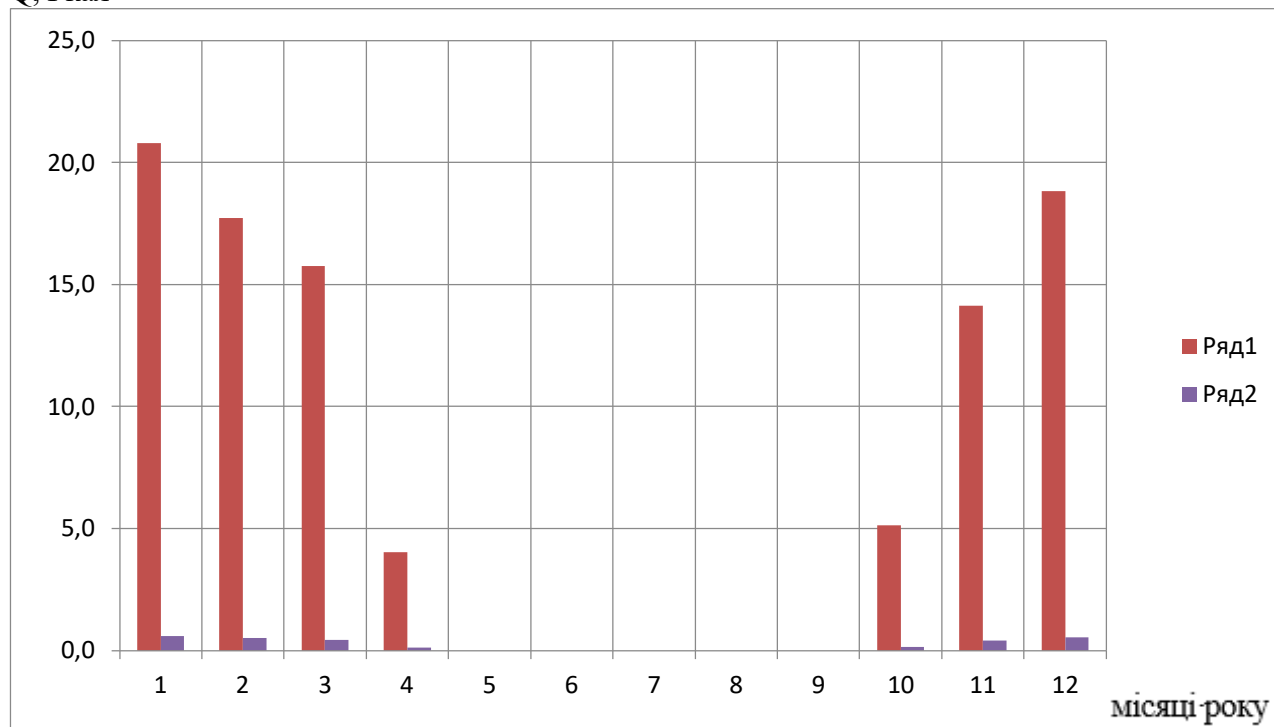


Рисунок 4.24 – Результати порівняння обсягів теплоспоживання об'єктом досліджень до (ряд 1) і після (ряд 2) впровадження заходу з енергозбереження – ІФ

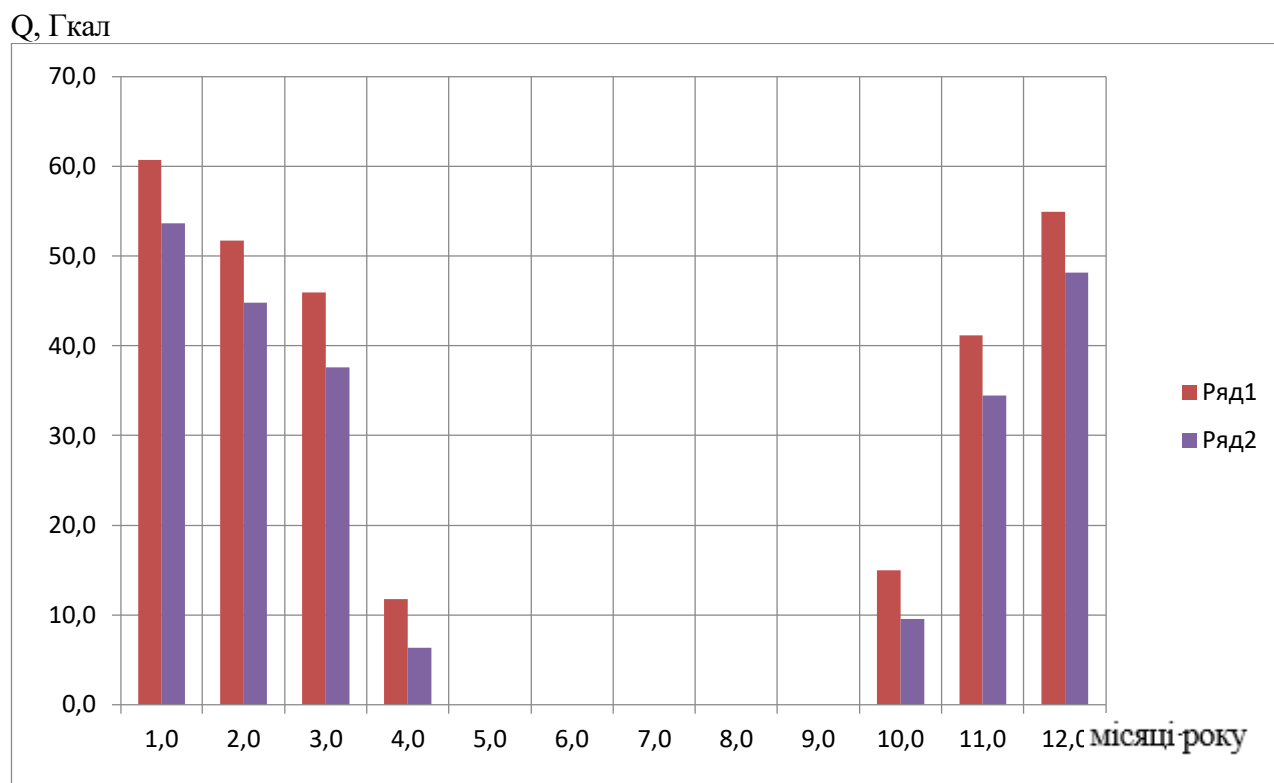


Рисунок 4.25 – Результати порівняння обсягів теплоспоживання об’єктом досліджень до (ряд 1) і після (ряд 2) впровадження заходу з енергозбереження – ІТП

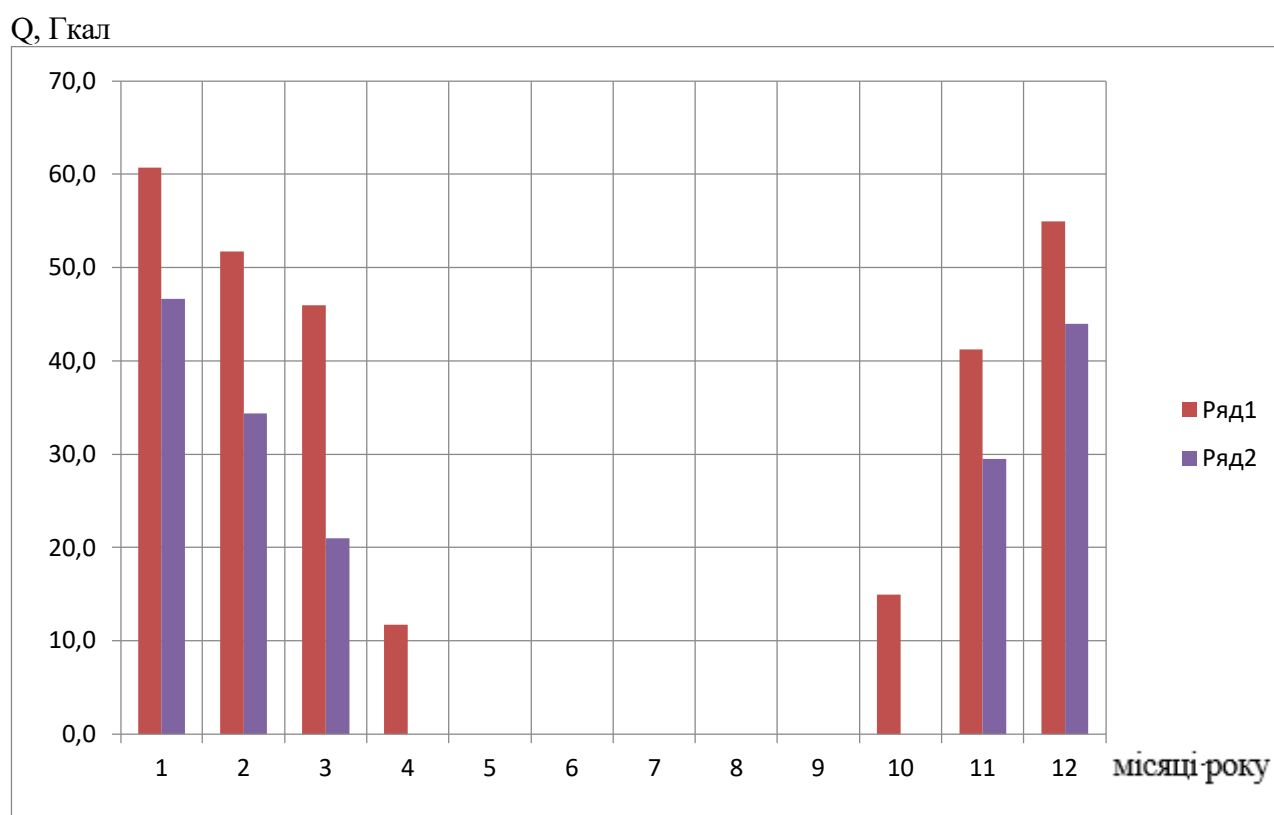
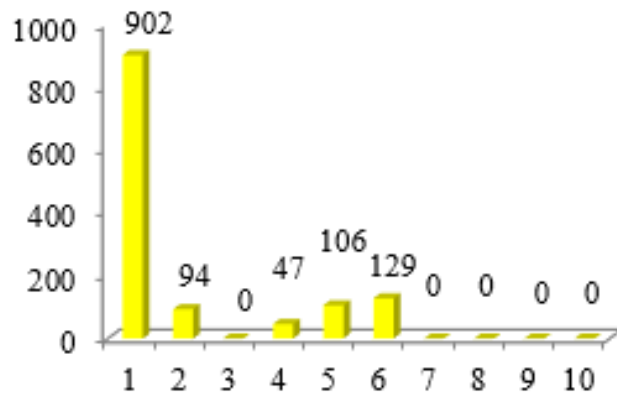
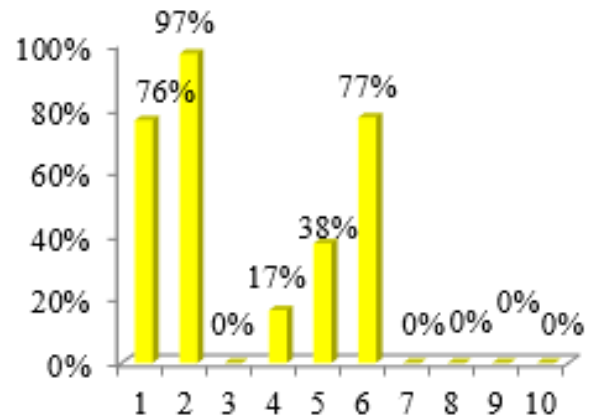


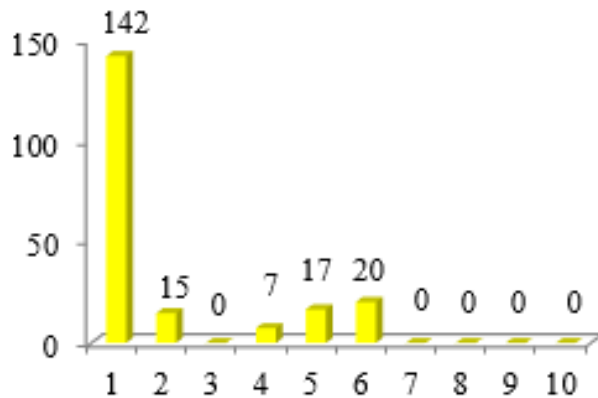
Рисунок 4.26 – Результати порівняння обсягів теплоспоживання об’єктом досліджень до (ряд 1) і після (ряд 2) впровадження заходу з енергозбереження – КУБ

ΔQ , Гкал

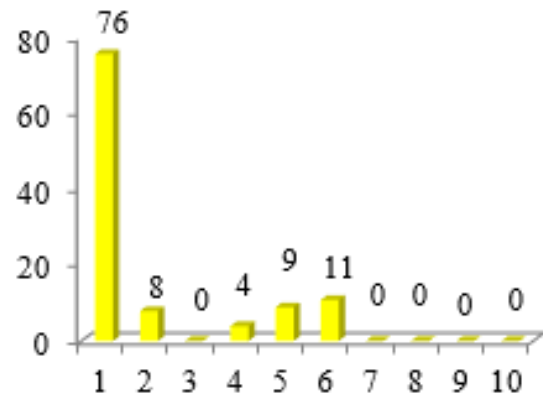
Захід з енергозбереження

 δQ , %

Захід з енергозбереження

 $\Delta V_{пр}$, тис.м³

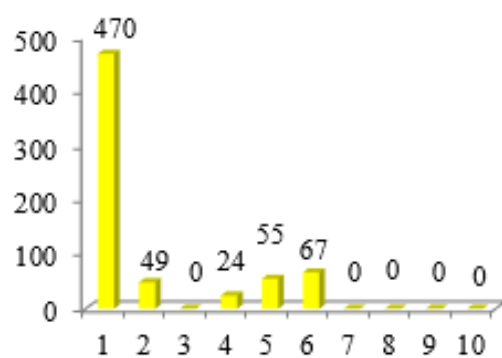
Захід з енергозбереження

 ΔM_{CO_2} , т

Захід з енергозбереження

 ΔM_{NOx} ,

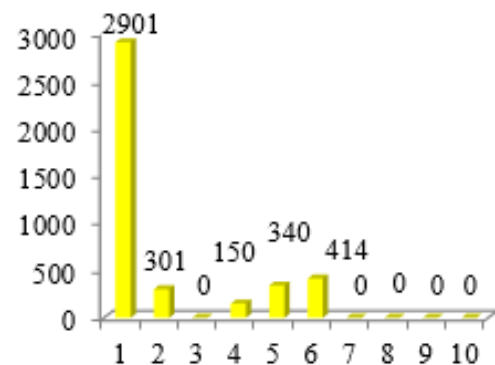
кг



Захід з енергозбереження

 $\Delta C_{оп(п)}$,

тис.грн



Захід з енергозбереження

Рисунок 4.27 – Результати порівняння обсягів теплоспоживання об'єктом досліджень до і після впровадження заходів з енергозбереження (де 1 – ТМок, 2 – ІФ, 3 -ТМГВС, 4 – ІТП, 5 – КУБ, 6 – ТМТ(в), 7 – ТМзо(в), 8 – ГКК, 9 – ГС, 10 – ТН) за показниками енергетичного, екологічного та економічного ефектів.

Таблиця 4.11 – Показники ефективності ЕЕЗ рекомендованих до впровадження на натурному об'єкті №1 (з ГКК та без ТН)

| № П/П | ЕЕЗ | Абсолютне – Δp_3 та відносне – Δp_3 зменшення показників р | | | | | | | C_3 , тис. грн | $T_{P_3(OK)}$, роки | I_3 , | ϵ_3 | NP_3 | Етап |
|----------|------------------|--|---|---|-----------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------|------------------------|-------------------------|---------|--------------|--------|------|
| | | Δq_3 , МВт·год | $\Delta q_{3(s)}$, кВт·год/м ² | $\Delta v_{3(p)}$, тис. м ³ | $\Delta m_{3(CO_2)}$, т | $\Delta m_{3(NO_x)}$, кг | $\Delta c_{3(T)}$, тис. грн | Δp_3 | | | | | | |
| 1 | ТМОК(кр.гор) | 52,4 | 23,0 | 7,12 | 3,8 | 23,5 | 145,0 | 0,14 | 340,4 | 2,3 | 1 | 0,34 | 1 | I |
| 2 | ТМІФ | 51,4 | 22,5 | 6,99 | 3,7 | 23,0 | 142,2 | 0,13 | 520,2 | 3,7 | 1 | 0,52 | 2 | I |
| 3 | ГКК | 16,1 | 7,1 | 2,19 | 1,2 | 7,2 | 31,9 | 0,04 | 160,8 | 5,0 | 1 | 0,16 | 3 | II |
| 4 | ТМКУБ | 16,4 | 7,2 | 2,22 | 1,2 | 7,3 | 45,3 | 0,04 | 239,2 | 5,3 | 1 | 0,24 | 4 | II |
| 5 | ТМОК(двері) | 4,2 | 1,8 | 0,57 | 0,3 | 1,9 | 11,7 | 0,01 | 63,5 | 5,4 | 1 | 0,06 | 5 | II |
| 6 | ТМОК(стіни) | 107,3 | 47,0 | 14,57 | 7,7 | 48,1 | 296,7 | 0,28 | 1902,6 | 6,4 | 1 | 1,92 | 6 | II |
| 7 | ГС | 32,4 | 14,2 | 4,39 | 2,3 | 14,5 | 85,4 | 0,08 | 832,3 | 9,7 | 1 | 0,84 | 7 | III |
| 8 | ТМОК(кр.сум) | 12,2 | 5,3 | 1,65 | 0,9 | 5,4 | 33,6 | 0,03 | 430,0 | 12,8 | 0 | 0,43 | 8 | – |
| 9 | ТМОК(вік) | 29,3 | 12,9 | 3,98 | 2,1 | 13,1 | 81,1 | 0,08 | 1068,1 | 13,2 | 0 | 1,08 | 9 | – |
| 10 | ТМІТН | 18,7 | 8,2 | 2,54 | 1,3 | 8,4 | 51,6 | 0,05 | 697,0 | 13,5 | 0 | 0,70 | 10 | – |
| 11 | ТМОК(підл.підв) | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,00 | 0 | – |
| 12 | 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 | – |
| 13 | ТМГВС | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,00 | 0 | – |
| 14 | ТМТ(В) | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,00 | 0 | – |
| 15 | ТМТ(З) | 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 | – |

Таблиця 4.12. Показники ефективності ЕЕЗ рекомендованих до впровадження на натурному об'єкті №1 (з ТН та без ГКК)

| № П/П | ЕЕЗ | Абсолютне – Δp_3 та відносне – Δp_3 зменшення показників р | | | | | | | C_3 , тис. грн | $T_{p_3(OK)}$, роки | I_3 , | ϵ_3 | NP_3 | Етап |
|----------|------------------|--|---|---|-----------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------|------------------------|-------------------------|---------|--------------|--------|------|
| | | Δq_3 , МВт·год | $\Delta q_{3(s)}$, кВт·год/м ² | $\Delta v_{3(p)}$, тис. м ³ | $\Delta m_{3(CO_2)}$, т | $\Delta m_{3(NO_x)}$, кг | $\Delta c_{3(T)}$, тис. грн | Δp_3 | | | | | | |
| 1 | ТМОК(кр.гор) | 52,4 | 23,0 | 7,12 | 3,8 | 23,5 | 145,0 | 0,14 | 340,4 | 2,3 | 1 | 0,15 | 1 | I |
| 2 | ТМІФ | 51,4 | 22,5 | 6,99 | 3,7 | 23,0 | 142,2 | 0,13 | 520,2 | 3,7 | 1 | 0,22 | 2 | I |
| 3 | ТМКУБ | 16,4 | 7,2 | 2,22 | 1,2 | 7,3 | 45,3 | 0,04 | 239,2 | 5,3 | 1 | 0,10 | 3 | II |
| 4 | ТМОК(двері) | 4,2 | 1,8 | 0,57 | 0,3 | 1,9 | 11,7 | 0,01 | 63,5 | 5,4 | 1 | 0,03 | 4 | II |
| 5 | ТМОК(стіни) | 107,3 | 47,0 | 14,57 | 7,7 | 48,1 | 296,7 | 0,28 | 1902,6 | 6,4 | 1 | 0,82 | 5 | II |
| 6 | ТН | 66,9 | 29,3 | 9,09 | 4,8 | 30,0 | 176,6 | 0,17 | 1483,1 | 8,4 | 1 | 0,64 | 6 | III |
| 7 | ГС | 32,4 | 14,2 | 4,39 | 2,3 | 14,5 | 85,4 | 0,08 | 832,3 | 9,7 | 1 | 0,36 | 7 | III |
| 8 | ТМОК(кр.сум) | 12,2 | 5,3 | 1,65 | 0,9 | 5,4 | 33,6 | 0,03 | 430,0 | 12,8 | 0 | 0,19 | 8 | – |
| 9 | ТМОК(вік) | 29,3 | 12,9 | 3,98 | 2,1 | 13,1 | 81,1 | 0,08 | 1068,1 | 13,2 | 0 | 0,46 | 9 | – |
| 10 | ТМІТП | 18,7 | 8,2 | 2,54 | 1,3 | 8,4 | 51,6 | 0,05 | 697,0 | 13,5 | 0 | 0,30 | 10 | – |
| 11 | ТМОК(підл.підв) | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,00 | 0 | – |
| 12 | 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 | – |
| 13 | ТМГВС | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,00 | 0 | – |
| 14 | ТМТ(В) | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,00 | 0 | – |
| 15 | ТМТ(З) | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,00 | 0 | – |
| 16 | ГКК | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0 | 0,00 | 0 | – |

Таблиця 4.13. Показники ефективності ЕЕЗ рекомендованих до впровадження на натурному об'єкті №2

| № п/п | ЕЕЗ | Абсолютне – Δp_3 та відносне – Δp_3 зменшення показників р | | | | | | | C_3 , тис.грн | $T_{p_3(OK)}$, роки | I_3 | e_3 | NP_3 | Етап |
|----------|--------------------|--|---|---|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------|--------------------|-------------------------|-------|-------|--------|------|
| | | Δq_3 , МВт·год | $\Delta q_{3(s)}$, кВт·год/м ² | $\Delta V_{3(п)}$, тис.м ³ | $\Delta m_{3(CO_2)}$, т | $\Delta m_{3(NOx)}$, кг | $\Delta c_{3(T)}$, тис.грн | Δp_3 | | | | | | |
| 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 | ТМОК(КР.гор) | 115,1 | 13,8 | 15,6 | 8,3 | 51,6 | 318,3 | 0,09 | 1411,4 | 4,4 | 1 | 0,07 | 2 | I |
| 3 | ТМОК(підл.підв) | 92,2 | 11,1 | 12,5 | 6,7 | 41,3 | 254,9 | 0,07 | 1143,9 | 4,5 | 1 | 0,05 | 3 | I |
| 4 | ТМОК(стіни) | 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 _{ІФ} | 135,7 | 16,3 | 18,4 | 9,8 | 60,8 | 375,1 | 0,11 | 3420,2 | 9,1 | 1 | 0,16 | 5 | III |
| 6 | ТМОК(двері) | 2,1 | 0,2 | 0,28 | 0,1 | 0,9 | 5,7 | 0,002 | 52,4 | 9,2 | 1 | 0,00 | 6 | III |
| 7 | ТМ _{КУБ} | 25,9 | 3,1 | 3,5 | 1,9 | 11,6 | 71,5 | 0,02 | 824,8 | 11,5 | 1 | 0,04 | 7 | III |
| 8 | ТМОК(вік) | 130,2 | 15,6 | 17,7 | 9,4 | 58,3 | 359,8 | 0,11 | 4978,5 | 13,8 | 0 | 0,23 | 8 | – |
| 9 | 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 | – |
| 10 | 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 | – |
| 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 _{ІП} | 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 | – |

Таблиця 4.14. Показники ефективності ЕЕЗ рекомендованих до впровадження на натурному об'єкті №3

| № П/П | ЕЕЗ | Абсолютне – Δp_3 та відносне – Δp_3 зменшення показників р | | | | | | | C_3 , тис. грн | $T_{p_3(ок)}$, роки | I_3 | e_3 | NP_3 | Етап |
|----------|--------------------|--|---|---|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------|------------------------|-------------------------|-------|-------|--------|------|
| | | Δq_3 , МВт·год | $\Delta q_{3(s)}$, кВт·год/м ² | $\Delta V_{3(п)}$, тис. м ³ | $\Delta m_{3(CO_2)}$, т | $\Delta m_{3(Nox)}$, кг | $\Delta c_{3(т)}$, тис. грн | Δp_3 | | | | | | |
| 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 | ТМОК(підл.підв) | 213,6 | 30,8 | 29,00 | 15,4 | 95,7 | 590,4 | 0,14 | 2089,8 | 3,5 | 1 | 0,09 | 2 | I |
| 3 | ТМ _{КУБ} | 142,9 | 20,6 | 19,40 | 10,3 | 64,0 | 395,0 | 0,09 | 1582,2 | 4,0 | 1 | 0,07 | 3 | I |
| 4 | ТМОК(кр.гор) | 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 _{ІФ} | 108,9 | 15,7 | 14,79 | 7,9 | 48,8 | 301,2 | 0,07 | 1889,2 | 6,3 | 1 | 0,08 | 5 | II |
| 6 | ТМОК(двері) | 0,9 | 0,1 | 0,12 | 0,1 | 0,4 | 2,4 | 0,001 | 22,1 | 9,2 | 1 | 0,00 | 6 | III |
| 7 | ТМОК(стіни) | 222,9 | 32,2 | 30,27 | 16,1 | 99,9 | 616,2 | 0,14 | 5778,0 | 9,4 | 1 | 0,25 | 7 | III |
| 8 | ТМОК(вік) | 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 _{ІТП} | 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 | ТМ _{ГВС} | 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 | – |

Визначення параметрів і оцінка ефективності процедури РВПТ.

Аналіз результатів досліджень НОН₁, представлених у на рис. 4.11-4.17, табл. 4.11-4.12 свідчить про наступне.

1. Встановлені параметри процедури РВПТ є такими:

- узагальнені еколого-економічні ефекти I; II; III етапів складають: річні $\Delta P_{\text{ет}} - 0,27; 0,37 \text{ і } 0,08$ відповідно; довгострокові $\Delta P_{\text{ет}} - 0,27 \text{ } 0,33 \text{ і } 0,07$ відповідно;

- відносний загальний економічний ефект $\Delta c_{\text{ет}}$: I-го $- 0,32$, II-го $- 0,37$, III-го $- 0,07$;

- розрахункові значення вартості і термінів окупності етапів: I-го $- 860,6$ тис.грн. і 3,0 роки, II-го $- 2366,1$ тис.грн. і 6,1 років, III-го $- 832,3$ тис.грн. і 9,7 роки;

- очікувані фактичні значення вартості і термінів окупності етапів враховуючи періоди затримки початку виконання етапів: I-го $- 860,6$ тис.грн. і 3,0 роки, II-го $- 1330,0$ тис.грн. і 3,5 роки, III-го $- 341,7$ тис.грн. і 4,0 роки;

- періоди затримки початку виконання етапів: I-го $- 0$ років, II-го $- 3,2$ років, III-го $- 3,3$ років;

- значимість етапів $e_{\text{ет}}$: I-го $- 21\%$, II-го $- 58\%$, III-го $- 21\%$;

- відносний внесок інвестицій у вартість етапів $R^{\text{ін}}_{\text{ет}}$: I-го $- 1,0$, II-го $- 0,56$, III-го $- 0,41$.

2. Встановлені показники ефективності процедури ПРВ ЕЕЗ є такими:

- узагальнений еколого-економічний ефект: річного рівня $- \Delta P_{\text{пр}} = 0,73$; довгостроковий за 25 років $\Delta P_{\text{пр}} = 0,80$;

- енергетичний ефект: річний $- \Delta q_{\text{пр}} = 41,6$ МВт*год при $\Delta q_s = 175$ кВт*год/м²; довгостроковий $\Delta Q_{\text{пр}} = 1,0$ ГВт*год;

- економічний ефект: річний $- \Delta c_{\text{пр}} = 58,5$ тис.грн; довгостроковий $\Delta C_{\text{пр}} = 1,4$ млн.грн.

3. Порівняно з процедурою ОКВ ЕЕЗ процедура РВПТ має такі переваги:

- забезпечення рівня річного узагальненого еколого-економічного ефекту $\Delta P_{\text{пр}}$ при несуттєвому зменшенні довгострокових ефектах $\Delta P_{\text{пр}} - \text{з } 0,85 \text{ до } 0,80$ тобто на 6,0% та $\Delta C_{\text{пр}} - \text{з } 1,5 \text{ млн.грн. до } 1,4 \text{ млн.грн. тобто на } 5,8\%$;

- зменшення обсягів інвестування для початку реалізації процедури у 8,1 рази;

- зменшення показника $R_{ін}$ відносного внеску інвестицій у вартість процедури – 0,4 млн.грн. з 1,0 до 0,73, тобто у 1,4 рази при несуттєвому зростанні терміну окупності процедури з 6,0 років до 7,5 роки, тобто на 1,5 років або на 24,4%.

Аналіз результатів досліджень НО №2, представлених у табл. 4.13 і на рис. 4.18-4.22, свідчить про наступне.

1. Встановлені параметри процедури ПРВ ЕЕЗ є такими:

- узагальнені еколого-економічні ефекти I; II; III етапів складають: річні $\Delta p_{ет}$ – 0,17; 0,40 і 0,13 відповідно; довгострокові $\Delta P_{ет}$ – 0,17; 0,25 і 0,08 відповідно;

- відносний загальний економічний ефект $\Delta c_{ет}$: I-го – 0,16, II-го – 0,31, III-го – 0,09;

- розрахункові значення вартості і термінів окупності етапів: I-го – 2636,0 тис.грн. і 4,4 роки, II-го – 9691,0 тис.грн. і 7,2 років, III-го – 4297,0 тис.грн. і 9,5 роки;

- очікувані фактичні значення вартості і термінів окупності етапів: I-го – 2636,0 тис.грн. і 4,4 роки, II-го – 4656,0 тис.грн. і 3,5 років, III-го – 1809,0 тис.грн. і 4,0 роки;

- періоди затримки початку виконання етапів: I-го – 0 років, II-го – 9,4 років, III-го – 10,1 років;

- значимість етапів $e_{ет}$: I-го – 16%, II-го – 58%, III-го – 26%;

- відносний внесок інвестицій у вартість етапів $R_{ет}^{ін}$: I-го – 1,0, II-го – 0,48, III-го – 0,42.

2. Встановлені показники ефективності процедури РВПТ є такими:

- узагальнений еколого-економічний ефект: річний - $\Delta p_{пр} = 0,70$; довгостроковий $\Delta P_{пр} = 0,50$;

- енергетичний ефект: річний - $\Delta q_{пр} = 867,5$ МВт*год при $\Delta q_s = 104,1$ кВт*год/м²; довгостроковий $\Delta Q_{пр} = 15,4$ ГВт*год;

- економічний ефект: річний - $\Delta c_{пр} = 2398,0$ тис.грн; довгостроковий $\Delta C_{пр} = 59,96$ млн.грн.

3. Порівняно з процедурою ОКВ ЕЕЗ процедура РВПТ має такі переваги:

- забезпечення рівня річного узагальненого еколого-економічного ефекту $\Delta P_{\text{пр}}$ при несуттєвому зменшенні довгострокових ефектах $\Delta P_{\text{пр}}$ – з 0,85 до 0,83 тобто на 2,9% та $\Delta C_{\text{пр}}$ – з 12,5 млн.грн. до 12,1 млн.грн. тобто на 2,9%;
- зменшення обсягів інвестування для початку реалізації процедури у 4,8 рази;
- зменшення показника $R_{\text{ін}}$ відносного внеску інвестицій у вартість процедури – 3,1 млн.грн. з 1,0 до 0,55, тобто у 1,9 рази при несуттєвому зростанні терміну окупності процедури з 6,1 років до 6,8 роки, тобто на 0,7 років або на 11,4%.

Аналіз результатів досліджень НО №3, представлених у табл. 4.13 і на рис. 4.23-4.27, свідчить про наступне.

4. Встановлені параметри процедури ПРВ ЕЕЗ є такими:

1- узагальнені еколого-економічні ефекти I; II; III етапів складають: річні $\Delta P_{\text{ет}}$ – 0,48; 0,07 і 0,34 відповідно; довгострокові $\Delta P_{\text{ет}}$ – 0,48; 0,07 і 0,29 відповідно;

2- відносний загальний економічний ефект $\Delta c_{\text{ет}}$: I-го – 0,30, II-го – 0,08, III-го – 0,62;

3- розрахункові значення вартості і термінів окупності етапів: I-го – 6989,0 тис.грн. і 3,3 роки, II-го – 1889,0 тис.грн. і 6,3 років, III-го – 14630,0 тис.грн. і 10,0 років;

4- очікувані фактичні значення вартості і термінів окупності етапів: I-го – 6989,0 тис.грн. і 3,3 роки, II-го – 1039,0 тис.грн. і 3,5 роки, III-го – 5825,0 тис.грн. і 4,0 роки;

5- періоди затримки початку виконання етапів: I-го – 0 років, II-го – 0,3 років, III-го – 3,4 років;

6- значимість етапів $e_{\text{ет}}$: I-го – 30%, II-го – 8,0%, III-го – 62%;

7- відносний внесок інвестицій у вартість етапів $R_{\text{ет}}^{\text{ін}}$: I-го – 1,0, II-го – 0,50, III-го – 0,40.

2. Встановлені показники ефективності процедури РВПТ є такими:

- узагальнений еколого-економічний ефект: річний - $\Delta p_{\text{пр}} = 0,89$;
довгостроковий $\Delta P_{\text{пр}} = 0,84$;

- енергетичний ефект: річний - $\Delta q_{\text{пр}} = 1396,1$ МВт*год при $\Delta q_s = 201,5$ кВт*год/м²; довгостроковий $\Delta Q_{\text{пр}} = 33,1$ ГВт*год;

- економічний ефект: річний - $\Delta c_{\text{пр}} = 3860,0$ тис.грн; довгостроковий $\Delta C_{\text{пр}} = 96,5$ млн.грн.

3. Порівняно з процедурою ОКВ ЕЕЗ процедура РВПТ має такі переваги:

- забезпечення рівня річного узагальненого еколого-економічного ефекту $\Delta p_{\text{пр}}$ при несуттєвому зменшенні довгострокових ефектах $\Delta P_{\text{пр}}$ – з 0,89 до 0,85 тобто на 5,3% та $\Delta C_{\text{пр}}$ – з 9,0 млн.грн. до 9,5 млн.грн. тобто на 5,3%;

- зменшення обсягів інвестування для початку реалізації процедури у 8,9 рази;

- зменшення показника $R_{\text{ін}}$ відносного внеску інвестицій у вартість процедури – 2,3 млн.грн. з 1,0 до 0,49, тобто у 2 рази при несуттєвому зростанні терміну окупності процедури з 6,5 років до 7,2 роки, тобто на 0,7 років або на 10,2%.

Узагальнені результати досліджень НО №1-3 доводять наступні переваги процедури РВПТ над процедурою ОКВ ЕЕЗ в умовах недостатності коштів на одночасну реалізацію всіх запропонованих до впровадження ЕЕЗ: для досягнення рівної для обох процедур річної еколого-економічної ефективності, яка склала 64-85%, процедура РВПТ потребує менших обсягів інвестування у 4,8-9,1 рази для початку своєї реалізації та у 1,4-2,0 рази для повного виконання зростання терміну окупності порівняно з процедурою ОКВ ЕЕЗ при цьому є несуттєвим і складає 0,3-2,0 роки.

На верхніх діаграмах рис. 4.11 4.27 в графічному вигляді наведено порівняльний аналіз ефективності ОКВ та РВПТ на НО№1-3. На верхніх лівих діаграмах відображено зміну відносного річного рівня критерія еколого-економічного ефекту що уособлює собою зменшення рівня екологічного, ресурсного та економічного навантаження на довкілля та суспільство, з початкового рівня до кінцевого рівня, що має бути досягнутий при повному виконанні запланованих до впровадження ЕЕЗ. Пунктирною прямою лінією

відображається отримання усередненого ефекту при провадженні ЕЕЗ по процедурі ОКВ. При впровадженні запланованих ЕЕЗ на об'єктах по процедурі РВПТ, що передбачає впровадження в межах наявного фінансування в першу чергу заходів із найкращими значеннями строку окупності по загальному пакету заходів для всієї групи будівель, можна побачити як по етапах змінюється відносний річний рівень критерію еколого-економічного ефекту. На верхніх лівих діаграмах впровадження ЕЕЗ по процедурі РВПТ відображається жирними вертикальними лініями, а зміна відносного річного рівня критерію еколого-економічного ефекту відображена суцільною зламаною лінією що поєднує точки початкових рівнів критерію еколого-економічного ефекту кожного із етапів. На верхніх правих діаграмах відображено еколого-економічний ефект який утворюється від впровадження повного пакету запропонованих ЕЕЗ на всіх будівлях що приймають участь в програмі термомодернізації.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що при впровадженні запропонованих до впровадження ЕЕЗ в групах будівель, що представлені натурними об'єктами №1-3, процедура РВПТ має перевагу над процедурою ОКВ в межах 19,5-34% від, як додатковий еколого-економічний ефект що утворюється протягом всього терміну впровадження повного пакету запропонованих заходів на всіх будівлях що приймають участь в програмі.

Конкретно по кожному НО отримані наступні результати:

НО№1 – впровадження повного пакету ЕЕЗ за процедурою ОКВ дозволить зменшити негативний вплив на довкілля з $p = 1,0$ до рівня $p = 0,15$ (рис. 4.2 а) та відповідно отримати еколого-економічний ефект на рівні $\Delta p = 0,85$ (рис. 4.2 б), в свою чергу впровадження ЕЕЗ за процедурою ПРВ дозволить отримати той же кінцевий рівень $p = 0,15$ (рис. 4.2 а), але в три етапи: 1-м етапом впроваджуються найбільш окупні заходи та відбувається зниження p до рівня 0,68; 2-м етапом впроваджуються середньо окупні заходи та відбувається зниження p до рівня 0,39; 3-м етапом впроваджуються довго окупні заходи та відбувається зниження

p до рівня 0,15, при цьому отримується додатковий еколого-економічний ефект у розмірі 30%.

НО№2 – впровадження повного пакету ЕЕЗ за процедурою ОКВ дозволить зменшити негативний вплив на довкілля з $p = 1,0$ до рівня $p = 0,18$ (рис. 4.2 а) та відповідно отримати еколого-економічний ефект на рівні $\Delta p = 0,82$ (рис. 4.2 б), в свою чергу впровадження ЕЕЗ за процедурою ПРВ дозволить отримати той же кінцевий рівень $p = 0,18$ (рис. 4.2 а), але в три етапи: 1-м етапом впроваджуються найбільш окупні заходи та відбувається зниження p до рівня 0,62; 2-м етапом впроваджуються середньо окупні заходи та відбувається зниження p до рівня 0,39; 3-м етапом впроваджуються довго окупні заходи та відбувається зниження p до рівня 0,18, при цьому отримується додатковий еколого-економічний ефект у розмірі 34%.

НО№3 – впровадження повного пакету ЕЕЗ за процедурою ОКВ дозволить зменшити негативний вплив на довкілля з $p = 1,0$ до рівня $p = 0,17$ (рис. 4.2 а) та відповідно отримати еколого-економічний ефект на рівні $\Delta p = 0,83$ (рис. 4.2 б), в свою чергу впровадження ЕЕЗ за процедурою ПРВ дозволить отримати той же кінцевий рівень $p = 0,17$ (рис. 4.2 а), але в три етапи: 1-м етапом впроваджуються найбільш окупні заходи та відбувається зниження p до рівня 0,68; 2-м етапом впроваджуються середньо окупні заходи та відбувається зниження p до рівня 0,39; 3-м етапом впроваджуються довго окупні заходи та відбувається зниження p до рівня 0,17, при цьому отримується додатковий еколого-економічний ефект у розмірі 33%.

Таблиця 4.15 – Визначення параметрів та оцінки ефективності процедури РВПТ на **НО №1** (з ГКК та без ТН)

| Складові процедури | | Абсолютні - $\Delta p_{ет}$, $\Delta p_{пр}$ та відносні – $\Delta p_{ет}$, $\Delta p_{пр}$ зменшення показників р | | | | | | Параметри процедури | | | | | | | |
|--------------------|-----|--|----------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|------------|-------------------|------------------|------------------|---|---|---------------|
| | | $\Delta q_{ет}$ | $\Delta q_{ет(s)}$ | $\Delta v_{ет(п)}$ | $\Delta m_{ет(CO_2)}$, | $\Delta m_{ет(Nox)}$ | $\Delta c_{ет(т)}$ | $\Delta p_{ет}$ | $C_{ет}^п$ | $T_{ет(ок)}$) | $T_{ет(п)}$) | $e_{ет}$ | $C_{ет}^{ін_e}$ т, $C_{ет}^{ін_п}$ р, грн | $R_{ет}^{ін}$ | |
| | | $\Delta q_{пр}$ | $\Delta q_{пр(s)}$ | $\Delta v_{пр(п)}$ | $\Delta m_{пр(CO_2)}$, | $\Delta m_{пр(Nox)}$, | $\Delta c_{пр(т)}$ | $\Delta p_{пр}$ | $C_{пр}^п$ | $T_{пр(ок)}$) | $T_{пр}$ | $T_{ет(п)}$) | $e_{ет}$ | $C_{ет}^{ін_e}$ т, $C_{ет}^{ін_п}$ р, грн | $R_{ет}^{ін}$ |
| | | МВт·год | кВт·год/ м ² | тис.м ³ | т | кг | тис.грн | | тис.грн | роки | роки | роки | | грн | |
| Етапи | I | 103,9 | 45,5 | 14,1 | 7,5 | 46,5 | 287,2 | 0,27 | 860,6 | 3,0 | 3,0 | 0,0 | 0,21 | 861 | 1,00 |
| | II | 144,1 | 63,1 | 19,6 | 10,4 | 64,5 | 385,5 | 0,37 | 2366,1 | 6,1 | 3,5 | 3,2 | 0,58 | 1330 | 0,56 |
| | III | 32,4 | 14,2 | 4,4 | 2,3 | 14,5 | 85,4 | 0,08 | 832,3 | 9,7 | 4,0 | 3,3 | 0,21 | 342 | 0,41 |
| Процедура | | 280,3 | 122,8 | 38,1 | 20,2 | 125,6 | 758,1 | 0,73 | 4059,0 | - | 7,3 | - | - | 2532 | 0,62 |

Таблиця 4.16 – Оцінка довгострокової ефективності процедури ПРВ ЕЕЗ на НО №1

| Складові процедури | | Абсолютні - $\Delta P_{ет}$, $\Delta P_{пр}$ та відносні – $\Delta P_{ет}$, $\Delta P_{пр}$ зменшення Р | | | | | Загальний економічний ефект | | |
|--------------------|-----|---|---|---|---|--|--------------------------------------|--|--|
| | | $\Delta Q_{ет}$, $\Delta Q_{пр}$, МВт·год | $\Delta V_{ет(п)}$, $\Delta V_{пр(п)}$, тис. м ³ | $\Delta M_{ет(CO2)}$, $\Delta M_{пр(CO2)}$, т | $\Delta M_{ет(Nox)}$, $M_{пр(Nox)}$, кг | $\Delta C_{ет(т)}$, $\Delta C_{пр(т)}$, тис. грн | $\Delta P_{ет}$, $\Delta P_{пр}$ | $\Delta C^3_{ет}$, $\Delta C^3_{пр}$, тис. грн | $\Delta C^3_{ет}$, $\Delta C^3_{пр}$ |
| Етапи | I | 2597 | 352,7 | 187 | 1164 | 7179 | 0,27 | 6319 | 0,32 |
| | II | 3147 | 489 | 260 | 1614 | 9638 | 0,33 | 7272 | 0,37 |
| | III | 701 | 110 | 58 | 362 | 2135 | 0,07 | 1303 | 0,07 |
| Процедура | | 6445 | 952 | 506 | 3140 | 18953 | 0,67 | 14894 | 0,76 |

| Складові процедури | | Абсолютні - $P_{ет}$, $P_{пр}$ та відносні – $P_{ет}$, $P_{пр}$ значення Р | | | | | Значимість етапів | | |
|--------------------|-----|--|---|---|--|--|------------------------|------------|------------|
| | | $Q_{ет}$, $Q_{пр}$, МВт·год | $V_{ет(п)}$, $V_{пр(п)}$, тис. м ³ | $M_{ет(CO2)}$, $M_{пр(CO2)}$, т | $M_{ет(Nox)}$, $M_{пр(Nox)}$, кг | $C_{ет(т)}$, $C_{пр(т)}$, тис. грн | $P_{ет}$, $P_{пр}$ | $E^d_{ет}$ | $E^e_{ет}$ |
| Етапи | I | 891 | 258 | 137 | 850 | 5245 | 0,73 | 0,40 | 0,42 |
| | II | 493 | 198 | 105 | 652 | 3894 | 0,40 | 0,49 | 0,49 |
| | III | 404 | 36,4 | 19 | 120 | 707 | 0,33 | 0,11 | 0,09 |
| Процедура | | 404 | 315 | 167 | 1040 | 6278 | 0,33 | - | - |

Таблиця 4.17 – Інформаційна карта **НО №1** (з ГКК та без ТН)

| Критерії ефективності | Поточний стан ТС | | | Показники ефективності процедур впровадження ЕЕЗ | | | | | | |
|-----------------------|------------------|-------------|----------|--|------------------------|---------------------|---------|----------|---------------|---------------|
| | Показник | Розмірність | Значення | Показник | Розмірність | Етапи процедури ПРВ | | | Процедура ПРВ | Процедура ОКВ |
| | | | | | | етап I | етап II | етап III | | |
| Екологічний | q | МВт·год | 385,5 | Δq | МВт·год | 103,9 | 144,1 | 32,4 | 280,3 | |
| | q _s | кВт·год | 169 | Δq_s | кВт·год/м ² | 45,5 | 63,1 | 14,2 | 122,8 | |
| | m _п | т | 38,7 | $\Delta m_{п}$ | т | 10,4 | 14,5 | 3,2 | 28,1 | |
| | m _{CO2} | т | 20,6 | Δm_{CO2} | т | 5,5 | 7,7 | 1,7 | 14,9 | |
| | m _{Nox} | т | 0,13 | Δm_{Nox} | т | 0,03 | 0,05 | 0,01 | 0,1 | |
| | Q | ГВт·год | 9,6 | ΔQ | ГВт·год | 2,6 | 3,1 | 0,7 | 6,4 | 7,0 |
| | M _п | т | 967 | $\Delta M_{п}$ | т | 261 | 316 | 70 | 647 | 703 |
| | M _{CO2} | т | 514 | ΔM_{CO2} | т | 139 | 168 | 37 | 344 | 374 |
| | M _{Nox} | т | 3,2 | ΔM_{Nox} | т | 0,86 | 1,04 | 0,23 | 2,1 | 2,3 |
| Економічний | c | тис. грн | 117 | Δc | тис. грн | 31,6 | 43,8 | 9,8 | 85,3 | |
| | C | млн. грн | 2,9 | ΔC | млн. грн | 0,8 | 1,0 | 0,2 | 2,0 | 2,1 |
| | C _п | млн. грн | 0,99 | R _{ін} | долі 1 | 0,21 | 0,58 | 0,21 | 0,21 | 1,0 |
| | T _{ок} | роки | 8,5 | $\Delta T_{ок}$ | роки | -4,3 | -0,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Узагальнений | p | % | 100 | Δp | % | 26,9 | 37,4 | 8,4 | 72,7 | |
| | P | % | 100 | ΔP | % | 26,9 | 32,7 | 7,3 | 66,9 | 72,7 |

Таблиця 4.18 – Визначення параметрів та оцінки ефективності процедури ПРВ ЕЕЗ на **НО №1** (з ТН та без ГКК)

| Складові процедури | | Абсолютні - $\Delta p_{ет}$, $\Delta p_{пр}$ та відносні – $\Delta p_{ет}$, $\Delta p_{пр}$ зменшення показників р | | | | | | | Параметри процедури | | | | | | |
|--------------------|---------|--|--------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|-----------------|---------------------|--------------|-------------|----------|---------------|---------------|------|
| | | $\Delta q_{ет}$ | $\Delta q_{ет(s)}$ | $\Delta V_{ет(п)}$ | $\Delta m_{ет(CO_2)}$ | $\Delta m_{ет(Nox)}$ | $\Delta c_{ет(т)}$ | $\Delta p_{ет}$ | $C_{ет}^п$ | $T_{ет(ок)}$ | $T_{ет(п)}$ | $e_{ет}$ | $C_{ет}^{ін}$ | $R_{ет}^{ін}$ | |
| | | $\Delta q_{пр}$ | $\Delta q_{пр(s)}$ | $\Delta V_{пр(п)}$ | $\Delta m_{пр(CO_2)}$ | $\Delta m_{пр(Nox)}$ | $\Delta c_{пр(т)}$ | $\Delta p_{пр}$ | $C_{пр}^п$ | $T_{пр(ок)}$ | $T_{пр}$ | | $C_{пр}^{ін}$ | $R_{пр}^{ін}$ | |
| | МВт·год | кВт·год/ м ² | тис.м ³ | т | кг | тис.грн | | тис.грн | роки | роки | роки | грн | | | |
| Етапи | I | 103,9 | 45,5 | 14,1 | 7,5 | 46,5 | 287,2 | 0,27 | 860,6 | 3,0 | 3,0 | 0,0 | 0,16 | 861 | 1,0 |
| | II | 127,9 | 56,1 | 17,4 | 9,2 | 57,3 | 353,6 | 0,33 | 2205,4 | 6,2 | 3,5 | 3,0 | 0,41 | 1220 | 0,55 |
| | III | 99,3 | 43,5 | 13,5 | 7,2 | 44,5 | 262,1 | 0,26 | 2315,4 | 8,8 | 4,0 | 4,4 | 0,43 | 1048 | 0,45 |
| Процедура | | 331,0 | 145,1 | 45,0 | 23,9 | 148,3 | 902,9 | 0,86 | 5381,4 | - | 8,4 | - | - | 3129 | 0,58 |

Таблиця 4.19 – Оцінка довгострокової ефективності процедури ПРВ ЕЕЗ на НО №1

| Складові процедури | | Абсолютні - $\Delta P_{ет}$, $\Delta P_{пр}$ та відносні – $\Delta P_{ет}$, $\Delta P_{пр}$ зменшення Р | | | | | | Загальний економічний ефект | |
|--------------------|-----|---|---|---|---|--|--------------------------------------|--|--|
| | | $\Delta Q_{ет}$, $\Delta Q_{пр}$, МВт·год | $\Delta V_{ет(п)}$, $\Delta V_{пр(п)}$, тис. м ³ | $\Delta M_{ет(CO2)}$, $\Delta M_{пр(CO2)}$, т | $\Delta M_{ет(Nox)}$, $M_{пр(Nox)}$, кг | $\Delta C_{ет(т)}$, $\Delta C_{пр(т)}$, тис. грн | $\Delta P_{ет}$, $\Delta P_{пр}$ | $\Delta C^3_{ет}$, $\Delta C^3_{пр}$, тис. грн | $\Delta C^3_{ет}$, $\Delta C^3_{пр}$ |
| Етапи | I | 2597 | 352,7 | 187 | 1164 | 7179 | 0,27 | 6319 | 0,32 |
| | II | 2817 | 434 | 231 | 1433 | 8841 | 0,29 | 6636 | 0,34 |
| | III | 2044 | 337 | 179 | 1112 | 6551 | 0,21 | 4236 | 0,22 |
| Процедура | | 7458 | 1124 | 597 | 3708 | 22572 | 0,77 | 17191 | 0,87 |

| Складові процедури | | Абсолютні - $P_{ет}$, $P_{пр}$ та відносні – $P_{ет}$, $P_{пр}$ значення Р | | | | | | Значимість етапів | |
|--------------------|-----|--|---|---|--|--|------------------------|-------------------|------------|
| | | $Q_{ет}$, $Q_{пр}$, МВт·год | $V_{ет(п)}$, $V_{пр(п)}$, тис. м ³ | $M_{ет(CO2)}$, $M_{пр(CO2)}$, т | $M_{ет(Nox)}$, $M_{пр(Nox)}$, кг | $C_{ет(т)}$, $C_{пр(т)}$, тис. грн | $P_{ет}$, $P_{пр}$ | $E^d_{ет}$ | $E^e_{ет}$ |
| Етапи | I | 891 | 257,6 | 137 | 850 | 5245 | 0,73 | 0,35 | 0,37 |
| | II | 535 | 190,3 | 101 | 628 | 3875 | 0,44 | 0,38 | 0,39 |
| | III | 276 | 76,2 | 40 | 251 | 1481 | 0,23 | 0,27 | 0,25 |
| Процедура | | 276 | 254,1 | 135 | 838 | 5104 | 0,23 | - | - |

Таблиця 4.20 – Інформаційна карта **НО №1** (з **ТН** та без **ГКК**)

| Критерії ефективності | Поточний стан ТС | | | Показники ефективності процедур впровадження ЕЕЗ | | | | | | |
|-----------------------|------------------|-------------|----------|--|------------------------|---------------------|---------|----------|---------------|---------------|
| | Показник | Розмірність | Значення | Показник | Розмірність | Етапи процедури ПРВ | | | Процедура ПРВ | Процедура ОКВ |
| | | | | | | етап I | етап II | етап III | | |
| Екологічний | q | МВт·год | 385,5 | Δq | МВт·год | 103,9 | 127,9 | 99,3 | 331,0 | |
| | q _s | кВт·год | 168,9 | Δq_s | кВт·год/м ² | 45,5 | 56,1 | 43,5 | 145,1 | |
| | m _п | т | 38,7 | Δm_p | т | 10,4 | 12,8 | 10,0 | 33,2 | |
| | m _{CO2} | т | 20,6 | Δm_{CO2} | т | 5,5 | 6,8 | 5,3 | 17,7 | |
| | m _{Nox} | т | 0,13 | Δm_{Nox} | т | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,1 | |
| | Q | ГВт·год | 9,6 | ΔQ | ГВт·год | 2,6 | 2,8 | 2,0 | 7,5 | 8,3 |
| | M _п | т | 967 | ΔM_p | т | 261 | 283 | 205 | 749 | 831 |
| | M _{CO2} | т | 514 | ΔM_{CO2} | т | 139 | 150 | 109 | 398 | 441 |
| | M _{Nox} | т | 3,2 | ΔM_{Nox} | т | 0,86 | 0,93 | 0,68 | 2,5 | 2,7 |
| Економічний | c | тис. грн | 262,1 | Δc | тис. грн | 70,6 | 87,0 | 67,5 | 225,1 | |
| | C | млн. грн | 6,6 | ΔC | млн. грн | 1,8 | 1,9 | 1,4 | 5,1 | 5,6 |
| | C _п | млн. грн | 2,32 | R _{ін} | долі 1 | 0,16 | 0,41 | 0,43 | 0,43 | 1,0 |
| | T _{ок} | роки | 8,8 | $\Delta T_{ок}$ | роки | -5,4 | -2,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Узагальнений | p | % | 100 | Δp | % | 26,9 | 33,2 | 25,8 | 85,9 | |
| | P | % | 100 | ΔP | % | 26,9 | 29,2 | 21,2 | 77,4 | 85,9 |

Таблиця 4.21 – Визначення параметрів та оцінки ефективності процедури ПРВ ЕЕЗ на **НО №2**

| Складові процедури | | Абсолютні – $\Delta p_{ет}$, $\Delta p_{пр}$ та відносні – $\Delta p_{ет}$, $\Delta p_{пр}$ зменшення показників р | | | | | | | Параметри процедури | | | | | | |
|--------------------|-----|--|--|--|---|--|---|--------------------------------------|---|--|---|-----------------|---|----------------------------------|------|
| | | $\Delta q_{ет}$, $\Delta q_{пр}$, МВт·год | $\Delta q_{ет(s)}$, $\Delta q_{пр(s)}$, кВт·год/м ² | $\Delta v_{ет(п)}$, $\Delta v_{пр(п)}$, тис.м ³ | $\Delta m_{ет(CO2)}$, $\Delta m_{пр(CO2)}$, т | $\Delta m_{ет(Nox)}$, $\Delta m_{пр(Nox)}$, кг | $\Delta c_{ет(т)}$, $\Delta c_{пр(т)}$, тис.грн | $\Delta p_{ет}$, $\Delta p_{пр}$ | $C_{ет}^{п}$, $C_{пр}^{п}$, тис.грн | $\Gamma_{ет(ок)}^{р}$, $\Gamma_{пр}^{р}$, роки | $\Gamma_{ет(п)}^{ф}$, $\Gamma_{пр}^{ф}$, роки | $\epsilon_{ет}$ | $C_{ет}^{ін}$, $C_{пр}^{ін}$, грн | $R_{ет}^{ін}$, $R_{пр}^{ін}$ | |
| Етапи | I | 215,8 | 25,9 | 29,3 | 15,6 | 96,7 | 596,5 | 0,17 | 2636 | 4,4 | 4,4 | 0,0 | 0,16 | 2636 | 1,00 |
| | II | 488,2 | 58,6 | 66,3 | 35,2 | 218,7 | 1350 | 0,40 | 9691 | 7,2 | 3,5 | 9,4 | 0,58 | 4656 | 0,48 |
| | III | 163,6 | 19,6 | 22,2 | 11,8 | 73,3 | 452,3 | 0,13 | 4297 | 9,5 | 4,0 | 10,1 | 0,26 | 1809 | 0,42 |
| Процедура | | 867,5 | 104,1 | 117,8 | 62,6 | 388,7 | 2398 | 0,70 | 16625 | - | 14,1 | - | - | 9102 | 0,55 |

Таблиця 4.22 – Оцінка довгострокової ефективності процедури ПРВ ЕЕЗ на НО №2

| Складові процедури | | Абсолютні - $\Delta P_{ет}$, $\Delta P_{пр}$ та відносні – $\Delta P_{ет}$, $\Delta P_{пр}$ зменшення Р | | | | | Загальний економічний ефект | | |
|--------------------|-----|---|---|---|---|--|--------------------------------------|--|--|
| | | $\Delta Q_{ет}$, $\Delta Q_{пр}$, МВт·год | $\Delta V_{ет(п)}$, $\Delta V_{пр(п)}$, тис. м ³ | $\Delta M_{ет(CO2)}$, $\Delta M_{пр(CO2)}$, т | $\Delta M_{ет(Nox)}$, $M_{пр(Nox)}$, кг | $\Delta C_{ет(п)}$, $\Delta C_{пр(п)}$, тис. грн | $\Delta P_{ет}$, $\Delta P_{пр}$ | $\Delta C^3_{ет}$, $\Delta C^3_{пр}$, тис. грн | $\Delta C^3_{ет}$, $\Delta C^3_{пр}$ |
| Етапи | I | 5394 | 732,5 | 389 | 2417 | 14913 | 0,17 | 12276 | 0,16 |
| | II | 7611 | 1657,4 | 881 | 5468 | 33742 | 0,25 | 24051 | 0,31 |
| | III | 2431 | 555,4 | 295 | 1832 | 11306 | 0,08 | 7009 | 0,09 |
| Процедура | | 15435 | 2945 | 1565 | 9717 | 59961 | 0,50 | 43336 | 0,56 |

| Складові процедури | | Абсолютні - $P_{ет}$, $P_{пр}$ та відносні – $P_{ет}$, $P_{пр}$ значення Р | | | | | Значимість етапів | | |
|--------------------|-----|--|---|---|--|--|------------------------|------------|------------|
| | | $Q_{ет}$, $Q_{пр}$, МВт·год | $V_{ет(п)}$, $V_{пр(п)}$, тис. м ³ | $M_{ет(CO2)}$, $M_{пр(CO2)}$, т | $M_{ет(Nox)}$, $M_{пр(Nox)}$, кг | $C_{ет(п)}$, $C_{пр(п)}$, тис. грн | $P_{ет}$, $P_{пр}$ | $E^d_{ет}$ | $E^e_{ет}$ |
| Етапи | I | 1007 | 604 | 321 | 1994 | 12304 | 0,83 | 0,35 | 0,28 |
| | II | 705 | 958 | 509 | 3162 | 19511 | 0,58 | 0,49 | 0,55 |
| | III | 609 | 277 | 147 | 915 | 5646 | 0,50 | 0,16 | 0,16 |
| Процедура | | 609 | 1471 | 782 | 4853 | 29944 | 0,50 | - | - |

Таблиця 4.23 – Інформаційна карта **НО №2**

| Критерії ефективності | Поточний стан ТС | | | Показники ефективності процедур впровадження ЕЕЗ | | | | | | |
|-----------------------|------------------|-------------|----------|--|------------------------|---------------------|---------|----------|---------------|---------------|
| | Показник | Розмірність | Значення | Показник | Розмірність | Етапи процедури ПРВ | | | Процедура ПРВ | Процедура ОКВ |
| | | | | | | етап I | етап II | етап III | | |
| Екологічний | q | МВт·год | 1233 | Δq | МВт·год | 215,8 | 488,2 | 163,6 | 867,5 | |
| | q _s | кВт·год | 148 | Δq_s | кВт·год/м ² | 25,9 | 58,6 | 19,6 | 104,1 | |
| | m _п | т | 152,1 | $\Delta m_{п}$ | т | 26,6 | 60,2 | 20,2 | 107,0 | |
| | m _{CO2} | т | 80,8 | Δm_{CO2} | т | 14,1 | 32,0 | 10,7 | 56,8 | |
| | m _{Nox} | т | 0,50 | Δm_{Nox} | т | 0,09 | 0,20 | 0,07 | 0,4 | |
| | Q | ГВт·год | 30,8 | ΔQ | ГВт·год | 5,4 | 7,6 | 2,4 | 15,4 | 21,7 |
| | M _п | т | 3802 | $\Delta M_{п}$ | т | 665 | 938 | 300 | 1903 | 2674 |
| | M _{CO2} | т | 2020 | ΔM_{CO2} | т | 353 | 499 | 159 | 1011 | 1421 |
| | M _{Nox} | т | 12,5 | ΔM_{Nox} | т | 2,19 | 3,10 | 0,99 | 6,3 | 8,8 |
| Економічний | c | тис. грн | 2758 | Δc | тис. грн | 482,5 | 1091,8 | 365,8 | 1940,1 | |
| | C | млн. грн | 69,0 | ΔC | млн. грн | 12,1 | 17,0 | 5,4 | 34,5 | 48,5 |
| | C _п | млн. грн | 21,6 | R _{ін} | долі 1 | 0,16 | 0,58 | 0,26 | 0,26 | 1,0 |
| | T _{ок} | роки | 7,8 | $\Delta T_{ок}$ | роки | -9,7 | -1,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Узагальнений | p | % | 100 | Δp | % | 17,5 | 39,6 | 13,3 | 70,3 | |
| | P | % | 100 | ΔP | % | 17,5 | 24,7 | 7,9 | 50,1 | 70,3 |

Таблиця 4.24 – Визначення параметрів та оцінки ефективності процедури ПРВ ЕЕЗ на **НО №3**

| Складові процедури | | Абсолютні – $\Delta p_{ет}$, $\Delta p_{пр}$ та відносні – $\Delta p_{ет}$, $\Delta p_{пр}$ зменшення показників р | | | | | | | Параметри процедури | | | | | | |
|--------------------|-----|--|------------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|-----------------|---------------------|-------------------|------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|
| | | $\Delta q_{ет}$ | $\Delta q_{ет(s)}$ | $\Delta v_{ет(п)}$ | $\Delta m_{ет(CO_2)}$ | $\Delta m_{ет(Nox)}$ | $\Delta c_{ет(т)}$ | $\Delta p_{ет}$ | $C_{ет}^п$ | $\Gamma_{ет(ок)}$ | $\Gamma_{ет(п)}$ | $e_{ет}$ | $C_{ет}^{ін}$ | $R_{ет}^{ін}$ | |
| | | $\Delta q_{пр}$ | $\Delta q_{пр(s)}$ | $\Delta v_{пр(п)}$ | $\Delta m_{пр(CO_2)}$ | $\Delta m_{пр(Nox)}$ | $\Delta c_{пр(т)}$ | $\Delta p_{пр}$ | $C_{пр}^п$ | $\Gamma_{ет(ок)}$ | $T_{пр}$ | $\Gamma_{ет(п)}$ | $e_{ет}$ | $C_{пр}^{ін}$ | $R_{пр}^{ін}$ |
| | | МВт·год | кВт·год/м ² | тис.м ³ | т | кг | тис.грн | тис.грн | роки | роки | роки | | грн | | |
| Етапи | I | 760,4 | 109,8 | 103,3 | 54,9 | 340,7 | 2102 | 0,48 | 6989 | 3,3 | 3,3 | 0,0 | 0,30 | 6989 | 1,00 |
| | II | 108,9 | 15,7 | 14,8 | 7,9 | 48,8 | 301,2 | 0,07 | 1889 | 6,3 | 3,5 | 0,3 | 0,08 | 1039 | 0,50 |
| | III | 526,7 | 76,0 | 71,5 | 38,0 | 236,0 | 1456 | 0,34 | 14630 | 10,0 | 4,0 | 3,4 | 0,62 | 5825 | 0,40 |
| Процедура | | 1396,1 | 201,5 | 189,6 | 100,7 | 625,5 | 3860 | 0,89 | 23507 | - | 7,4 | - | - | 3853 | 0,59 |

Таблиця 4.25 – Оцінка довгострокової ефективності процедури ПРВ ЕЕЗ на НО №3

| Складові процедури | | Абсолютні - $\Delta P_{ет}$, $\Delta P_{пр}$ та відносні – $\Delta P_{ет}$, $\Delta P_{пр}$ зменшення Р | | | | | Загальний економічний ефект | | |
|--------------------|-----|---|---|---|---|--|--------------------------------------|--|--|
| | | $\Delta Q_{ет}$, $\Delta Q_{пр}$, МВт·год | $\Delta M_{ет(п)}$, $\Delta M_{пр(п)}$, т | $\Delta M_{ет(CO2)}$, $\Delta M_{пр(CO2)}$, т | $\Delta M_{ет(Nox)}$, $M_{пр(Nox)}$, кг | $\Delta C_{ет(п)}$, $\Delta C_{пр(п)}$, тис. грн | $\Delta P_{ет}$, $\Delta P_{пр}$ | $\Delta C^3_{ет}$, $\Delta C^3_{пр}$, тис. грн | $\Delta C^3_{ет}$, $\Delta C^3_{пр}$ |
| Етапи | I | 19010 | 2581,6 | 1372 | 8518 | 52558 | 0,48 | 45569 | 0,53 |
| | II | 2693 | 369,8 | 197 | 1220 | 7529 | 0,07 | 5640 | 0,07 |
| | III | 11382 | 1788 | 950 | 5900 | 36407 | 0,29 | 21777 | 0,25 |
| Процедура | | 33084 | 4740 | 2519 | 15638 | 96494 | 0,84 | 72987 | 0,85 |

| Складові процедури | | Абсолютні - $P_{ет}$, $P_{пр}$ та відносні – $P_{ет}$, $P_{пр}$ значення Р | | | | | Значимість етапів | | |
|--------------------|-----|--|--|---|--|--|------------------------|------------|------------|
| | | $Q_{ет}$, $Q_{пр}$, МВт·год | $M_{ет(п)}$, $M_{пр(п)}$, кг (м ³) | $M_{ет(CO2)}$, $M_{пр(CO2)}$, т | $M_{ет(Nox)}$, $M_{пр(Nox)}$, кг | $C_{ет(п)}$, $C_{пр(п)}$, тис. грн | $P_{ет}$, $P_{пр}$ | $E^d_{ет}$ | $E^e_{ет}$ |
| Етапи | I | 629 | 1330,9 | 707 | 4391 | 27095 | 0,52 | 0,57 | 0,62 |
| | II | 545 | 165,3 | 88 | 545 | 3365 | 0,45 | 0,08 | 0,08 |
| | III | 191 | 280,5 | 149 | 925 | 5710 | 0,16 | 0,34 | 0,30 |
| Процедура | | 191 | 743,4 | 395 | 2453 | 15134 | 0,16 | - | - |

Таблиця 4.26 – Інформаційна карта **НО №3**

| Критерії ефективності | Поточний стан ТС | | | Показники ефективності процедур впровадження ЕЕЗ | | | | | | |
|-----------------------|------------------|-------------|----------|--|------------------------|---------------------|---------|----------|---------------|---------------|
| | Показник | Розмірність | Значення | Показник | Розмірність | Етапи процедури ПРВ | | | Процедура ПРВ | Процедура ОКВ |
| | | | | | | етап I | етап II | етап III | | |
| Екологічний | q | МВт·год | 1569,5 | Δq | МВт·год | 760,4 | 108,9 | 526,7 | 1396,1 | |
| | q _s | кВт·год | 226,6 | Δq_s | кВт·год/м ² | 109,8 | 15,7 | 76,0 | 201,5 | |
| | m _п | т | 169,4 | $\Delta m_{п}$ | т | 82,1 | 11,8 | 56,9 | 150,7 | |
| | m _{CO2} | т | 90,0 | Δm_{CO2} | т | 43,6 | 6,2 | 30,2 | 80,1 | |
| | m _{Nox} | т | 0,56 | Δm_{Nox} | т | 0,27 | 0,04 | 0,19 | 0,5 | |
| | Q | ГВт·год | 39,2 | ΔQ | ГВт·год | 19,0 | 2,7 | 11,4 | 33,1 | 34,9 |
| | M _п | т | 4236 | $\Delta M_{п}$ | т | 2052 | 291 | 1229 | 3572 | 3768 |
| | M _{CO2} | т | 2251 | ΔM_{CO2} | т | 1090 | 154 | 653 | 1898 | 2002 |
| | M _{Nox} | т | 14,0 | ΔM_{Nox} | т | 6,77 | 0,96 | 4,05 | 11,8 | 12,4 |
| Економічний | c | тис. грн | 3859,8 | Δc | тис. грн | 1869,9 | 267,9 | 1295,3 | 3433,1 | |
| | C | млн. грн | 96,5 | ΔC | млн. грн | 46,7 | 6,6 | 28,0 | 81,4 | 85,8 |
| | C _п | млн. грн | 23,51 | R _{ін} | долі 1 | 0,30 | 0,08 | 0,62 | 0,62 | 1,0 |
| | T _{ок} | роки | 6,1 | $\Delta T_{ок}$ | роки | -4,1 | -3,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Узагальнений | p | % | 100 | Δp | % | 48,4 | 6,9 | 33,6 | 88,9 | |
| | P | % | 100 | ΔP | % | 48,4 | 6,9 | 29,0 | 84,3 | 88,9 |

Висновки по розділу 4

1. На базі типових об'єктів соціальної інфраструктури проведено відпрацювання методики багатокритеріальної оцінки ефективності інноваційних енергоефективних технологій – впровадження системи «розумного» опалення та використання альтернативного джерела теплової енергії – геліосистеми.

2. На базі типової будівлі навчального закладу із загальною опалювальною площею 225 м² проведено оцінку ефективності використання технології «розумного» управління тепловими режимами приміщень за допомогою автоматизованої системи HERZ Smart Comfort. В ході досліджень встановлено показники ефективності даної технології: річна економія теплової енергії – 3734 кВт·год або 17%, зменшення споживання природного газу на потреби опалення – 406,4 м³, зменшення викидів CO₂ та NO_x – 789,1 кг та 0,86 кг відповідно, зменшення плати за споживання теплової енергії протягом опалювального сезону – 4041 грн.

3. На базі типової будівлі закладу освіти із загальною опалювальною площею понад 13700 м² оцінено ефективність 2-х енергозберігаючих заходів: регулювання теплового режиму приміщень будівлі за допомогою системи HERZ Smart Comfort та використання альтернативного джерела теплової енергії – геліосистеми, яка розташовується на ділянці 30 м × 36 м та складається з 180 сонячних колекторів плоского типу Logasol SKT 1.0. Встановлено, що 1-й захід має такі річні ефекти: енергетичний – 130,3 Гкал або 11,1%; екологічні: зменшення споживання природного газу – 16,5 тис. м³, скорочення викидів CO₂ та NO_x в атмосферу – 32,0 т та 0,035 т відповідно; економічні: зменшення плати за обсяжування – 249,5 тис. грн.; при впровадженні 2-го заходу отримуються такі річні ефекти: енергетичний – додаткова кількість теплової енергії – 376,7 Гкал або 20,2%; екологічні – зменшення споживання природного газу – 47,7 тис. м³, скорочення в атмосферу викидів CO₂ та NO_x – 92,6 т та 0,101 т відповідно; економічні:

зменшення плати за теплову енергію – 721,3 тис. грн.; термін окупності заходу 5 років.

4. Досліджено ефективність методу РВПТ на об'єктах соціальної інфраструктури різних типів: «навчальний заклад», «житловий будинок», «група громадських будівель»; встановлено, що потенціал ресурсоенергозбереження цих об'єктів в результаті впровадження рекомендованих природоохоронних технологій складає 70-89 %, рівень скорочення інвестиційних витрат при виконанні методу РВПТ становить 55-62 %.

5. Узагальнені результати досліджень ефективності використання методу РВПТ, проведені на обраних натурних об'єктах соціальної інфраструктури – НО № 1-3 доводять наступні переваги процедури раціонального впровадження природоохоронних енергозберігаючих заходів (ЕЕЗ) над процедурою одночасного комплексного впровадження ЕЕЗ при реалізації їх в умовах фінансового дефіциту: для досягнення рівної для обох процедур річної еколого-економічної ефективності, яка склала 64-85%, процедура РВПТ потребує менших обсягів інвестування у 4,8-9,1 рази для початку своєї реалізації та у 1,4-2,0 рази для повного виконання; зростання терміну окупності порівняно з процедурою ОКВ ЕЕЗ при цьому є несуттєвим і складає 0,3-2,0 роки.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИМИ ПРИРОДООХОРОННИМИ ЗАХОДАМИ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ ТА ОБ'ЄКТІВ СОЦІАЛЬНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

5.1 Розробка технології інтегрованого управління складними екосистемами та енергоефективними природоохоронними заходами

Як відомо, управління – це цілеспрямований вплив на об'єкт для досягнення кінцевої мети (найчастіше для підвищення ефективності функціонування керованої системи) шляхом перетворення інформації про стан об'єкта або системи в командну інформацію від об'єкта. При цьому управління є контекстним, коли рішення необхідно приймати при виявленні потенційних проблем, і цілеспрямованим, коли управлінська діяльність спрямована на основні ініціативи (завдання, цілі) організації, якою управляють (керованої). Таким чином, інтегроване управління заходами екологічної безпеки та охорони довкілля – це діяльність, спрямована на подолання екологічних ризиків, створення сприятливих умов для сталого та екологічно безпечного розвитку і координацію діяльності компетентних державних органів та окремих природокористувачів, яка ґрунтується на принципах інтеграції управлінської діяльності, тобто системного, комплексного та інтегрованого підходу, іноді на основі поділу складних систем на відповідні підсистеми та організації їх ефективної взаємодії для досягнення поставлених цілей.

Слід також зазначити, що реалізація принципів інтегрованого управління вимагає дотримання наступних процедур: оптимізації, систематизації та комплексності.



Рисунок 5.1 – Базові процедури інтегрованого управління

Стратегічне, ситуаційне та цілеспрямоване інтегроване управління природоохоронними заходами

Відповідно до системного підходу, інтегроване управління здійснюється наступним чином:

- 1) Стратегічне управління, в ході якого виробляються спільні рішення для досягнення поставлених цілей і завдань.
- 2) Ситуаційне управління відноситься до розподілу ресурсів (фінансових, людських та інших) в окремих областях і системах підтримки, а також до управління системами в кожній області в якості потенційної проблеми.
- 3) цілеспрямоване управління, спрямоване на вирішення основних завдань або цілей управління організацією.

Водночас інтегроване управління – це різновид менеджменту, спрямованого на майбутнє. Це процес визначення комплексу дій організації з розробки та реалізації стратегії, який включає постановку цілей, стратегій, визначення необхідних ресурсів та підтримку відносин із зовнішнім середовищем, що дозволяє організації досягти своїх цілей.

Існує 2 основних кінцевих продукту інтегрованого менеджменту. 1 з них – це можливість організації забезпечити досягнення майбутніх цілей. У той же час, можливості включають в себе всі види ресурсів, інформації і т.д. Другим

кінцевим результатом інтегрованого управління є ефективність внутрішньої структури і організаційних змін, які забезпечують чутливість організації до змін у зовнішньому середовищі.

В цілому, інтегроване управління знаходиться під впливом неконтрольованих зовнішніх факторів, що впливають на вирішення проблем, спрямованих в майбутнє, широкий спектр організаційних рішень для досягнення основних цілей організації. Основна мета спрямована на підвищення ефективності організації. Тому рішення про створення або ліквідацію нового напрямку організації, реорганізації відділу або підрозділу носять стратегічний характер.

Проблеми з інтегрованим управлінням часто виникають в результаті впливу безлічі зовнішніх факторів. Щоб не помилитися у виборі напрямку стратегії і розвитку, важливо визначити, чи впливають економічні, політичні, соціальні та інші фактори на майбутнє організації. У той же час, організація постійного моніторингу зовнішнього середовища є важливою умовою ефективного управління.

Єдиний об'єкт управління складається з 3 груп: організація, стратегічний відділ і функціональна область організації. Для цілей інтегрованого управління організація являє собою відкриту і складну систему, що представляє собою набір структурних підрозділів. Стратегічний відділ – це напрямок діяльності організації або якась суміжна область. Цей підрозділ, як правило, повністю відповідає за стратегічний розвиток і діяльність підрозділу в даному напрямку [26].

Інтегроване управління не передбачає чіткого формулювання і алгоритму. Тому складно уявити зміни в кількісних формах і розробити програми для автоматизації процесів такого складного управління, особливо за допомогою сучасних комп'ютерних технологій і супутніх програмних продуктів, але прагнути до цього можна і потрібно. Системний підхід дозволяє створити раціональний процес, в якому менеджер може діяти на основі інтеграції вимог всієї системи і діяльності підсистеми. У той же час інтеграція

спрямована на досягнення цілей і завдань, які враховують стан організації по відношенню до більших навколишніх систем і конкурентних систем.

Також дуже важливою є координація управління, метою якої є узагальнення процесів у різних підсистемах цілей організаційного управління, метою якого є забезпечення незмінності значень показників організаційного управління на заданому часовому інтервалі [27].

Але для того, щоб вибрати головну ланку в ситуації, керівництво (особа, яка приймає рішення) має перш за все ознайомитися з усією сукупністю, всім комплексом проблем, визначити в ній головне і другорядне, а також не забувати про решту і зосередити зусилля на вирішенні головної проблеми. Наступний момент, на який важливо звернути увагу, - це використання адаптивних і гнучких структур і методів управління, а також адаптивного стилю керівництва. Ситуаційний підхід в управлінні екосистемою вимагає, щоб об'єкт управління належним чином відображав всі основні особливості управління, включаючи всю ситуацію, що складається, тобто критичну ситуацію, і своє зовнішнє оточення, і відповідно здійснював необхідну реорганізацію сил, намічаючи нову тактику своїх дій, яка відповідає новим умовам. Таким чином, ситуаційний підхід – це підхід, при якому вибір ефективної організаційної структури та механізму управління визначається деталями ситуації, в якій знаходиться організація. Для ситуаційного підходу в управлінні найважливішим параметром є критерії оцінки управлінської ситуації (оцінка екологічних загроз і ризиків). У той же час ситуаційний підхід реалізує принцип адаптивності, який є основним принципом інтегрованого управління. Його суть полягає в тому, що всі внутрішні організаційні структури (організаційна культура та структура організації, система планування і т.д.) є реакцією організації на відповідні зміни у зовнішньому середовищі і деякі зміни у внутрішньому середовищі. Також ситуаційний підхід до управління органічно впливає з природи сучасних екосистем і активно сприяє успішному застосуванню і розвитку інтегрованого управління. Таким чином, можна виділити 2 напрямки розвитку інтегрованого управління.

Регулярне інтегроване управління, яке є першим, є подальшим логічним розвитком стратегічного планування, підсистем стратегічного аналізу та планування та підсистем стратегічного впровадження. По суті, ця область є управлінням стратегічними можливостями екологічних та природоохоронних заходів. 2-й напрямок розвитку інтегрованого менеджменту – інтегроване управління в режимі реального часу – пов'язаний з вирішенням стратегічних завдань, які виникають раптово. У цих екосистемах і об'єктах інфраструктури зміни у зовнішньому середовищі відбуваються з такою частотою, що іноді вони непередбачувані, вимагають негайного і адекватного реагування, і у організації немає часу на обдумування стратегій. У той же час, організації необхідно уточнити стратегію і одночасно включитися в рішення нових стратегічних завдань. Ця інтегрована система управління знаходиться на ранній стадії розробки. Діяльність з інтегрованого управління спрямована на забезпечення стратегічного положення, яке повинно забезпечувати екологічну безпеку екосистем в умовах, що змінюються. Завдання менеджерів, що займаються екологічною безпекою та заходами з охорони навколишнього середовища, полягає у своєчасному виявленні необхідності та здійсненні стратегічних змін в екосистемі. Необхідно створювати умови, що сприяють стратегічним змінам. Наприклад, відбір та навчання людей, які можуть впроваджувати стратегічні зміни. [27].

У той же час, використання сучасних систем управління інформацією дозволяє звільнити керівників від розгляду нерелевантної і суперечливої інформації, яка заважає ефективному управлінню організацією.

Крім того, інтегроване управління передбачає не тільки інтеграцію всіх видів діяльності для досягнення спільних цілей, а й підвищення ефективності кожної підсистеми. Існує 2 терміни, що позначають ефективність управління, особливо інтегрованого управління. В одному випадку ми розуміємо ступінь ефективності, з якою досягається мета, а в іншому – вартість здійснення контролю. І, таким чином, критеріями є не тільки оптимальний розподіл ресурсів в екосистемі, а й їх раціональне використання, що в довгостроковій

перспективі в умовах суспільства в цілому можна назвати показником ефективності досягнення спільних цілей. Критерії, що визначають ефективність природоохоронних заходів, повинні застосовуватися в якості мети, а не кошти. Таким чином, ми можемо погодитися з тим, що довгострокова ефективність полягає в співвідношенні результатів і витрат на досягнення поставлених цілей. Цю формулу не можна вважати абсолютною, оскільки вона не охоплює всієї складності проблеми, але її можна застосувати до переваг інтегрованого управління, щоб розглянути ефективність функції і намітити перспективи вдосконалення системи управління. Для ефективної роботи інтегрованої системи управління необхідно, перш за все, правильно сформулювати цілі і завдання. Тільки точне і ясне формулювання мети, реалістичне для досягнення і не суперечить внутрішнім принципам, може привести до її успішної реалізації.

Таким чином, інтегроване управління систематично поєднує стратегічне і ситуаційне управління відповідно до цілей (завдань менеджменту), беручи до уваги ресурси і час управління. Крім того, для впровадження інтегрованого управління важливо визначити адаптивні та гнучкі структури та методи управління, а також механізми застосування адаптивних стилів керівництва [26, 27].

Ситуаційний підхід також реалізує принцип адаптивності, який є основним принципом інтегрованого управління. На рівні інтегрованого управління впровадження автоматизованої підготовки рішень не представляє принципових труднощів. Використання інформаційних систем управління дозволяє тим, хто приймає рішення екологічного характеру, враховувати нерелевантну і суперечливу інформацію, що перешкоджає ефективному управлінню навколишнім середовищем.

Варто зазначити, що інтегроване управління передбачає не тільки інтеграцію всіх видів діяльності для досягнення спільних цілей, а й підвищення ефективності кожної підсистеми. Отже, для впровадження

інтегрованого менеджменту необхідно розробити (синтезувати) структуру системи екологічного менеджменту з відповідними підсистемами (рис.5.2). [7,26-28].



Рисунок 5.2 – Оптимізована система інтегрованого управління енергоефективними природоохоронними технологіями і заходами (ПТ) з відповідними оперативними управлінськими підсистемами.

5.2 Термохімічна конверсія твердих відходів, як перспективний напрям декарбонізації циркулярної економіки

В рамках циклічної та класичної лінійної економіки галузь переробки відходів в енергію (ЦСЕ), тобто спалювання відходів, є предметом інновацій, конкурентоспроможності та державно-приватного партнерства економічної та Соціальної Ради Організації Об'єднаних Націй в «Керівних принципах сприяння проектам державно-приватного партнерства», опублікованих в

інтересах людей в області перетворення відходів в енергію в інтересах розвитку економіки із замкнутим циклом. Було доведено, що це не відповідає стандартам безпеки для здоров'я людини та навколишнього середовища, заявленим комісією з охорони здоров'я людини. Також були продемонстровані можливості та ефективність газифікації відходів з використанням новітньої плазмової технології та низькотемпературного (350-490°С) піролізу. У той же час, високотехнологічні методи газифікації відходів виявилися найбільш перспективними, оскільки синтетичний газ може бути використаний для виробництва синтетичного бензину і нафти в рамках економіки замкнутого циклу. Він також використовується як сировина для органічного синтезу та виробництва теплової енергії. Увага зосереджена на декарбонізації процесів переробки органічних відходів в рамках економіки замкнутого циклу та необхідності нового обладнання для інтеграції енергії в перехідний період, а не на розділенні існуючих технологій, як на технічному, так і на комерційному рівні. Було показано, що декарбонізація процесів переробки органічних відходів в рамках економіки замкнутого циклу, в першу чергу, пов'язана зі скороченням обсягів спалювання та переробки іншими, більш технологічними методами.

Економіка замкнутого циклу вважається новою економічною моделлю сучасного промислового розвитку, яка в основному пов'язана з обмеженістю ресурсів і негативним впливом виробництва на навколишнє середовище [23]. Однак у цьому контексті відсутня об'єктивна інформація про розвиток традиційних ресурсо-та енергозберігаючих технологій, а також про сучасні наукові та технологічні аспекти освоєння нових відновлюваних джерел енергії. Крім того, доречним є порівняльний аналіз рівня розвитку традиційної енергетики та енергозберігаючих технологій та сучасних технологій використання відновлюваних джерел енергії, а також існуючих принципів швидкого розвитку «чистих» технологій декарбонізації твердих органічних відходів та біомаси, твердих промислових та побутових відходів, високотехнологічного обладнання, машин а також обладнання для переробки,

вторинної переробки, утилізації та знешкодження відходів та вторинної промислової сировини [30].

У той же час, існує думка, що населення земної кулі сьогодні становить близько 8 мільярдів осіб, збільшуючись з кожним роком на 80 мільйонів чоловік. Споживання енергії в 2018 році досягло 14,28200 млн тонн нафтового еквівалента (100 млн тонн), але в 1971 році цей показник становив всього 5,51900 млн тонн (100 млн тонн), що еквівалентно викидам CO₂ в еквіваленті 2018 року в розмірі 36,6 млрд тонн, і, таким чином, викиди CO₂ в еквіваленті 1971 року склали 15,4 млрд тонн. Крім того, автори КРЗР стверджують, що річний обсяг твердих побутових/комунальних відходів становить близько 2,01 мільярда тонн, і в 2025 році очікується його збільшення до 2,2 мільярда тонн, а в 2050 році він досягне 3,4 мільярда тонн. Дійсно, цифри, наведені авторами КРЗР, показують, що переробка твердих побутових відходів є гострою і нагальною проблемою людства, але ставлення світу до цієї величезної кількості відходів в рамках економіки замкнутого циклу має бути збалансованим і ґрунтуватися не на ринкових умовах, а на найбільш ефективних методах. Наукові, технічні та технологічні Досягнення людства в цій важливій галузі промисловості. Це амбітна ідея. Альтернативою центральній і східній Європі [30] повинна стати економіка замкнутого циклу (circular economy), яка включає в себе технології з переробки відходів/вторинної сировини в замкнутому циклі, а також природні замкнуті цикли, такі як глобальний водний цикл. Зрозуміло, що циклічне перетворення величезної кількості штучно модифікованих природних ресурсів в іншу форму, яка є екологічно безпечною або необхідною, враховуючи її розміри, має відповідати існуючим циклічним природним явищам і процесам. Це означає, що різні види відходів повинні перероблятися/використовуватися як цінна вторинна сировина в рамках економіки замкнутого циклу.

Слід зазначити, що на сьогоднішній день немає чіткого розуміння терміну «економіка замкнутого циклу». Наприклад, терміни «безвідходна економіка» та «зелена економіка» використовуються як синоніми вищезазначених нових

економічних моделей. Таким чином, експерти організації Об'єднаних Націй з охорони навколишнього середовища (ЮНЕП) використовують термін «економіка замкнутого циклу»/»Зелена економіка» в широкому розумінні як економічну діяльність, яка покращує добробут людей, забезпечує соціальну справедливість і значно знижує екологічні ризики і природне виснаження. У вузькому сенсі, це розробка, виробництво та експлуатація нових ресурсо- та енергозберігаючих технологій та відновлюваних джерел енергії, які забезпечують стійке економічне зростання [31]. Сьогодні традиційний шлях розвитку енергетичної галузі лежить через активне впровадження енергоефективного обладнання, передових енергетичних та інформаційно-комунікаційних технологій, відновлюваних джерел енергії, інтегрованих систем та інтелектуальних енергетичних сервісів, до нарощування потужностей, розширення кількісного складу енергетичного обладнання та збільшення при видобутку природних ресурсів (нафти, газу, вугілля). Слід зазначити, що основною рушійною силою на етапі переходу до нових енергетичних систем є не економічна привабливість нових джерел енергії, а якісно нові фактори – декарбонізація і боротьба з глобальною зміною клімату.

В рамках економіки замкнутого циклу повторне використання та утилізація вторинних енергетичних ресурсів/твердих відходів повинні розглядатися на основі основних положень Концепції «3R»: скорочення (Lida) в рамках цієї концепції декарбонізації термохімічне перетворення вторинних енергетичних ресурсів в сегменті скорочення в значній мірі відноситься до скорочення спалювання палива, це автоматично скорочує викиди CO₂, що означає скорочення числа користувачів. На нашу думку, при переході до нових енергетичних систем важливо інтегрувати, а не розділяти традиційну і відновлювану енергетику, як на технологічному, так і на комерційному рівні. Основна технологія такої інтеграції в процес утилізації твердих побутових відходів як і раніше показана на рис.5.3. Так, технологія термохімічної конверсії, показана на рис.5.3, характеризується високою температурою і швидкістю протікання процесу (виключаючи піроліз), низькою селективністю

і низькою чутливістю до складу сировини. Наприклад, крім твердих промислових і побутових відходів, можуть перероблятися біовідходи: деревина, органічні відходи агропромислових комплексів, побутові та промислові харчові відходи, відходи виробництва торфу, целюлози і паперу і т. д.

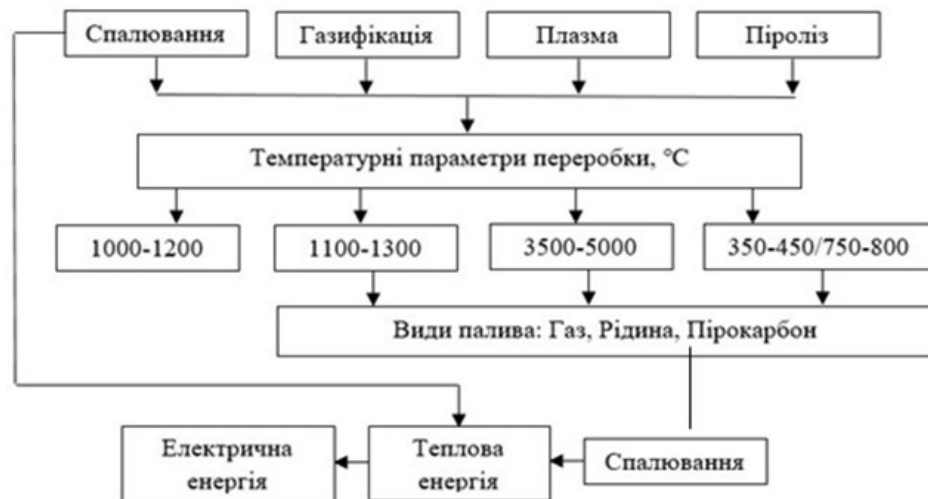


Рисунок 5.3 – Основні напрямки термохімічної конверсії твердих промислових і побутових відходів

Інноваційна природоохоронна технологія низькотемпературного піролізу

Піроліз в широкому сенсі – це різні температури (350-490°C, 750-800°C, 900-1200°C) враховуючи різні температурні діапазони інертних середовищ і повітря, процеси не збігаються з існуючими значеннями низькотемпературного (< 500°C) і високотемпературного (750-800°C) піролізу. Це визначається, перш за все, не хімічними властивостями реакції, а проведенням процесів з технічно обґрунтованими параметрами для отримання конкретного кінцевого продукту: газових компонентів (до 70%), синтетичних масел (вихід до 80% від маси сухої сировини) і піровуглеців (до 35%).

З хімічної точки зору, наприклад, низькотемпературний піроліз вторинних полімерів (PET, PENT, PP, PS) (350-490°C) відбувається за

класичним радикально-ланцюговим механізмом, зі значним зниженням молекулярної маси полімеру і утворенням газових сумішей, синтез яких здійснюється при температурі 350-490°C. З нафти і піровуглеців [30]. Найбільш перспективним є низькотемпературний піроліз ретельно відібраної полімерної вторинної сировини (ПЕТ, ПЕНТ, ПП, PS), що не містить атомів галогенів (F, Cl, Br). У той же час, низький температурний діапазон (350-490°з), а також недолік кисню в повітрі унеможливають утворення дуже токсичних речовин з класів фуранів і діоксинів, що значно здешевлює технологію їх переробки при відсутності необхідності в додатковому очищенні з піролізних газів з використанням рукавних фільтрів. Час піролізу та температурний діапазон хімічного перетворення можуть бути скорочені, особливо при використанні селективних каталізаторів процесів, розроблених вченими ВНТУ [27, 28, 30], а в рамках економіки замкнутого циклу продукти одержуваного низькотемпературного піролізу є важливим елементом відновлюваної енергетики:

- Піролізний газ з теплотворною здатністю 5,0-15,0 МДж / м³;
- Синтетичне масло в якості компонента топкового мазуту;
- Піролізний кокс / піровуглець в якості основного компонента паливного брикету.

Такий підхід до переробки відходів піролізу з використанням модифікованих природних каталізаторів є багатообіцяючим, залишаючи вільні ніші для термохімічної конверсії великої кількості переробленої органічної сировини (діапазон температур 350-550°C) в області переробки, декарбонізації та економіки замкнутого циклу, особливо на об'єктах муніципальної та соціальної інфраструктури [23-30].

5.3 Деревоощадлива технологія декарбонізації синтетичного паперу

Папір, як і винахід колеса, є одним з найбільших досягнень людства. У той же час, його випуск постійно збільшується, а запас деревини, з якої він виготовляється, стає все менше і менше. Тому, якщо природі завдається

серйозної шкоди і людство не зупиниться перед ненаситним бажанням скоротити зелені насадження, то незабаром, особливо атмосфера Землі, стане непридатною для існування життя практично всіх видів. Відтак, для підтримки екологічного балансу на Землі необхідно дбайливо ставитися до лісових ресурсів. Крім деревини, виробництво паперу за традиційною» деревообробною «технологією вимагає використання великої кількості води та електроенергії. Зокрема, до недавнього часу в технологічному процесі виробництва 1 тонни паперу використовувалося до 1000 тонн води. Крім того, після виробничого процесу ця забруднена вода потрапляє у водойми і навколишнє середовище. Також істотну небезпеку становить здатність світла запалювати вогонь і папір. У той же час, 20% світового обсягу заготівлі деревини припадає на виробництво паперу, що викликало обґрунтований опір з боку захисників навколишнього середовища. Тому, з точки зору декарбонізації української та світової економіки, важливо відмовитися від традиційних деревообробних технологій і шукати альтернативні методи економії деревини і способи виробництва паперових виробів і пов'язаних з ними будівельних матеріалів з використанням паперу.

Папір – це матеріал щільністю до 250 г/м^2 , що складається в основному з рослинних волокон, з'єднаних поверхневою адгезією з проклеюючими речовинами, мінеральними наповнювачами, пігментами, барвниками та іншими необхідними компонентами, а також область застосування (фільтрація, лист і малювання, сорбція, електроізоляція, упаковка, офсетний папір та ін.). Китайська хроніка вважає, що творцем паперу з 105 року нашої ери є Цай Лунь, який виготовляв папір з прядильного матеріалу, тутового волокна і деревної золи. Через деякий час крохмаль, клей, природні барвники тощо були додані у виробництві паперу. Лише кілька століть потому технологія виготовлення паперу досягла Єгипту (до цього використовувався папірус), потім Європи (Італія, Іспанія, Франція, почали працювати монастирські паперові майстерні і фабрики), а потім папір поширилася по всій

Європі. Перша згадка про виробництво власного паперу на території сучасної України відноситься до 1200-х років (Галич).

Відома технологія заснована на використанні целюлози і деревної маси. В якості сировини найчастіше використовуються ялина, сосна, береза та інші породи дерев, а також солома, бавовна, льон, макулатура, опале листя і т.д. Після очищення колод від кори їх подрібнюють на тріску, потім розводять водою з утворенням целюлозно-лігнінової маси, яку витримують для розчинення і набухання целюлозних волокон. У той же час, існує кілька методів хімічної обробки целюлози, основними з яких є сульфати і сульфіти.

Сульфатну (крафт) целюлозу отримують в результаті тривалого приготування целюлозно-лігнінової маси в лужному розчині (наприклад, суміші NaOH і Na_2S (10-12 годин).

Сульфітний метод включає варіння маси (1-2 години) в кислому розчині (наприклад, суміші сульфіту H_2SO_3 і його солей, а також сірководню H_2S). Ці процеси необхідні для видалення лігніну, який легко розчиняється в описаному вище гарячому розчині, а потім фільтрується. Потім целюлозні волокна неодноразово промивають, потім відбілюють, пресують і сушать. Подальші технологічні процеси включають додавання крохмалю в якості клею, каоліну, крейди та інших добавок для поліпшення функціональних властивостей паперу: кольору, міцності, білизни і т.д. Далі здійснюється процес каландрування (пропускання маси через сталевий циліндр, який формує папір необхідної форми і товщини. Процес завершується нарізкою на ріжучому верстаті, намотуванням в рулони і упаковкою за допомогою пакувальної машини.

У той же час, гігроскопічність целюлозного паперу, виготовленого з деревини, обумовлена наявністю в структурі матеріалу полярних гідроксильних груп, пов'язаних як з молекулами води, так і з капілярами. При виробництві композиційних матеріалів пористість деревної основи може досягати 10-20%. Синтетичний папір і супутні будівельні матеріали для електро – і теплоізоляції, шпалери і т.д. мають пори і тріщини не більше 1-2%,

тобто такі синтетичні композити в основному гідрофобні. Серед синтетичних волокон замість деревного паперу використовуються поліпропілен, поліетилен, полістирол, арамід (кевлар на основі вуглецю) і т.д. вищевказані добавки, що надають волокнам стереорегулярність, які повністю замінюють целюлозу і крохмаль в деревній папері, і володіють високими діелектричними властивостями, тобто електричними і механічними властивостями в умовах високої відносної вологості навколишнього середовища. Він довговічний при температурах розм'якшення в діапазоні від 150 до 170°C. А як результат, ці зв'язані волокнисті полімерні матеріали мають форму, близьку до целюлозних волокон, і можуть бути використані у виробництві синтетичного паперу як сировини разом із природними екстрагуючими матеріалами, такими як вапняк та каолін.[1,71-75].

Розробка деревоощадливої енергоефективної природоохоронної технології декарбонізації синтетичного (кам'яного) паперу

Розроблена передова технологія являє собою різновид неорганічного природного матеріалу, який може бути використаний в паперовій, будівельній, природоохоронній та хімічній промисловості, а також в комунальній сфері та соціальній інфраструктурі.

Традиційна технологія виробництва паперу, як відомо, заснована на ряді фізико-хімічних процесів переробки целюлози з деревної сировини, що споживають значну кількість природних ресурсів, води, вугілля, газу, електроенергії та інших витрат. Крім того, це значно забруднює навколишнє середовище токсичними викидами, а скорочення лісових ресурсів призводить до глобальної зміни клімату на Землі. У той же час, існує багато запасів вапняку, каоліну, поліолефінових та інших пластикових відходів.

Відомі способи отримання синтетичних ЕКО-(камінь) – папір для захисту навколишнього середовища, зокрема: CN102226021B, CN1381521A, CN104861275B, CN102219950A, CN1651649, CN103833263A, CN101851365A, CN102226022A, CN106554161B, cn10654161b, cn10654161b, CN10654161B,

CN10654161B, CN10654161B, CN10654161B, CN10654161B, CN10654161B, CN10654161B, CN10654161B, CN10654161B, cn10654161b, cn10654161b, CN10654161B, CN10654161B, CN10654161B, CN10654161CN1378909A, CN1378909A, CN101864691, та інші.[1].

Загальним недоліком цих способів є те, що, крім сполучних властивостей, незважаючи на те, що розплавлений (розм'якшений) поліолефін сам по собі є пластифікатором, значна кількість компонентів, особливо, крім того, картопляний, пшеничний або кукурудзяний крохмаль, часто виступають в якості цих пластифікаторів, і в якості харчових продуктів він не рекомендується використовувати їх в значних кількостях при виробництві паперу. Крім того, ці методи засновані на приготуванні і одночасному змішуванні сумішей вапняку з голчастими волокнами, термопластичних матеріалів, які є допоміжними компонентами, включаючи крохмаль, поліолефінові смоли, поверхнево-активні речовини і мастильні матеріали. Недоліками є необхідність додаткової модифікації карбонату кальцію з утворенням голчастих волокон заданої товщини і довжини, харчової сировини, необхідність використання великої кількості крохмалю і додаткового термопластика, а також за рахунок комплексної пластифікації, інгібування, зв'язування і застосування поверхнево-активних речовин, є екологічно і економічно недоцільно.

Найбільш близькою до вдосконаленої технології є технологія отримання маси синтетичного паперу, яка описана в патенті України № 152521 [1,73].

Удосконалена та інноваційна технологія заснована на завданні значного спрощення і поліпшення якості кінцевого продукту і підвищення ефективності технологічного процесу приготування шматків синтетичного паперу і пов'язаних з ними будівельних матеріалів за рахунок використання доступних природних мінеральних ресурсів, які не мають рослинного походження, а саме вапняку і каоліну, а також відходи поліолефінів (особливо ПЕТ-пляшки, полімери з ПТФЕ і т.д.) та відповідні допоміжні інгредієнти.

Це завдання полягає в змішуванні вапнякової суміші з допоміжними інгредієнтами екологічно чистим способом для отримання сировини синтетичного паперу, нагріванні при постійному перемішуванні до температури 160-190°C. Далі, перед змішуванням, концентрований каолін додають в тонкомелену вапнякову суміш, потім піддають постійному перемішуванню, спочатку поверхневому, безперервно в інтервальному режимі допоміжні інгредієнти нагрівають і додають в вапняково-каолінову суміш. В якості активної речовини використовують касторове масло або поліфосфат, після чого їх ретельно перемішують, в отриману суміш вводять мастило з використанням воску, мінерального масла або білого масла-білила, а потім додають поліолефіновий компонент з використанням подрібнених відходів поліетилену або поліпропілену або їх сумішей з подальшою екструзією маси і формуванням паперової маси. Удосконалена технологія передбачає використання інших пластифікаторів, а саме полістиролу, арамідів, полівінілхлориду, відходів тетрафторетилену, на додаток до поліетилену і поліпропілену, яких є багато на об'єктах комунальної та соціальної інфраструктури і т. д.

Отже, технічний процес реалізується наступним чином:

Перед додаванням суміші для виробництва синтетичного паперу в змішувачі Venberg її готують. При цьому в основі суміші лежить очищений природний мінерал вапняк, що складається в основному з карбонату кальцію. Також компонентами цієї базової суміші є природні мінерали, але концентрований каолін, який попередньо очищається від кварциту. Вологість вапняку і каоліну повинна становити не більше 1%. Зневоднена (осушена від вологи) суміш являє собою, наприклад, висушену вапнякову суміш (близько 70% за масою), яку нагрівають до температури 100-120°C на піщаній бані, і каоліну (близько 10 мас. %). Додають в млин і доводять рівень дисперсності до 0,5-1 мкм або менше. Наступна операція полягає в додаванні поверхнево-активної речовини в тонкомелену суміш приблизно на 1-3 мас. %. Це може бути касторове масло або поліфосфат. В якості змішувачів можна

використовувати спіральні стрічкові змішувачі, роторні або барабанні змішувачі або пневматичні високошвидкісні змішувачі зі швидкістю обертання 300-900 об/хв. для повного перемішування і поліпшення поверхневої активності базових інгредієнтів. Потім додають в змішувач 1-3 маси мастильного матеріалу, яким може бути розплавлений віск або мінеральне масло. Час швидкого перемішування становить до 20 хвилин при температурі 100-160°C і тиску 10-30 Мпа.

Після такого попереднього приготування базової суміші в змішувач додають подрібнений поліетилен або поліпропілен (або їх суміш) або інші полімерні відходи в кількості 15-20% по масі. Температуру компонента (складової частини) доводять до $T=160-190^{\circ}\text{C}$ і ретельно і безперервно перемішують до стану, при якому подрібнені відходи плавляться і виходить однорідна в'язка біла маса. Отримана маса подається в шнековий екструдер в режимі безперервного перемішування, а потім в каландр з T-подібною формою. У той же час, екструзійний пристрій являє собою двухшнековий пристрій зі швидкістю обертання близько 8-30 об/хв. Температура екструзії становить від 90 до 130°C. Далі з T-образного каландру маса подається для подальшого каландрування при температурі 160-180°C, де в'язка маса протягується через вал і спочатку розтягується в поздовжньому, а потім і в поперечному напрямках для отримання синтетичного паперу, що володіє двонаправленою міцністю і еластичністю необхідної товщини до 0,1 мм.

Наступним етапом приготування плоскої маси є охолодження до $t=5-30^{\circ}\text{C}$, сушка феном, формування необхідного листового матеріалу для розкрою на верстаті (машині-автоматі) і подальша упаковка. Коли необхідно отримати бажану споживчу якість готового продукту, в масу додають натуральні антиоксиданти, барвники, пластифікатори і т. д.

Лабораторна реалізація запропонованої деревозберігаючої технології виробництва синтетичного паперу була здійснена з використанням піщаної ванни з мішалкою, термометром і дозатором (рис. 5.4).



Рисунок 5.4 – Лабораторна установка для отримання синтетичного паперу:
1- піщана баня, 2-термометр, 3- мішалка, 4 – дозатор.

Тому, на відміну від відомих технологій, у запропонованій технології замість термопластичного крохмалю використовують природний каолін (до 10 мас. %) у поєднанні зі згаданими вище поверхнево-активними речовинами, пластифікаторами та змащувачами для надання синтетичній паперовій масі необхідної пластичності, однорідності, щільності, міцності та площинності для ефективного формування продукту (плоскі аркуші синтетичного паперу або відповідні будівельні матеріали) (табл. 5.1) [73].

Таблиця 5.1 – Фізико-механічні показники зразків синтетичного паперу, отриманого за удосконаленою деревоощадливою технологією

| Показники | Зразок 1 | Зразок 2 | Зразок 3 | Метод тестування |
|---|----------|----------|----------|------------------|
| Маса паперу, г/м ² | 112 | 135 | 156 | ISO 536 |
| Щільність паперової маси, г/см ³ | 0,28 | 0,65 | 0,71 | ISO 534 |
| Руйнівне зусилля, Н | 15,6 | 36,1 | 39,2 | ISO 1924-1 |

Таким чином, процес виробництва синтетичного (кам'яного) паперу не потребує споживання деревини, води чи крохмалю, а також використання відбілювачів, кислот чи нафтових компонентів, які робили б відходи целюлозно-паперової промисловості екологічно небезпечними та токсичними. Синтетичний папір не потребує спеціальної утилізації чи спалювання, біологічно розкладається і може бути перетворений на добрива, а також повторно використаний у виробництві пластмасових виробів та будівельних ізоляційних і покривних матеріалів. Найголовніше, він є екологічно стійким, оскільки не потребує целюлозних волокон, як полімери на рослинній основі, що дозволяє економити лісові ресурси на планеті.

Крім того, розроблені інноваційні технології відповідають сучасній національній політиці низьковуглецевого промислового розвитку та концепції декарбонізації економіки і мають широкі ринкові перспективи.[1, 71-75].

5.4 Проект інноваційного «Освітньо-наукового центру природоохоронних технологій декарбонізації, енергоефективності і постмайнінгу»

За результатами проведених досліджень розроблено Проект «Створення на базі ВНТУ інноваційного Освітньо-наукового центру природоохоронних технологій декарбонізації, енергоефективності і посмайнінгу – ОНЦ ПТДЕП», який базується на основі Меморандуму про співпрацю між Виконавчим комітетом Вінницької міської ради та Вінницьким національним технічним університетом у сфері декарбонізації та енергоефективності.

Метою даного проекту є створення унікальної науково-практичної бази для освітньо- наукового процесу студентів та аспірантів, а також підготовки кваліфікованих фахівців для галузей екологічної безпеки, енергетики, енергозбереження, постмайнінгу, рециклінгу та ін.



Рисунок 5.5 – Загальний вигляд навчального корпусу ВНТУ з ОНЦ ТДЕП

Унікальність ОНЦ ТДЕП полягає в наступному: на його базі може проводитись комплексне вирішення актуальних проблем еколого-енергетичної безпеки міст; впровадження інноваційних проектних та технічних рішень; використання сучасної матеріально-технічної бази, інтегрованої в навчальний процес, науково-дослідницьку та госпдоговірну діяльність із можливістю її подальшого розвитку.

Висновки до розділу 5

1. Важливою ознакою впровадження енергоефективних природоохоронних технологій в об'єкти соціальної інфраструктури є новітні технології та системи управління. Реалізація принципів інтегрованого управління передбачає застосування таких процедур: оптимізація, системність, комплексність тощо, а також системний підхід, відповідно якому інтегроване управління природоохоронними заходами має здійснюватися за сценаріями стратегічного, ситуаційного або цільового управління, що

спрямовуються на головне завдання чи управлінську мету впровадження енергоефективних природоохоронних заходів декарбонізації.

2. Важливим в декарбонізації циркулярної економіки є конверсія енергетичних ресурсів та різного роду відходів комунальної енергетики та об'єктів соціальної інфраструктури. Перспективним напрямком термохімічної конверсії – це низькотемпературний піроліз. Підхід до піролізної переробки відходів з використанням модифікованих природних каталізаторів є перспективним і залишає вільну нішу для термохімічної конверсії (температурний інтервал в 350-550°C) великої кількості вторинної органічної сировини в контексті функціонування рециклінгу, декарбонізації та циркулярної економіки.

3. Виробничий процес виготовлення синтетичного (кам'яного) паперу не вимагає витрат деревини та інших компонентів, які роблять відходи целюлозно-паперової промисловості екологічно небезпечними та отруйними. Синтетичний папір не потребує спеціальної утилізації чи спалювання, може бути біорозкладним і перетворюватися у добрива та може повторно надалі використовуватися для виробництва продуктів із пластику, а також для будівельних ізоляційних та покривних матеріалів. Головне, він є екологічно виваженим, бо не потребує волокон целюлози, як рослинного полімеру, заощаджуючи таким чином лісові ресурси планети. Крім того, розроблена інноваційна технологія відповідає сучасній національній політиці розвитку низьковуглецевої промисловості та концепції декарбонізації економіки і має широкі ринкові перспективи.

4. Розроблено рекомендації щодо використання результатів проведених досліджень: в навчальному процесі – створення на базі кафедри ЕХТЗД ВНТУ інноваційного Освітньо-наукового центру технологій декарбонізації, енергоефективності і посмайнінгу, в сфері моніторингу довкілля – оцінка ефективності декарбонізації урбанізованих територій з використанням програмного комплексу ЕОЛ-2000 [h], в сфері економіки – оцінка ефективності методу РВПТ при прямому та дисконтованому інвестуванні.

ВИСНОВКИ

В дисертації вирішено актуальну науково-прикладну задачу підвищення ефективності декарбонізації урбанізованих територій за рахунок використання удосконалених методів впровадження природоохоронних технологій на об'єктах соціальної інфраструктури, що передбачають підвищення раціональності використання інвестиційних ресурсів. Результати проведених досліджень дозволяють зробити такі основні висновки.

1. Проаналізовано прогресивний досвід використання та систематизовано інноваційні природоохоронні технології, що сприяють декарбонізації антропогенної діяльності: технологій ресурсо- та енергозбереження, відновлювальної енергетики, альтернативних джерел енергії та палива, циркулярної економіки тощо.

2. Створено та науково обґрунтовано доцільність практичної реалізації методу раціонального впровадження природоохоронних технологій на об'єктах соціальної інфраструктури, яким передбачається скорочення інвестиційних витрат на процес впровадження за рахунок використання його потенціалу самофінансування, що дозволяє підвищити ефективність декарбонізації урбанізованих територій.

3. Удосконалено метод багатокритеріального аналізу ефективності процедур впровадження природоохоронних технологій шляхом розподілу екологічних показників по групах за ознакою отриманого ефекту: декарбонізація, ресурсозбереження, енергозбереження, захист довкілля та ін., що дозволяє підвищити інформативність такого аналізу та аргументованість прийнятих на його основі технічних рішень щодо екологічної модернізації досліджуваного об'єкту інфраструктури.

4. Дістала подальшого розвитку математична модель енергоефективності систем теплопостачання та теплозабезпечення об'єктів соціальної інфраструктури шляхом їхнього представлення у вигляді єдиного технічного комплексу «виробник-транспортувальник-споживач» теплової

енергії, що дозволяє підвищити ефективність практичної реалізації методу РВПТ в таких комплексах та їхніх елементах.

5. Розроблено методику визначення основних параметрів та показників ефективності процесу РВПТ, якими є: кількість технологій, що входять до кожного етапу процедури впровадження, вартості та періоди початку і завершення етапів і процедури в цілому, показники річної та довгострокової еколого-економічної ефективності етапів і процедури в цілому.

6. Систематизовано рекомендовані до впровадження на об'єктах соціальної інфраструктури природоохоронні технології, що сприяють декарбонізації урбанізованих територій, за групами: ресурсозбереження – енергогенеруючі установки підвищеної ефективності, енергозбереження – термомодернізація огорожувальних конструкцій будівель, внутрішніх та зовнішніх та трубопроводів, альтернативні джерела енергії – теплові насоси, сонячні та вітрові перетворювачі енергії, «розумне» енергоспоживання та ін.

7. Досліджено ефективність методу РВПТ на об'єктах соціальної інфраструктури різних типів: «навчальний заклад», «житловий будинок», «група громадських будівель» та встановлено, що потенціал ресурсоенергозбереження цих об'єктів в результаті впровадження рекомендованих природоохоронних технологій складає 70-89 %, а рівень скорочення інвестиційних витрат при виконанні методу РВПТ становить 55-62 %.

8. Розроблено рекомендації щодо використання результатів проведених досліджень: в навчальному процесі – створення на базі кафедри ЕХТЗД ВНТУ інноваційного Освітньо-наукового центру технологій декарбонізації, енергоефективності і посмайнінгу (ОНЦ ТДЕП), в сфері моніторингу довкілля – оцінка ефективності декарбонізації урбанізованих територій з використанням програмного комплексу ЕОЛ-2000 [h], в сфері економіки – оцінка ефективності методу РВПТ при прямому та дисконтованому інвестуванні.

9. Результати дисертаційних досліджень впроваджено в навчальні процеси підготовки студентів ВНТУ, які навчаються за спеціальностями 101 – екологія і 183 – технології захисту навколишнього середовища та виробничу діяльність ПП «ІнтерЕко».

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Екологічно чистий спосіб виготовлення маси для синтетичного паперу : заявка на винахід UA : МПК D21H 27/00, D21H 13/26 (2021.01) / В. Г. Петрук, Г. Д. Петрук, К. Ю. Гура (Україна); № U202200774; заявл. 05.07.2022 ; опубл. 22.02.2023, Бюл.№9. 6с.
2. Гура К. Ю., Петрук В. Г. Аналіз сучасних тенденцій декарбонізації та екомодернізації енергетики України і світу. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця, 2021. №5. С. 19 – 26.
3. Гура К. Ю., Петрук В. Г. Аналіз шляхів реалізації стратегії низьковуглецевого розвитку економіки України [Електронний ресурс]. *Екологія/Ecology-2021: збірник наукових праць VIII-го Міжнародного з'їзду екологів*, м. Вінниця, 22-24 вересня 2021 р. Вінниця, 2021. С. 410 – 412.
4. Коріненко Б.В., Худоярова О.С., Гура К.Ю., Ранський А.П. Циркулярна економіка та термохімічна конверсія твердих відходів. *Вісник ВПІ*. Вінниця, 2021. №4. С.7 – 19.
5. Петрук В.Г., Полив'янчук А.П., Петрук Г.Д., Гура К.Ю., Файчук В.В. Декарбонізація та екомодернізація економіки як ресурсоенергоєфективний шлях післявоєнної відбудови України. *Екологічні проблеми*, 2024. Том 9, №2. С.73-77.
6. Polyvianchuk A., Petruk V., Petruk G., Gura K., Semenenko R. Study of the effectiveness innovative measures for energy saving in educational institutions . *Multidisciplinary academic notes. Theory, methodology and practice: The XXVII International Scientific and Practical Conference*, July 12 – 15, 2022, Prague, Czech Republic. 473 p.
7. Петрук В. Г., Машков О. А., Абідов С. Т., Гура К. Ю. Методологія інтегрованого управління екологічною безпекою природоохоронних систем. *Екологічні науки*. 2021. Вип. 2 (35). С. 153 – 161.
8. Polyvianchuk A., Malyarenko V., Semenenko R., Gura K., Varbanov P.S., Arsenyeva O. The general-purpose approach for estimation of

residential heating systems efficiency using the various energy sources Author links open overlay panel. *Energy and Building*. Volume 296. Oktober 2023. P.21. 113390. (Scopus, 1 квартиль).

9. Гура К.Ю. Перспективні технології використання геотермальної енергії. *Новини енергетики*. 2010. №5. С.35 – 51.

10. Гура К.Ю., Іванько Д.К., Міщенко Д.К. Сонячні теплові електростанції. *Електрик*. 2010. №3-4. С.34 – 37.

11. Гура К.Ю. Теплові насоси. *Новини енергетики*. 2010. №4. С.39 – 54.

12. Гура К.Ю. Сонячна енергетика – альтернативний шлях отримання тепла та електроенергії. *IV-а Всеукраїнська конференція «Інновації у науці та технологіях»*: зб. Доп. М. Київ: НТТУ «КПІ». 19 березня 2010 р. Київ, 2010. С.23.

13. Кулик М. П. Аналіз екологічної небезпеки об'єктів теплової енергетики та методів зменшення шкідливих впливів. *Вісник інж. Акад. України*. 2014. Вип. 2. С. 253 – 258.

14. Inter governmental Panel on Climate Change. ISBN 978-0-511-54601-3.

15. Євроінтеграційний портал. Ресурсно-аналітичний центр «Суспільство і довкілля» Європейський зелений курс: можливості та загрози для України, Аналітичний документ, 2020. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://eu-ua.kmu.gov.ua/analityka/analitychnyy-dokument-yevropeyskyy-zelenyy-kurs-mozhlyvosti-ta-zagrozy-dlya-ukrayiny>.

16. МЗДПРУ.

Проект аналітичного огляду Національного визначеного внеску до Паризької угоди. 2021. С. 4 – 7. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://mepr.gov.ua>.

17. Глущенко

А.М. Декарбонізація металургії: роль економічної політики держави.

The Problems of Economy. 2020. №1. С. 340 – 347.

18. Білявський М. Україна і глобальна політика декарбонізації Центр Разумкова. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://razumkov.org.ua>

[/uploads/article/2021_Ukraine%20and%20the%20Global%20Policy%20of%20De carbonisation.pdf](#).

19. Резолюція Генасамблеї ООН №45/212.
20. Цілі ЄС щодо захисту клімату. Interfax–Україна.2020. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ua/interfax.com.ua/news/general/688450.html>.
21. «Зелена металургія: чому в Україні не працює жоден фінансовий стимул для декарбонізації промисловості. *Економічна правда*. Квітень 2021. (За підтримки «Інтерпайп сталь»).
22. Штуббе Рувен, Цахманн Георг. Назустріч програмі зеленої модернізації України. *Вокс Україна*. 2021. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://voxukraine.org/nazustrich-programi-zelenoyi-modernizatsiyi-ukrayiny/>.
23. Murray A., Skene K., and Haynes K. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*. 2017. Vol.140. P.369 – 380.
24. Korhonen J., Honkasalo A., and Seppala J. Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*. 2018. Vol.143. P. 37 – 46.
25. Matynshok V., Sergio B., Balashova B. and Gomonov K. Influence of smart grid and renewable energy sources on energy efficiency: foreign experience *Run Journal of Economics*. 2017. Vol.25(4). P.583 – 598. <https://doi.org/10.22363/2313-2329-2017-25-4-583-598>.
26. Planet. The Circular Carbon Economy. *ARAMCO*. [Electronic resource]. Available: <https://www.aramco.com/en/making-a-difference/planet/the-circular-carbon-economy>.
27. Khudoyarova O., Gordienko O., Blazhko A., Sydoruk T., and Ranskiy A. Desulfurization of Industrial Water-Alkaline Solutions and Receiving New Plastic Oils. *J. Ecological Engineering*. 2020. Vol.21(6), P.61 – 66.
28. Ranskiy A., et al. Integration of Technological Cycles of Industrial Waste Processing. *J. Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22(6). P.209 – 213.
29. Dimitris Achilias et al. Recent Advances in the Chemical Recycling of Polymers (P

P,PS,LDPE,HDPE,PVC,PC,Nylon,PMMA). *Saloniki: InTech*. 2012. 406p.

30. КоріненкоБ.В, ХудояроваО.С.,ХутькоМ.В., РанськийА.П.Особливостітермодеструкціївторинноїполімерної сировини. *Вісник Вінницькогополітехнічногоінституту*.2021. №1.С.29 – 35.
31. The Covenant of Mayors for Climate and Energy Reporting Guidelines.*Covenant of Mayors & Mayors for climate and energy. Adapt Offices and the Joint Research Centre of the European Commission*. 2016. 78p.
32. Alibekova A., Shaimerdenova G., Agilbaeva M. Ecologica problems of thermal powerplants. *Journal of Industrial Technology and Engineering*. 2013. №4(09). P. 40–44.
33. Varlamov G., Didik I. The main features of the implementation of the principle of environmental equilibrium on the ecological object. *Osnovni osoblyvosti realizaciy I pryncypu ekolohichnoyi rivnovahy naekolohichnomu ob'yekti*.*Youngscientist:scientific journal*. 2016. P.3,104–107.
34. Doroguntsov S., Kotsenko K.,Hvesik M. Ecology: a text book.*Ekolohiia: Pidruchnyk*.KNEU. 2005. 104p.
35. Prutska O., Fedik O. The current state and problems of development of alternative energy in Ukraine. *Suchasnyi Stan ta Problemy Rozvytku Alternatyvnoi Enerhetyky v Ukraini*.VNAU. 2012. №1(56),Vol.2. P.158–164.
36. Sten I. Analysis of constructions of hot water supply systems used in Ukraine. *Analiz konstrukcij geliosistem garyachogo vodopostachannya, yaki vikoristovuyutsya vUkrayini*. 2018. P.1,131–132.
37. Kupalova I. Determination of emissions by stationary sources.*Vyznachennia Obsiahiv Vykydiv Statsionarnymy Dzherelamy. Visnyk. Officially about taxes*. 2016. 32(889). P.32–37.
38. НижникН.Р.,МашковО.А.Системнийпідхідворганізаціїдержавногоуправління:Навч.посіб./Зазаг.ред.Н.Р.Нижник.Київ: УАДУ, 1998. 160с.
39. НижникН.Р.,МашковО.А.,МосовС.П.Контрольусфердержавногоуправління.*ВісникУАДУ*, 1998.№2.С.23 –31.
40. ПетрукР.В.Науковеобґрунтуванняоптимальнихформінтегрованогоуправ

ліній екологічною безпекою не придатних пестицидів та пестицидів місних відходів: дис... докт. тех. наук: 21.06.01. ДЕАПОУ. Київ, 2020. 345 с.

41. Україна: Ефективність малої енергетики. ЄС- EnergyCentre. Kyiv. Ukraine. 1995.
42. Status Report on Solar Power Plants. Pilkington Solar International Report ISBN 3-9804901-0-6.
43. Федоренко Г.М., Постніков В. І., Саратов В.А. Перспективи генерування теплової та електричної енергії на сонячних ТЕС півдня України. *Новини енергетики*, 2001. №11. С. 9 – 13.
44. The Covenant of Mayors for Climate and Energy Reporting Guidelines /Covenant of Mayors & Mayors for climate and energy. Adapt Offices and the Joint Research Centre of the European Commission. 2016. 78p.
45. Alibekova, A., Shaimerdenova, G., Agilbaeva, M. Ecological problems of thermal power plants. *Journal of Industrial Technology and Engineering*. 2013. №4(09). P. 40–44.
46. Varlamov G., Didik I. The main features of the implementation of the principle of environmental equilibrium on the ecological object. *Osnovni soblyv ostirealizaciyi pryncypuekolohichnoy irivnovahynaekolohichnomu ob'yekti. Young scientist: scientific journal*. 2016. 1. P. 3, 104–107.
47. Doroguntsov S., Kotsenko K., Hvesik M. Ecology: a textbook. *Ekolohiia: Pidruchnyk*. 2005. KNEU. 104 p.
48. Prutska O., Fedik O. The current state and problems of development of alternative energy in Ukraine. *Suchasnyi Stan Ta Problemy Rozvytku Alternatyvnoi Enerhetyky v Ukraini*. 2012. VNAU, 1(56). Vol. 2. P. 158–164.
49. Sten I. Analysis of constructions of hot water supply systems used in Ukraine. *Analiz konstrukcij geliosistem garyachogo vodopostachannya, yaki vikoristovuyutsya v Ukrayini*. 2018. P. 1, 131–132.
50. Flat solar collectors Logasol SKT 1.0. Buderus Ukraine. Electronic resource. <https://www.buderus.com/ua/uk/ocs/logasol-skt-10-18527658-p/>.
51. Kupalova I. Determination of emissions by stationary sources. *Vyznachen*

- nia Obsiahiv Vykydiv Statsionarnymy Dzherelamy. *Visnyk. Officially about taxes*. 2016. 32(889). P.32–37.
52. Прокопенко В. В., Закладной О. М., Кульбачний П. В. Энергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: Навчальний посібник. Київ: Освіта України, 2008. 438 с.
53. Энергозбереження на підприємствах промисловості та житлово-комунального господарства: Практичний посібник. Луганськ: Лунный свет, 2009. 680 с.
54. Альтернативная энергетика и энергосбережение: современное состояние и перспективы: Учебное пособие. Харьков: Вокруг света, 2004. 313 с.
55. Бут О. А., Бандурян Б. Б., Свтухов В. Я. Та ін. Тепловізійні обстеження промислових підприємств – важливий інструмент на шляху до раціонального енергоспоживання: *Новини енергетики*. 2003. №1-2. С. 39 – 41.
56. ТОВАЖНЯНСКИЙ Л. Л., КОТЕЛЬНИК В. М. и др. Интегрированные энергосберегающие теплотехнологии в стекольном производстве: Монография. Под ред. В. М. Кошельника. Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. 628 с.
57. Конеченков А., Остапенко С. Энергия тепла Земли . *Электронорама*. 2003. №7-8. С. 19 – 23.
58. Конеченков А. Е. Новые энергетические директивы ЕС. *Электронорама*. 2008. №6. С.7 – 13.
59. Геотермальное энергоснабжение. www.esco.co.ua/journal/2005_11/art07_28.htm.
60. Україна: Ефективність малої енергетики .ЕС- EnergyCentre, Kyiv, Ukraine. 1995.
61. Status Report on Solar Power Plants. Pilkington Solar International Report ISBN 3-9804901-0-6.
62. Федоренко Г.М., Постніков В. І., Саратов В.А. Перспективи - генерування теплової та електричної енергії на сонячних ТЕС півдня України. *Новини енергетики*. 2001. №11. С.19 – 24.
63. Рожелюк М. М. Досвід використання регенеративних джерел

енергії в Україні та країнах Європи. НУ «Києво-Могилянська академія», 2022. С. 84-94.

64. Про альтернативні джерела енергії: Закон України від 20 серпня 2022 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text>

65. Сонячна енергетика: теорія та практика / Мисак Й. С., Возняк О. Т., Дацько О. С., Шаповал С. П. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2014. 340 с.

66. Присяжнюк Н. Втрати та перспективи сонячної енергетики під час війни в Україні. Speka.media/p168dv, 2023.

67. Сонячна енергетика в Україні. URL: Aveston.com/articles/solar-in-ukraine-2019/

68. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії. Київ: НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського», 2012. 304 с.

69. Енергія сонця. [Електронний ресурс]. URL: https://generacia.org.ua/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwl4yyBhAgEiwADSEjeNj6S6cn2RWQKCJ_UnBzTz6jMTxn8yCJXL_burjHI4Ut8b_xnZ3AShoCAHgQAvD_BwE

70. Способи використання сонячної енергії в будинках і в промисловості. [Електронний ресурс]. URL: https://isolar.com.ua/ua/price/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=google&utm_content=1&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwl4yyBhAgEiwADSEjePKSbnBo0DJcb0ZO2MuQRnH8J63RwJziQf7PsNAjOJO_ed5rFmiRQBoCdtSQA_vD_bwE

71. ДСТУ 2101-92. Папір. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1992. 91 с.

72. ДСТУ 2098-92. Виробництво паперу та картону. Терміни та визначення.

73. [Петрук В. Г., Петрук Г. Д., Гура К. Ю. Екологічно чистий спосіб приготування маси для синтетичного паперу. Пат. № 152521, МКП (2006): Д21Н, 27/00, Д21Н 13/26, Номер заявки: U202200774, опубл. 01.03.2023, бюл. № 9/2023.

74. Демишин Т. І., Антоненко Л. П. Розробка синтетичного електроізоляційного матеріалу і обладнання харчових та хімічних виробництв. Технологічний аудит і резерви виробництва. Київ, 2014. № 6/5 (20). С. 20-21.
75. Stone Paper carbonate with a plastic resin as a binder. It is found on the global market, available/ February, 2020.
76. Розвиток вітряної електроенергетики до 2020 року /uk.wikipedia.org/wiki/Вітрова енергетика України.
77. Вітряні електростанції та зміни клімату/Василюк О.,Кривохижа М.,Прекрасна Є.,Норенко К. К.:UNCG, 2015. 32с.
78. Вітрова енергетика, переваги та недоліки/ tepla.com.ua/vitrova-energetika-perevagi-ta-nedoliki/.
79. Вітроенергетика. Держефективності України/ sae.gov.ua.
80. Вітрова енергетика. Світові тенденції 2023/ volovetspp.com/news/vitrova-energetika-svitovi-tendenciyi-2023.
81. 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.
82. А.П. Полив'янчук, Н.М. Полив'янчук, Р.А. Семененко, [та інш.], «Дослідження еколого-економічної ефективності геліосистем при реалізації концепції сталого розвитку в комунальній енергетиці», Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура, № 1 (147). С. 83–88, 2019. ISSN 2522-1817.
83. ДСТУ Б EN 13187:2011 Теплові характеристики будівель. Якісне виявлення теплових відмов в огорожувальних конструкціях Інфрачервоний метод (EN 13187:1998, IDT) [Чинний від 01.01.2013] Вид. Офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2012.

84. ДСТУ Б EN ISO 7730:2011 Ергономіка теплового середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD і критеріїв локального теплового комфорту (EN ISO 7730:2005, IDT) [Чинний від 01.07.2013] Вид. Офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2012.
85. The Covenant of Mayors for Climate and Energy Reporting Guidelines / Covenant of Mayors & Mayors for climate and energy. Adapt Offices and the Joint Research Centre of the European Commission, 2016. 78 p.
86. Alibekova A., Shaimerdenova G., Agilbaeva M. Ecological problems of thermal power plants. Journal of Industrial Technology and Engineering, 2013. Вип. 4(09). P. 40–44.
87. Варламов Г.Б., Дідик І.С. Основні особливості реалізації принципу екологічної рівноваги на екологічному об'єкті. Молодий вчений, 2016. Вип. 1/ Ч. 3. С. 104–107.
88. Малярєнко В.А., Щербак І.Є. Аналіз споживання паливно-енергетичних ресурсів України та їх раціонального використання. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, 2013. Вип. 14(988). С. 118–126.
89. Polyvianchuk A., Belousov I., Semenenko R. Development and implementation methods multicriteria evaluation of efficiency energy saving activities in the field of heat supply // Modern engineering research: topical problems, challenges and modernity: Collective monograph «Baltija Publishings, 2020. -P . 370-396. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-47-1.17>.
90. Держстат України. Пояснення що до розрахунку обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення. Розділи - «Діяльність»/«Консультації фахівців»/«Коментарі фахівців» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 28.09.2024).

91. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. [Чинний від 2004-01-01] Вид. Офіц. Донецьк: Укр.наук-й центр технічної екології. Том 1. 2004.
92. ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. [Чинний від 2023-03-01] Вид. Офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2023.
93. Варламов Г.Б., Любчик Г.М., Маляренко В.А. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії : підручник. Київ : ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2003. 232 с.
94. ДСТУ-Н Б В.1.1-27: 2010. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 127 с.
95. КТМ 204 Україна 244-94. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби України. Київ : ЗАТ «ВІПОЛ» ДК № 15, 2011. 376 с.
96. Гром А.С., Худенко А.А., Азутов В.П. Методика визначення нераціонального (неефективного) використання паливно-енергетичних ресурсів. Київ : Держінспекція з енергозбереження, 2006. 134 с.
97. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: http://sop.zp.ua/norm_dsn_1999_3_3_6_042-99_02_ua.php.
98. Сухонос М.К., Полив'янчук А.П., Коваленко Ю.Л. та ін. Створення та апробація концепції комплексного оцінювання енергетичної, екологічної та економічної ефективності заходів з енергозбереження в будівлях. Комунальне господарство міст. Серія «Економічні науки». 2018. Вип. 6 (145). С. 33–37. DOI: 10.33042/2522-1809-2018-6-145-33-37.
99. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція будівель [Чинний від 2022-09-01]. Вид. Офіц. Київ: Мінрегіон України, 2022.
100. ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та

гарячого водопостачання [Чинний від 2023-03-01] Вид. Офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2022.

101. СНиП 2.04.14-88 Теплова ізоляція обладнання і трубопроводів [Чинний від 1990-01-01]. 1989.

102. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування [Чинний від 2014-01-01]. Вид. Офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013.

103. Газові настінні конденсаційні котли Logamax plus GB162 [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.buderus.com/ua/uk/ocs/logamax-plus-gb162-18527616-p/>.

104. Технічні характеристики та документи. Плaskі сонячні колектори Logasol SKT 1.0 [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.buderus.com/ua/uk/ocs/logasol-skt-10-18527658-p/>.

105. Інструкція з експлуатації та монтажу. Тепловий насос типу “повітря-вода” CS5000AW [електронний ресурс] / Режим доступу: https://www.magmaenergy.com.ua/uploads/CS5000AW-22-O_customer-install-manual.pdf.

106. HERZ Smart Comfort: дистанційне управління комфортом оселі [електронний ресурс] / Режим доступу: <https://herz.ua/blog/category/akcziyi/herz-smart-comfort-dystanczijne-upravlinnya-komfortom-oseli/> (дата звернення: 23.09.2021).

107. Polyvianchuk A., Malyarenko V, Semenenko R., Gura K., Sabev Varbanov P, Arsenyeva O The general-purpose approach for estimation of residential heating systems efficiency using the various energy sources. *Energy and Buildings*, 2023. – 113390 – p 23. DOI:<https://doi.org/10.1016/i.enbuild.2023.113390>.

108. Polyvianchuk A., Semenenko R., Kapustenko P, Klemes J.J., Arsenyeva O The efficiency of innovative technologies for transition to 4th generation of district heating systems in Ukraine *Energy*, 2023. — Vol. 263, Part D. – p. 11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125876>.

109. Шмандій, В. М. Екологічна безпека [Текст]: підручник. / В. М. Шмандій, М. О. Клименко, Ю. С. Голік та ін. – Кременчуц. Нац. Ун-т ім. Михайла Остроградського, 2013. -364 с.
110. Прутська О.О. Сучасний стан та проблеми розвитку альтернативної енергетики в Україні [Текст]/ О.О. Прутська, О.Ю. Федик // Збірник наукових праць ВНАУ (Вінницький національний аграрний університет). –2012 -№1 (56). -Том 2., –С. 158-164.
111. Petruk V., Polyvyanchuk A., Petruk G., Hura K., Faichuk V Decarbonization and ecomodernization of the economy as a resource-energy-efficient way of post-war reconstruction of Ukraine *Environmental Problems*, 2024 – Vol 9, №2 – 6 p.
112. Полив'янчук А.П., Полив'янчук Н.М., Семененко Р.А., Романенко С.В., Онацький Д.П. Дослідження еколого-економічної ефективності геліосистем при реалізації концепції сталого розвитку в комунальній енергетиці. Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура, 2019. - № 1 (147). – С. 83-88. DOI: <https://doi.org/10.33Q42/2522-1809-2019-1-147-83-88>.
113. Штен І. Аналіз конструкцій геліосистем гарячого водопостачання, які використовуються в Україні [Текст]/ І. Штен // Збірник тез Міжнародної студентської науково-технічної конференції Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання., –2018. –Т. 1. –С. 131-132.
114. Вовчак В. Кращі з доступних технологій для житлово-комунального господарства України. Керівництво з відбору технологій [Текст]/ В. Вовчак, О. Тесленко, О. Самченко, Д. Сушкова; під редакцією С. Єрмілова. -К.: «Поліграф плюс», 2016. -134 с.

ДОДАТОК А

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях України

1. Гура **К.Ю.**, Петрук В. Г. Аналіз сучасних тенденцій декарбонізації та екомодернізації енергетики України і світу. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця, 2021. №5. С. 19 – 26.

2. Коріненко Б.В., Худоярова О.С., Гура **К.Ю.**, Ранський А.П. Циркулярна економіка та термохімічна конверсія твердих відходів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця, 2021. №4. С.7 – 19.

3. Петрук В. Г., Машков О. А., Абідов С. Т., Гура **К. Ю.** Методологія інтегрованого управління екологічною безпекою природоохоронних систем. *Екологічні науки*. Київ, 2021. Вип. 2 (35). С. 153 – 161.

4. Петрук В.Г., Полив'янчук А.П., Петрук Г.Д., Гура **К.Ю.**, Файчук В.В. Декарбонізація та екомодернізація економіки як ресурсоенергоєфективний шлях післявоєнної відбудови України. *Екологічні проблеми*, 2024. Том 9, №2. С.73-77.

Статті у міжнародних наукових виданнях

5. Polyvianchuk A., Malyarenko V., Semenenko R., **Gura K.**, Varbanov P.S., Arsenyeva O.P. The general-purpose approach for estimation of residential heating systems efficiency using the various energy sources. Author link: [sopenover.la/panel](#). *Energy and Building*. Vol. 296. Oktober 2023. P.21. 113390. (НМБ **Scopus**, кваліфікація Q1).

Заявка на винахід

6. Екологічно чистий спосіб виготовлення маси для синтетичного паперу : заявка на винахід UA : МПК D21H 27/00, D21H 13/26 (2021.01) / В. Г. Петрук, Г. Д. Петрук, **К.Ю. Гура** (Україна); № U202200774; заявл. 05.07.2022 ; опубл. 22.02.2023, Бюл.№9. 6с.

Матеріали наукових конференцій

7. **Гура К.Ю.**, Петрук В. Г. Аналіз шляхів реалізації стратегії низьковуглецевого розвитку економіки України [Електронний ресурс]. *Екологія/Ecology-2021: VIII-й Міжнародний з'їзд екологів. Збірник наукових праць*. м. Вінниця, 22-24 вересня 2021 р. Вінниця, 2021. С. 410 – 412.

8. Polyvianchuk A., Petruk V., Petruk G., **Gura K.**, Semenenko R. Study of the effectiveness innovativ emasures for energy savingin education alinstitutions . *Multi disciplinary academicnotes. Theory, methodology and practice: The XXVII International Scientific and Practical Conference*. July 12 – 15, 2022. Prague.Czech Republic. 473 p.

9. **Гура К.Ю.** Сонячна енергетика – альтернативний шлях отримання тепла та електроенергії. IV-а Всеукраїнська наукова конференція «*Інновації у науці та технологіях*». Збірник доповідей. НТТУ «КПІ». 19 березня 2010 р. Київ, 2010. С.23.

Публікації в інших наукових виданнях

10. **Гура К.Ю.** Перспективні технології використання геотермальної енергії. *Новини енергетики*. 2010. №5. С.35 – 51.

11. **Гура К.Ю.**, Іванько Д.К., Міщенко Д.К. Сонячні теплові електростанції. *Електрик*. 2010. №3-4. С.34 – 37.

12. **Гура К.Ю.** Теплові насоси. *Новини енергетики*. 2010. №4. С.39 – 54.

ДОДАТОК Б

ПАРАМЕТРИ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

Таблиця Б.1 Характеристики найефективніших теплових насосів

| Наменування характеристики | Модель 1VT Greeline | | | | | |
|--|---------------------|-----------------|---------------------|----------|--------------|-----------|
| | HT Plus C/E6 | HTPlus C/E 7 | HT Plus C/E 9 | DI4 | D20 | D40 |
| Потужність віддачі/Потужність споживання (та температури $i =$ $0/35^{\circ}\text{C}$),кВт | 5,9/1,3 | 7,3/1,6 | 9,1/2 | 13,8/3,2 | 21/5,1 | 41,5/10,4 |
| Потужність віддачі/Потужність споживання (за температури $i =$ $0/50^{\circ}\text{C}$), кВт | 5,4/1,7 | 6,9/2,1 | 8.4/2,6 | 13,5/4,6 | 20/7,1 | 40,9/14,3 |
| Номінальна витрата через опалювальний трубопровід, к/с | ОДО | 0,25 | 0,31 | 0,79 | 1,16 | 2,39 |
| Допустима зовнішня втрата тиску системи обігрівання за умови номінальної витрати, кПа | 36 | 36 | 34 | 41 | 45 | 62 |
| Максимально допустима зовнішня втрата тиску земляного контура, кПа | 49 | 45 | 44 | 75 | 63 | 47 |
| Максимальна температура виходу, $^{\circ}\text{C}$ | 65 | | | 55 | | |
| Хладагент і R 407 С, кі | 1,35 | 1,4 | 1,5 | 1,8 | 3,7 | 8,5 |
| Габаритні розміри, мм | 600x600x2795 | | 600x600x1500 | | 700x700x1500 | |
| Маса, кг | 146 | 152 | 155 | 180 | 210 | 230 |

Таблиця Б.2 Характеристики теплових насосів з повітряними теплообмінниками марки IVT 495 TWIN

| Найменування характеристики | Значення характеристики |
|--|-------------------------|
| Потужність обігрівання, що виробляється, за температури 0°C /50°C. кВт | 3,9 |
| Споживана електрична потужність за температури 0°C/50°C, кВт | 135 |
| Номінальна витрата, система обігрівання, к/с | одо |
| Максимальна витрата, відпрацьоване повітря, м/год | 270 |
| Довжина труби, м | 150/400 |
| Електричний котел, кВт | 6,9 або 135 |
| Компресор | Scroll |
| Вбудований бойлер для гарячої води з неіржавіючої сталі, л | 16357 |
| Максимальна температура системи обігрівання на виході | 58 |
| Хладагент Я407 С. кг | ІД |
| Габаритні розміри, мм | 600x615x2090 |
| Маса, кг | 200 |

Таблиця Б.3 Переваги теплових насосів

| Найменування переваги | Характерні особливості переваги |
|-----------------------|--|
| Економічність | Теплові насоси в 1,2-2,5 рази економічніші порівняно з газовими котлами; їх ККД перевищує одиницю, оскільки для забезпечення передачі в систему обігрівання будівель 1 кВтгод теплової енергії тепловий насос виграна на роботу привода лише 0.2- 0.35 кВтгод електроенергії |
| Енергозбереження | Теплові насоси, відбираючи накопичену в землі (воді, повітрі) відновлювану низькопотенціальну теплову енергію і перекачуючи її в опалювальний об'єкт, не споживають невідновлювані енергоресурси |
| Екологічність | Теплові насоси не спалюють паливо і тому під час їх роботи не утворюються шкідливі для здоров'я і |

| | |
|--------------------------|---|
| | оточуючого середовища оксиди типу CO; CO ₂ ; NO _x ; тощо. Внаслідок цього обігрівання і кондиціонування будівель теплонасосами не несе ніякої екологічної загрози для навколишнього середовища і для людей, які знаходяться в цих будівлях |
| Вибухо- та пожежобезпека | Оскільки в теплових насосах не використовується паливо, відсутні небезпечні гази чи їх суміші, немає відкритого вогню, і жодна з деталей не нагрівається до температур займання горючих матеріалів, а максимальна температура, до якої нагріваються теплові насоси, не перевищує +65°C, то ці теплоустановки абсолютно вибухо- та пожежобезпечні |
| Надійність | Внаслідок відсутності в теплових насосах рухомих частин (крім компресора) і достатності проведення під час їх експлуатації лише сезонного техогляду їхній строк служби без капітального ремонту становить не менше 15-25 років |
| Незалежність від газу | Відсутня необхідність прокладання дорогої газової магістралі, оскільки для роботи теплового насоса необхідна лише електрика або дизельний чи бензиновий двигун |
| Комфорт | Робота теплових насосів характеризується: безшумністю (вони працюють не голосніше, ніж холодильники) і відсутністю необхідності спеціальної вентиляції приміщень, де відбувається нагрівання води і теплоносія; створенням бажаного мікроклімату в приміщеннях за допомогою погодо- залежної автоматики і мультizonального контролю; використанням теплонасоса влітку в якості кондиціонера чи підігрівача домашнього басейну |
| Універсальність | Універсальність теплових насосів проявляється: 1) в їх оборотності (реверсивності), тобто в можливості їх переходу з режиму обігрівання взимку на режим кондиціонування влітку (тоді замість радіаторів до зовнішнього колектора підключаються фанкойли, які забезпечують як |

| | |
|---|--|
| | обігрів, так і охолодження; 2) в їх здатності відбирати тепло не лише з землі, водоймищ, а й з відпрацьованого кімнатного повітря, а також з інших відходів людської життєдіяльності; 3) у можливості застосовувати для привода компресора не лише електричний, а й дизельний чи бензиновий двигун |
| Перспективність подальшого застосування | За прогнозами Світового енергетичного комітету доля теплових насосів в системі забезпечення світового теплопостачання до 2020 року має зрости до 75% |

Таблиця Б.4 Геотермальна енергія в світі

| Найменування континенту | Тип геотермального джерела енергії | | |
|-------------------------|--|---------------------------------|---|
| | високотемпературне, що використовується для вироблення електроенергії, ТДж/рік | | низькотемпературне, що використовується у вигляді теплоти. ТДж/рік (нижня межа) |
| | традиційні технології | традиційні і бінарні технології | |
| Європа | 1830 | 3700 | 1830 |
| Азія | 2970 | 5900 | 2970 |
| Африка | 1220 | 2400 | 1220 |
| Північна Америка | 1330 | 2700 | 1330 |
| Латинська Америка | 2800 | 5600 | 2800 |
| Океанія | 1050 | 2100 | 1050 |
| Світовий потенціал | 11200 | 22400 | 11200 |

Таблиця Б.5 Застосування геотермального тепла

| Значення температури геотермальної води, °С | Область застосування геотермального тепла |
|---|--|
| Понад 150 | Вироблення електроенергії |
| Менше 100 | Системи опалювання будівель і споруд |
| Близько 60 | Системи гарячого водопостачання |
| Менше 60 | Системи геотермального теплопостачання теплиць, геотермальні холодильні установки тощо |

ДОДАТОК В

Акти впровадження



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, тел.: (0432) 56-08-48, факс: (0432) 46-57-72
 E-mail: vntu@vntu.edu.ua Код за ЄДРПОУ 02070693

21.11.2023 № 03/17-23 на № _____ від _____



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з науково-педагогічної
роботи та організації освітнього
процесу канд. техн. наук, доцент

Олександр ПЕТРОВ

«__» _____ 2023 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи
Гури Костянтина Юрійовича «Підвищення ефективності декарбонізації
об'єктів соціальної інфраструктури методом раціонального впровадження
інноваційних природоохоронних технологій» у навчальний процес

Члени комісії у складі: завідувача кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля (ЕХТЗД), к. т. н., професора Іщенка В.А., д. т. н., професора Кватернюка С.М., к. т. н., доцента Васильківського І.В. склали цей акт про те, що результати дисертаційної роботи Гури К. Ю. «Підвищення ефективності декарбонізації об'єктів соціальної інфраструктури методом раціонального впровадження інноваційних природоохоронних технологій», яка виконана під науковим керівництвом докторів технічних наук, професорів кафедри ЕХТЗД Вінницького національного технічного університету Петрука В.Г. та Полив'ячука А.П. за спеціальністю 183 – Технології захисту навколишнього середовища, впроваджені у навчальний процес для студентів спеціальностей 101 – Екологія та 183 – Технології захисту навколишнього середовища.

Комісія також констатує, що окремі результати дисертаційної роботи Гури К.Ю. використовуються під час проведення лекційних та практичних занять з дисциплін «Моделювання екологічних процесів і технологій», «Економічне обґрунтування природоохоронних технологій», «Промислова екологія», «Природоохоронні технології», «Екологічна теплотехніка», «Економіка природокористування».

Підписи членів комісії:

 Віталій ІЩЕНКО
 Сергій КВАТЕРНЮК
 Ігор ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ



ПРОМИСЛОВА ЕКОЛОГІЯ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

ПП «ІНТЕР-ЕКО» +38 096 345 45 25 <http://www.inter.eco>
 ЄДРПОУ 30453724 +38 0432 69 90 96 Email: info@inter.eco

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Директор ПП «ІНТЕРЕКО»
 Вадим ГОНЧАРУК
 «29» травня 2024 р.

АКТ




**впровадження результатів дисертаційної роботи
 Гури Костянтина Юрійовича «Підвищення ефективності декарбонізації
 об'єктів соціальної інфраструктури методом раціонального впровадження
 інноваційних природоохоронних технологій»**

Члени комісії у складі: директора Гончарука В. С., провідного інженера Чижик В. В., та інженера Єрмакова Д. Ю. склали цей акт про те, що результати дисертаційної роботи Гури К. Ю. «Підвищення ефективності декарбонізації об'єктів соціальної інфраструктури методом раціонального впровадження інноваційних природоохоронних технологій», за спеціальністю 183 – Технології захисту навколишнього середовища, впроваджені у науково-виробничу діяльність ПП «ІНТЕРЕКО».

Комісія також констатує, що окремі результати дисертаційної роботи Гури К.Ю. використовуються ПП «ІНТЕР-ЕКО» для:

- розробки програм декарбонізації, екологізації, енергомодернізації і постмайнінгу урбанізованих територій на основі методу оптимізованого впровадження природоохоронних технологій з максимальним еколого-економічним ефектом;
- проведення практичних занять і майстер-класів з розробки та впровадження природоохоронних технологій у навчальній, науковій, виробничій і побутовій сферах;
- розробки техніко-економічного обґрунтування процедур впровадження на об'єктах соціальної інфраструктури інноваційних енергоефективних та природоохоронних технологій.

Підписи членів комісії:


 Вадим ГОНЧАРУК

 Вікторія ЧИЖИК

 Денис ЄРМАКОВ

ДОДАТОК Г

Патент на корисну модель



УКРАЇНА

(19) UA (11) 152521 (13) U

(51) МПК (2023.01)

D21H 27/00

D21H 13/26 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

| | |
|---|--|
| (21) Номер заявки: u 2022 00774 | (72) Винахідник(и): Петрук Василь Григорович (UA), Петрук Галина Дмитрівна (UA), Гура Костянтин Юрійович (UA) |
| (22) Дата подання заявки: 21.02.2022 | (73) Володілець (володільці): ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021 (UA) |
| (24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 02.03.2023 | |
| (46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 01.03.2023, Бюл.№ 9 | |

(54) ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТИЙ СПОСІБ ПРИГОТУВАННЯ МАСИ ДЛЯ СИНТЕТИЧНОГО ПАПЕРУ

(57) Реферат:

Екологічно чистий спосіб виготовлення маси для синтетичного паперу включає одночасне змішування вапнякової суміші з термопластичними матеріалом та допоміжними компонентами, її нагрівання при постійному перемішуванні до температури 160-190 °С, екструзії та каландрування. Перед змішуванням до тонкомеленої вапнякової суміші додають тонкомелений збагачений каолін. При постійному перемішуванні до тонкомеленої вапняково-каолінової суміші послідовно з інтервальним режимом додають допоміжні компоненти, спочатку поверхнево-активні речовини - касторову олію або поліфосфат. В отриману суміш вводять мастило - віск, мінеральне масло або білу оливу, а потім поліолефіновий компонент - подрібнені відходи поліетилену або поліпропілену, або їх суміш.

UA 152521 U

