МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота/проєкт

другий (магістерський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему « Зниження енероємності виробництва за рахунок впровадження когенераційних установок»

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1443
спеціальності _144 Теплоенергетика
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Теплоенергетика
(назва освітньої програми)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
_____ А.Є.Щуренко _____
(ініціали та прізвище)

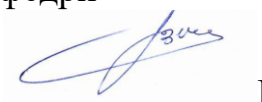
Керівник _доц.,к.т.н. Єрофєєва А.А._____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент ст. викл. Таратута В.О._____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М.Потебні
Кафедра____Електричної інженерії та кіберфізичних систем _____
Рівень вищої освіти____другий (магістерський) рівень_____
Спеціальність __144 Теплоенергетика_____
(код та назва)
Освітня програма Теплоенергетика_____
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри



д.т.н., проф. _____ В.Л. Коваленко
«_____»_____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЄКТ СТУДЕНТОВІ(СТУДЕНТЦІ)

Щуренко Артем Євгенович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) «Зниження енероємності виробництва за рахунок впровадження когенераційних установок»
керівник роботи (проєкту) Єрофєєва Аліна Анатоліївна, доц., к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «28» лютого 2024 року № 361-с
2 Строк подання студентом роботи _____01 грудня 2024 р._____
3 Вихідні дані до роботи : сезонні споживання теплової енергії за 2021-2022 рр , параметри використовуваного стисненого повітря: тиск – 6 атм.; діаметр повітропроводу – 100 мм; спосіб прокладки повітропроводу – естакадний, теплотехнічні характеристики зовнішніх огороджень, потужність вальце-шліфувального верстата - 4,3 кВт, точильно-шліфувального верстата- 3 кВт, шліфувального верстата - 4 кВт, токарського верстата- 4 кВт, намотувального верстата - 2 кВт.
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз систем теплопостачання 2) Зниження енероємності виробництва за рахунок впровадження когенераційних установок 3) Техніко-економічне обґрунтування впровадження когенераційних установок

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1) План локомотиво-вагонного депо.2) Споживання енергоресурсів локомотиво-вагонним 3) Кількість електричної енергії, спожитої у депо 4) Споживання теплової енергії у опалювальному сезоні5) Різновид та характеристики когенераційних установок.6) Технічні параметри когенераційної установки. 7)Принцип роботи та конструкція двигуна когенераційної установки.8) Теплова схема когенераційної установки. 9) Техніко-економічні розрахунки впровадження когенераційної установки 10)Висновки.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Єрофєєва А.А., доц., к.т.н.		
Розділ 2	Єрофєєва А.А., доц., к.т.н.		
Розділ 3	Єрофєєва А.А., доц., к.т.н.		

5 Дата видачі завдання 24.06.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз систем теплопостачання	01.10.2024	
2	Зниження енероємності виробництва за рахунок впровадження когенераційних установок	14.11.2024	
3	Техніко-економічне обґрунтування впровадження когенераційних установок	01.12.2024	

Студент _____ А.Є.Щуренко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту). _____ А.А.Єрофєєва
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ І.І.Коваленко
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

А.Є. Щуренко. Зниження енергоємності виробництва за рахунок впровадження когенераційних установок.

Кваліфікаційна випускна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник А.А. Єрофєєва. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем, 2024.

У кваліфікаційній роботі магістра розглянута можливість зниження енероємності виробництва за рахунок впровадження когенераційних установок.

В роботі проведено аналіз наукових досліджень у сфері систем теплопостачання та технологічного розвитку когенераційних установок. Проведено вибір та обґрунтування заходів реконструкції системи опалення та водопостачання промислового об’єкта. Обрана когенераційна установка, яка з найменшими капітальними витратами забезпечує максимальний економічний ефект і економію енергоносія, що підтверджено техніко-економічними розрахунками. Запропонована автоматична система керування роботою когенераційної установки на базі мікропроцесорної техніки.

Ключові слова: ЕНЕРГОЄМНІСТЬ, КОГЕНЕРАЦІЙНА УСТАНОВКА, ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ, ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ, АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, КОЕФІЦІЄНТ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ, ТЕРМІЧНИЙ ОПІР,ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК.

ABSTRACT

A.E. Shchurenko. Reducing the energy intensity of production through the introduction of cogeneration units.

Qualification final work for obtaining a higher education degree of master in specialty 144 - Heat and Power Engineering, scientific supervisor A.A. Erofeeva. Zaporizhzhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebny. Department of Electrical Engineering and Cyber-Physical Systems, 2024.

The qualification work of the master considers the possibility of reducing the energy intensity of production through the introduction of cogeneration units.

The paper analyzes scientific research in the field of heat supply systems and technological development of cogeneration units. The selection and justification of measures for the reconstruction of the heating and water supply system of an industrial facility was carried out. A cogeneration unit was selected that provides the maximum economic effect and energy savings with the lowest capital costs, which is confirmed by technical and economic calculations. An automatic control system for the cogeneration unit based on microprocessor technology is proposed.

Keywords: ENERGY INTENSITY, COGENERATION UNIT, ENERGY SUPPLY, HEAT SUPPLY, AUTOMATIC CONTROL SYSTEM, THERMAL CONDUCTIVITY COEFFICIENT, THERMAL RESISTANCE, THERMAL ENGINEERING CALCULATION.

ЗМІСТ

ВСТУП…… 7
1. Аналіз систем теплопостачання……..9
1.1 Види систем теплопостачання…….. 9
1.2 Недоліки і переваги централізованої системи теплопостачання…18
1.3 Децентралізація теплопостачання…… 21
1.4 Технологічний розвиток когенераційних установок…….....29
2 ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК……41
2.1 Характеристика технологічного процесу локомотиво-вагонного депо 41
2.2 Аналіз загальновиробничих витрат енергоресурсів локомотиво-вагонного депо…….…… ..42
2.3 Технічне обґрунтування вибору когенераційних установок……47
2.4 Автоматична система керування роботою КГУ на базі мікропроцесорної техніки ……63
3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК…… 66
3.1 Розрахунок інвестицій на впровадження КГУ……66
3.2 Розрахунок собівартості продукції…… 68
3.3 Розрахунок економічної ефективності капітальних вкладень … 71
ВИСНОВКИ……..…74
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ……..75

ВСТУП

Актуальність роботи. Когенераційні установки є важливим інструментом для підвищення енергоефективності, зниження витрат на енергоносії та зменшення впливу на навколишнє середовище. Їх використання на промислових підприємствах стає все більш актуальним у сучасних умовах через ряд економічних, енергетичних та екологічних чинників.

Використання когенераційних установок на промислових підприємствах є актуальним та ефективним рішенням для підвищення енергоефективності, зниження витрат та зменшення впливу на навколишнє середовище. Це особливо важливо в умовах енергетичної кризи, зростання цін на енергоносії та суворих екологічних вимог. Впровадження когенераційних установок дозволяє підприємствам стати більш конкурентоздатними та забезпечити стабільне енергопостачання.

Об'єкт дослідження – когенераційна установка.

Предмет дослідження – зниження енергоємності виробництва.

Мета роботи - зниження енергоємності виробництва за рахунок впровадження когенераційних установок.

Задачі дослідження. Для досягнення зазначеної мети дослідження в магістерській роботі вирішуються такі задачі:

- аналіз наукових досліджень у сфері систем теплопостачання та технологічного розвитку когенераційних установок;
- вибір та обґрунтування заходів реконструкції системи опалення та водопостачання промислового об'єкта;
- технічне обґрунтування вибору когенераційної установки;
- техніко-економічні показники когенераційної установки.

Методи дослідження - теоретичний, розрахунковий, аналіз і синтез літератури, математичне моделювання, техніко-економічний аналіз.

Апробація роботи. Участь у І ВСЕУКРАЇНСЬКІЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ ЗА УЧАСТЮ МОЛОДИХ УЧЕНИХ ТА ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ «АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СУСПІЛЬСТВА У СФЕРАХ ЕКОЛОГІЧНОЇ ТА ЦИВІЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, МЕНЕДЖМЕНТУ ТА ЕКОНОМІКИ» 16-18 жовтня 2024 року Запоріжжя: ЗНУ, 2024.

1 АНАЛІЗ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

1.1 Види систем теплопостачання

Традиційна для нашої країни система централізованого теплопостачання добре відома і має як свої переваги, так і недоліки. В загальному обсязі джерел теплової енергії на централізовані котельні припадає 68%, децентралізовані – 28%, інші – 3%. Великі теплофікаційні системи працюють на твердому паливі – 47%, на газі – 41% і на рідкому паливі – 12%.

Системи централізованого теплопостачання є потенційно енергоефективним та рентабельним методом розповсюдження тепла і гарячої води; протягом останніх десятиліть вони широко використовувалися в країнах. На Заході використання систем централізованого теплопостачання, особливо комбінованого виробництва тепла та енергії, швидко зростає. На жаль, переважно через нестачу належного утримання та капітального ремонту за останні роки, цій галузі народного господарства України на даному етапі притаманні високий рівень неефективності, а також технологічних втрат підчас розповсюдження тепла. Окрім цього, системи централізованого теплопостачання є суттєвим джерелом викидів парникових газів [1].

Діючі в Україні системи центрального теплопостачання є досить енергозатратними. Відсутність автоматичного регулювання виробництва та відпуску тепла, неякісна теплова ізоляція зовнішніх теплових мереж призводять до значних втрат тепла. Ці втрати нерідко становлять 40-50%. Крім того відсутність автоматичного регулювання відпуску тепла є причиною неможливості цілодобового забезпечення комфортних умов. Останнє стосується як забезпечення температурного режиму приміщень так і якості гарячого водопостачання.

Широкомасштабна реконструкція систем центрального теплопостачання протягом короткого проміжку часу неможлива через необхідність великих капіталовкладень. В той же час значна частина котелень

промислових підприємств, які крім промислових об’єктів, забезпечують теплом і житлові будинки виводяться з експлуатації.

Основними недоліками роботи котелень є недостатньо висока ефективність використання палива, неможливість додержання заданих технологічних параметрів в зв’язку з відсутністю надійних систем автоматизації та наявність застарілого обладнання (строк служби якого вичерпано) з низькими техніко-економічними показниками.

Аналіз наукових досліджень у сфері систем теплопостачання виявляє низку ключових аспектів, які впливають на їх ефективність та надійність.

Дослідження показують, що на етапі експлуатації систем теплопостачання виникають проблеми, пов'язані з втратами теплової енергії та теплоносія. Це може бути спричинено неефективною ізоляцією трубопроводів, зношеністю обладнання та недостатнім контролем параметрів системи [2,3].

Проведений аналіз показників надійності теплових мереж свідчить про необхідність регулярного моніторингу та діагностики для виявлення потенційних відхилень від нормального режиму роботи. Використання тепловізійних досліджень дозволяє ефективно виявляти місця витоку тепла та інші дефекти системи [4].

Сучасні підходи до автоматизації керування системами теплопостачання сприяють оптимізації їхньої структури та підвищенню ефективності роботи. Математичне моделювання процесів та впровадження автоматизованих систем управління дозволяють зменшити втрати енергії та підвищити надійність постачання тепла споживачам.

На графіку (рисунок 1.1) показано процес впровадження автоматизації керування системами теплопостачання в Україні. Частка автоматизованих систем зростала з 10% у 2010 році до 75% у 2024 році, що свідчить про значний прогрес у напрямі енергоефективності та модернізації теплових мереж.

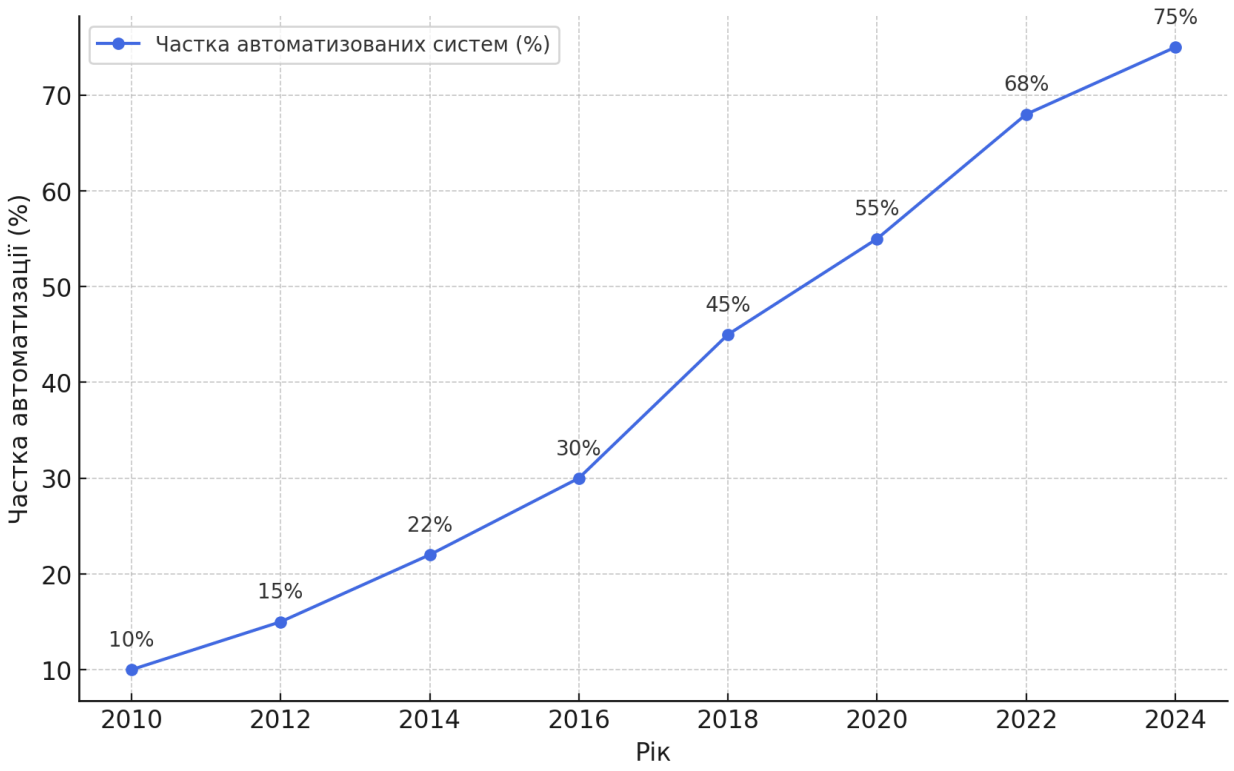


Рисунок 1.1 Впровадження автоматизації керування системами теплопостачання в Україні

Детальний аналіз причин втрат теплової енергії в системах теплопостачання виявив, що основними факторами є несанкціоновані відбори теплоносія, недостатня ізоляція трубопроводів та неефективна робота обладнання. Групування цих причин дозволяє розробити цілеспрямовані заходи для їх усунення та підвищення загальної ефективності системи.

Критичний аналіз традиційних систем теплопостачання показує їхній негативний вплив на екологію через високі викиди парникових газів. Використання високотемпературних теплових насосів та інших альтернативних джерел енергії може знизити цей вплив та забезпечити більш стале теплопостачання.

Розробка методів оцінки ефективності децентралізованих систем теплопостачання показує, що такі системи можуть бути більш гнучкими та ефективними порівняно з централізованими. Вони дозволяють зменшити

втрати при передачі тепла та підвищити надійність постачання за рахунок розподілу джерел енергії.

Аналіз сучасного стану систем теплопостачання виявив, що зростання витрат на паливо та інші ресурси призводить до збільшення собівартості теплової енергії. Це вимагає впровадження енергоефективних технологій та оптимізації витрат для забезпечення економічної доцільності роботи систем [5].

Загалом, сучасні дослідження вказують на необхідність комплексного підходу до вдосконалення систем теплопостачання, який включає технічну модернізацію, автоматизацію управління, використання альтернативних джерел енергії та підвищення енергоефективності для забезпечення надійного та сталого теплопостачання.

Підвищення енергоефективності є ключовим фактором для забезпечення надійного та сталого теплопостачання. В Україні реалізуються різноманітні ініціативи та проєкти, спрямовані на модернізацію систем централізованого теплопостачання, зменшення споживання енергоресурсів та зниження викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Зокрема, за підтримки USAID Проєкту енергетичної безпеки (ПЕБ) розроблено нові схеми теплопостачання для кількох міст України. Ці схеми спрямовані на підвищення стійкості та ефективності муніципального теплопостачання, покращення якості послуг та зменшення споживання газу [6].

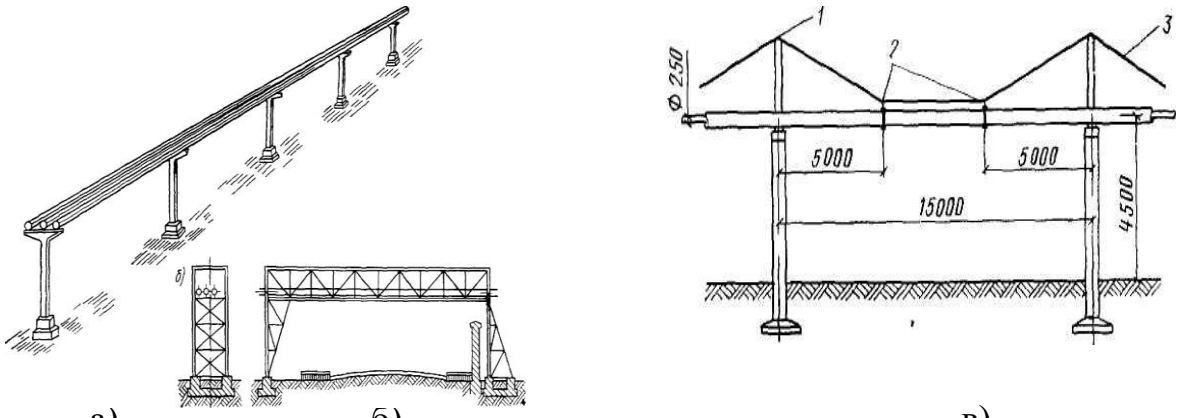
Дослідження також вказують на доцільність впровадження тригенераційних установок, які дозволяють одночасно виробляти електроенергію, тепло та холод. Це сприяє підвищенню ефективності систем теплопостачання та зменшенню викидів парникових газів [7].

Крім того, впровадження енергетичного менеджменту в будівлях державної та комунальної власності, а також створення спеціальних фондів з підвищення енергоефективності на місцевому рівні є важливими кроками для досягнення сталого розвитку у сфері теплопостачання.

Таким чином, комплексний підхід, що включає модернізацію інфраструктури, впровадження сучасних технологій та ефективне управління енергоресурсами, є запорукою надійного та сталого теплопостачання в Україні.

У системі транспортування (рисунок 1.2) та розподілу теплової енергії спостерігаються значні втрати тепла внаслідок відсутності або порушення ізоляції на значній протяжності мереж, втрати мережевої води внаслідок інтенсивної корозії металу теплопроводів (що призводить до порушення герметичності) за причинами їх постійного підтоплення та наявності значної кількості фізично зношених ділянок, що також веде до частого порушення їх герметичності.

Надземна прокладка теплопроводів використовується у випадках, коли неможливо або недоцільно прокладати трубопроводи під землею (наприклад, у районах з високим рівнем ґрунтових вод, складними геологічними умовами або при необхідності швидкого монтажу).



а) б) в)

а - на окремо стоячих опорах (мачтах); б - на естакадах; в - на підвісних (вантових) конструкціях, 1- металева вершина, 2 - підвісні опори, 3 - тяги.

Рисунок 1.2 - Основні варіанти надземної прокладки теплопроводів

Теплопроводи монтуються на спеціальних металевих або залізобетонних естакадах, розташованих на опорах уздовж траси, прокладають на спеціальних металевих або залізобетонних опорах

(наприклад, у вигляді колон, кріпляться безпосередньо до зовнішніх стін будівель або промислових споруд за допомогою спеціальних кронштейнів, підвішуються до мостів, естакад, транспортних шляхопроводів або спеціальних підвісних конструкцій.

Вибір варіанту надземної прокладки теплопроводів залежить від умов місцевості, доступного бюджету, кліматичних умов і технічних вимог. Найпоширенішими варіантами є прокладка на естакадах та опорах, які забезпечують легкість монтажу і доступність для обслуговування. Для компактних міських умов доцільніше використовувати кріплення на стінах будівель або підвісні конструкції.

Середні втрати тепла в тепломережах становлять 11- 13%, в деяких котельнях витрати підживлювальної води теплових мереж перевищують нормативне значення у декілька разів.

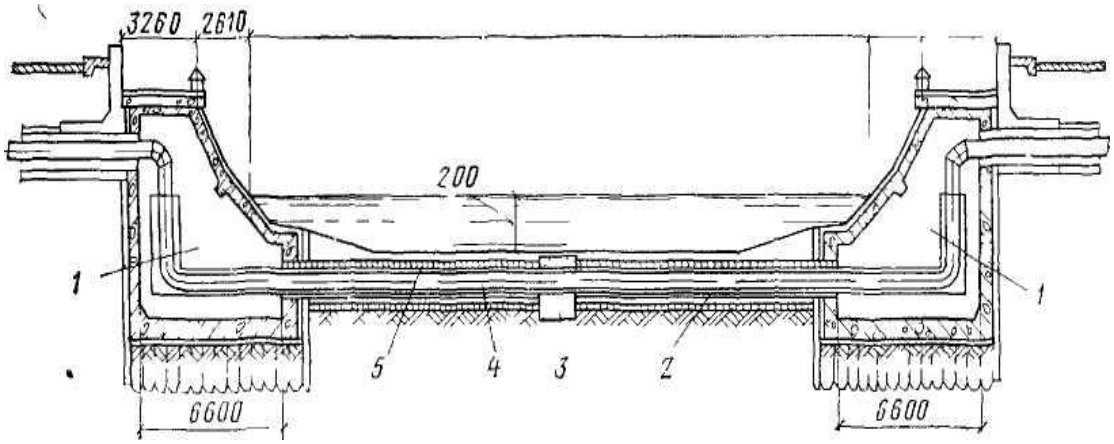
Низька ефективність гарячого водозабезпечення пояснюється в основному використанням застарілих теплопідігрівачів та систем автоматизації, а системи теплоспоживання – значними втратами теплової енергії внаслідок пошкодження ізоляції теплопроводів у підвалах будівель, у дюкерах (рисунок 1.3, 1,4), відсутністю систем погодного регулювання опалення та відсутністю систем комерційного обліку спожитої теплової енергії.

Дюкер – це спеціальна конструкція, яка дозволяє прокладати трубопроводи під водними перешкодами (річками, озерами, каналами). Дюкерна прокладка застосовується в умовах, коли інші методи (наприклад, мостова або естакадна прокладка) є неможливими або економічно невигідними.

Дюкер складається з трубопроводу, який транспортує теплоносій, захисного кожуха, що забезпечує механічний захист і теплоізоляцію, антикорозійного покриття, яке захищає від агресивного впливу води, баластних вантажів, які утримують трубопровід на дні водойми, захисних опор або бетонних опорних плит, які можуть додатково фіксувати трубопровід.



Рисунок 1.3 -Дюкер



1-берегова камера; 2 - металева труба, 3- бетона нерухома опора, 4 - теплопроводи; 5- залізобетоні вантажі

Рисунок 1.4 - Підводна прокладка теплопроводу у дюкері.

Прокладка теплопроводу у дюкері – ефективне рішення для перетину водних перешкод, особливо в містах і промислових зонах. Вибір методу укладання залежить від глибини водойми, швидкості течії, типу ґрунту та бюджету проєкту. Сучасні технології (наприклад, горизонтально-направлене буріння) дозволяють зменшити екологічний вплив і забезпечити надійність експлуатації.

На даний час системи централізованого теплопостачання (ЦТ) потребують планомірного здійснення комплексу технічних і організаційних заходів. У їх числі: заміна теплопроводів із застосуванням ефективних теплоізоляційних матеріалів (рисунок 1.5, 1.6), реконструкція теплових пунктів з установкою в них автоматизованих теплообмінників, здійснення спільної роботи ТЕЦ і котельних на загальні теплові мережі, будівництво високоефективних ТЕЦ з парогазовим циклом, перетворення районних котельних в міні-ТЕЦ, впровадження прогресивних технологій спалювання твердого палива, застосування комп’ютерних технологій для управління системами й ін.

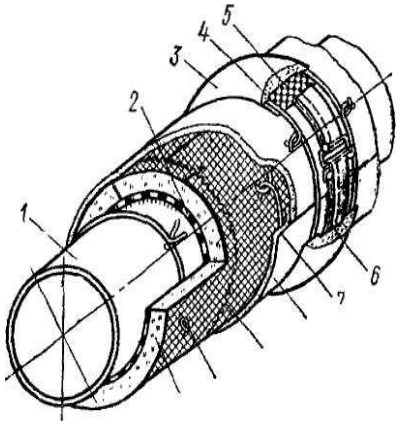


Рисунок 1.5 - Обертова ізоляція прошивними матами з волокнистих матеріалів у обкладці

1 - антикорозійне покриття; 2 - внутрішня обкладка металевої сітки; 3 - відділка стику; 4 - дротова скрутка; 5 - сітка; б - бандаж з пряжкою: 7 - скрутка дротова; 8 - покривний шар з азбестоцементних напівциліндрів; 9 - зшивка стиків обкладки обпаленим дротом; 10 - зовнішня обкладка металевої сітки; 11- мат

Враховуючи вказані переваги центрального теплопостачання та його нинішній стан, слід констатувати, що реформування систем із залученням необхідних інвестицій є насущною задачею.

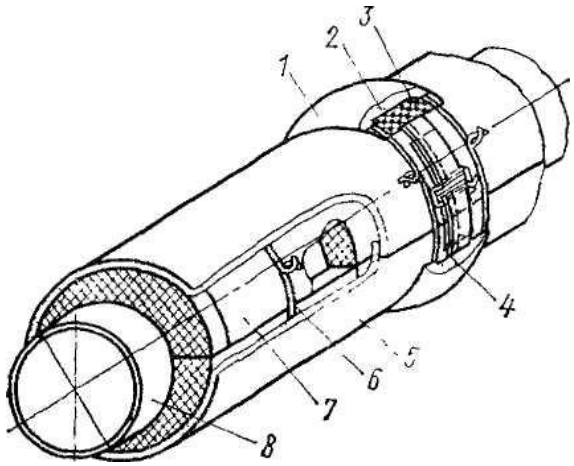


Рисунок 1.6 - Обертова ізоляція прошивними матами з волокнистих матеріалів без обкладки

1 – оздоблення стику; 2 - дротова скрутка; 3 - сітка; 4 - бандаж с пряжкою; 5 - покривний шар з азбестоцементних напівциліндрів; 6 - дротова скрутка; 7 - мат; 8 - антикорозійне покриття

Автономні системи, що оснащені сучасним когенераційним устаткуванням (ККД яких дорівнює 92-95%) більш економічні ніж централізовані системи опалення. Сучасні автономні автоматизовані когенераційні установки обслуговуються нечисленним персоналом, дозволяють здійснювати їх монтаж і пуск в експлуатацію в короткі строки. До того ж розміщення цього обладнання не потребує відведення спеціальних територій.

На думку іноземних фахівців когенерація для великих міст не повинна бути конкурентам великих ТЕЦ і районних котельних, а бути їх ефективним доповненням з доцільною часткою 10-15% від потенційного ринку теплової енергії.

Сьогодні в Україні когенерацію слід застосовувати переважно для окремих будівель при їх будівництві або при модернізації у наступних випадках:

- в районах щільної забудови, охоплених централізованим теплопостачанням, де через обмежену пропускну спроможність теплової мережі неможливе підключення до неї додаткових споживачів, а прокладка нових теплових мереж ускладнена;

- при віддаленні будівель від районів централізованого теплопостачання, для ізольованих споживачів;

- для малоповерхових будівель;

- для об'єктів і споживачів з підвищеними вимогами до надійності енергопостачання, які не можуть бути гарантовано забезпечені подачею енергії з централізованих мереж;

- для впровадження інноваційних технологій екологічно чистих і енергоефективних джерел енергії.

1.2 Недоліки і переваги централізованої системи теплопостачання

Основне призначення будь-якої системи теплопостачання складається в забезпеченні споживачів необхідною кількістю теплоти відповідної якості (тобто теплоносієм необхідних параметрів).

Залежно від розміщення джерела теплоти стосовно споживачів, системи теплопостачання розділяються на децентралізовані й централізовані.

У децентралізованих системах джерело теплоти й теплоприймачі споживачів або сполучені в одному агрегаті, або розміщені настільки близько, що передача теплоти від джерела до теплоприймачів може здійснюватися практично без проміжної ланки - теплової мережі.

Системи децентралізованого теплопостачання розділяються на індивідуальні й місцеві.

В індивідуальних системах теплопостачання кожного приміщення (ділянки цеху, кімнати, квартири) забезпечується від окремого джерела. До таких систем, зокрема, ставляться грубне й поквартирне опалення. У місцевих системах теплопостачання кожного будинку забезпечується від окремого джерела теплоти, звичайно від місцевої або індивідуальної котельні. До цієї системи, зокрема, ставиться так зване центральне опалення будинків.

У системах централізованого теплопостачання джерело теплоти й теплоприймачі споживачів розміщені роздільно, часто на значній відстані, тому теплота від джерела до споживачів передається по теплових мережах.

Залежно від ступеня централізації системи централізованого теплопостачання можна розділити на наступні чотири групи:

групове - теплопостачання від одного джерела групи будинків;

районне - теплопостачання від одного джерела декількох груп будинків (району);

міське - теплопостачання від одного джерела декількох районів;

міжміське - теплопостачання від одного джерела декількох міст.

Процес централізованого теплопостачання складається з трьох послідовних операцій:

1) підготовки теплоносія;

2)транспортування теплоносія;

3) використання теплоносія.

Підготовка теплоносія проводиться у спеціальних так званих теплопідготовчих установках на ТЕЦ, а також у міських, районних, групових (квартальних) або промислових котельнях.

Транспортується теплоносій по теплових мережах. Використовується теплоносій у теплоприймачах споживачів. Комплекс установок, що призначені для підготовки, транспортування й використання теплоносія,

становить систему централізованого теплопостачання. Для транспорту теплоти застосовуються, як правило, два теплоносії: вода й водяна пара.

Системи опалення варто вибирати, керуючись основними вимогами, пропонованими до проєктованого будинку, і техніко - економічними показниками різних варіантів систем, припустимих по санітарно - гігієнічних умовах.

Основні переваги систем централізованого водяного опалення:

- можливість підтримки помірної температури на поверхні нагрівальних приладів, що виключає пригоряння на них пилу;

- простота центрального регулювання теплопередачі нагрівальних приладів шляхом зміни температури води залежно від параметрів зовнішнього повітря;

- низька собівартість - дуже вигідна система опалення, якщо розподіляємо тепло з її допомогою, є однією із ступенів процесу виробництва (наприклад: у процесі охолодження теплоелектростанцій і т.д.);

- можливість безболісного для підприємства на якому тепло є побічним продуктом техпроцесу, планового й капітального ремонтів (тільки треба пам'ятати, про їхню необхідність).

- простота обслуговування.

Основні недоліки системи водяного централізованого опалення (якщо тепло не є побічним продуктом техпроцесу):

- морально застаріле обладнання з низьким ККД;

- територіально далеко розташовані споживачі тепла (втрати при транспортуванні теплоносія);

- дорожнеча й несвоєчасність поточного ремонту (своєчасна діагностика не можлива для підземних комунікацій);

- старість мережі подачі теплоносія (потребуюча поточного ремонту, буває, кілька разів за сезон у тому самому місці);

- безперспективність капітального ремонту теплотрас: вкладені кошти не окупляться при такій собівартості тепла й відповідно прибутку (якщо така взагалі буде), до того, як теплотраси прийдуть у такий же стан;

- великий гідростатичний тиск у нижній частині системи, обумовлений їхньою висотою (обмежує висоту системи);

- небезпека замерзання води в трубопроводі, прокладеному в неопалюваному приміщенні.

Основні переваги систем парового опалення:

- більш висока тепловіддача нагрівальних приладів;

- менша, чим у систем водяного опалення, витрата металу на труби й нагрівальні прилади;

- менша, чим у систем водяного опалення, небезпека замерзання;

Основні недоліки систем парового опалення:

- висока температура на поверхні труб і нагрівальних приладів, що викликає пригоряння пилу й створює антисанітарні умови у приміщенні;

- неможливість гнучкого центрального якісного регулювання тепловіддачі нагрівальних приладів, у зв'язку, з чим застосовується регулювання пропусками, тобто шляхом періодичного включення й вимикання системи;

- більш складна експлуатація й більш високі марні тепловтрати трубопроводами, що прокладаються в неопалюваних приміщеннях;

- значні теплові напруги й деформації системи;

- менший, чим для систем водяного опалення, строк експлуатації через підвищену корозію труб.

1.3 Децентралізація теплопостачання

Децентралізація теплопостачання (ДТ) – найбільш радикальний, ефективний і дешевий спосіб усунення багатьох недоліків.

Обґрунтування застосування ДТ у поєднанні з енергозберігаючими заходами при будівництві і реконструкції будівель дасть велику економію енергоресурсів. В нелегких умовах, що склалися в галузі, найефективнішим виходом є створення і розвиток системи ДТ за рахунок застосування автономних теплоджерел.

Індивідуальне теплопостачання будівель і споруд – це автономне забезпечення теплом і гарячою водою. Основними елементами таких автономних систем є когенератори.

В Україні випуск когенераційних установок здійснюється переважно через місцеве виробництво, а також імпорт та локалізацію іноземних технологій. Основні виробники та типи когенераційних установок, які можна знайти в Україні:

Вітчизняні виробники когенераційних установок це:

1. АТ "Турбоатом" (Харків). Виробляє парові турбіни для когенераційних установок, які використовуються на ТЕЦ (парові турбіни потужністю від 5 до 250 МВт).
2. ПАТ "Мотор Січ" (Запоріжжя). Виробляє газотурбінні установки для когенерації (газові турбіни потужністю від 2 до 25 МВт).
3. Завод "Енергія" (Львів). Спеціалізується на виробництві малих когенераційних установок для промислових підприємств (когенераційні модулі потужністю від 100 кВт до 5 МВт).
4. ТОВ "Енергетичні технології" (Київ). Виробляє когенераційні установки на базі двигунів внутрішнього згоряння (установки потужністю від 50 кВт до 2 МВт).

Аналіз виробництва українських виробників когенераційних установок за останні 5 років (2019–2023) показує, що цей сектор енергетики поступово розвивається, хоча й стикається з низкою викликів, таких як недостатнє фінансування, старіння інфраструктури та високі витрати на модернізацію.

В 2019–2020 рр. виробництво когенераційних установок було обмеженим через недостатній попит та відсутність державної підтримки.

Основні виробники ("Турбоатом", "Мотор Січ") зосереджувалися на виконанні існуючих контрактів. Українські компанії конкурують з брендами, такими як Caterpillar, GE Jenbacher, MAN Energy Solutions.

В 2021–2023рр. відмічалося зростання інтересу до когенерації через підвищення тарифів на енергоносії та необхідність енергоефективності. Виробництво поступово збільшувалося, особливо в сегменті малих та середніх установок.

Теплогенеруючі установки автономного теплопостачання (рис.1.7) мають більш широку номенклатуру, але всі вони мають загальні ознаки - малу теплову потужність, застосовуються локально, не розраховані на далеку передачу тепла.

Інфрачервоні (газові й електричні) обігрівачі. Принцип дії інфрачервоних обігрівачів - тепло, що виходить від нагрітого тіла у вигляді інфрачервоних променів транспортується на обігріваємі предмети, що, у нашому випадку стеля і стіни будинку, які, у свою чергу нагріваються й акумулюють тепло , і потім уже тепло віддається повітрю приміщення.



Рисунок 1.7 – Система автономного теплопостачання

Інфрачервоний спосіб опалення на сьогоднішній день визнаний в усьому світі як самий передовий і абсолютно нешкідливий для здоров'я, тому що відсутні всі недоліки конвективного опалення (до яких відносяться масляні радіатори, електроконвектори, батареї центрального опалення й т.д.). Інфрачервоні (газові й електричні) обігрівачі працюють у такий спосіб: перебуваючи на стелі, вони своїми променями гріють низ приміщення, і це дає рівномірний розподіл температури по всій висоті будинку. Абсолютно немає циркуляції повітря, а разом з ним і пилового потоку. І повітря не пересушується по тій же причині - немає протоку повітря через нагрівальні елементи.

При використанні інфрачервоного опалення з'являється відчуття тепла, як від сонячних променів, тобто навіть при низьких температурах людина може відчувати себе комфортно. Фактично нагрівання відбувається таким шляхом: від випромінювального приладу крізь повітря ідуть теплові промені, які обігрівають людей та усі предмети, що її оточують. У свою чергу - предмети (підлога, обладнання, меблі тощо...) віддають тепло навколишньому повітрю.

При використанні інфрачервоних випромінювачів (інфрачервоної системи опалення) тепле повітря практично не скупчується під стелею, у зв'язку з чим дані системи опалення є одними з найефективніших для приміщень з високими стелями (опалення складських приміщень, системи опалення виробничих цехів, тощо.)

На сьогоднішній день виготовляються інфрачервоні панелі з різними джерелами енергії, такими як: газові інфрачервоні панелі, електричні інфрачервоні панелі, водяні інфрачервоні панелі, тощо. Також інфрачервоні панелі можуть мати різну температуру поверхні та довжину хвилі, що вони випромінюють.

Газові котли, твердопаливні котли (є котли, здатні працювати із двома, трьома й більше видами палива - універсальні). Останнім часом на ринку

з'явилися твердопаливні котли, що працюють на деревних паливних гранулах – пеллетах (рис.1.8).



Рисунок 1.8 –Пелетний котел

Для їхнього виготовлення деревні стружки й ошурки пресують у невеликі циліндри. Оскільки клей при цьому не додають, паливо виходить чисте - при згорянні пелетів, вуглекислого газу виділяється не більше, ніж при згорянні природного газу. А буре вугілля й солярку по екологічності з паливними гранулами можна взагалі не порівнювати. І, що саме головне, таке паливо цілком придатне для подачі без участі людини. На паливних гранулах уже працює кілька мільйонів котлів і печей у Європі. Початкові витрати на придбання твердопаливного котла в 2...3 рази вище, ніж рідкопаливного, але через відносну дешевину пелетів через 5...10 років експлуатації різниця окупається, і далі йде чиста економія).

Ефективне використання енергії набуває сьогодні все більшого значення: споживач зацікавлений заощадити свій бюджет і подбати про навколишнє середовище, не відмовляючись при цьому від комфорту . У

прийнятті рішення про інвестиції все більше зростає роль енергоефективних систем опалення. У європейських країнах попит зростає, насамперед, на системи опалення, які ефективно використовують поновлювані джерела енергії. Така тенденція спостерігається і на Україні. На сьогоднішній день однією з найефективніших систем опалення та теплопостачання, безумовно, визнаються теплові насоси.

Тепловий насос в системі опалення працює за таким же принципом, що і холодильник, який відбирає тепло зсередини охолоджуваної камери і виводить його назовні. Це відбувається завдяки холодильному агенту, що циркулює в системі холодильника. При переході холодоагенту з рідкого в газоподібний стан потрібна енергія, яка в даному випадку відбирається з холодильної камери, тобто охолодження відбувається за рахунок випаровування. У випадку з тепловим насосом, в якості холодильної камери виступає навколишнє середовище. Таким чином, за допомогою теплового насоса, ми нагріваємо воду для системи опалення за рахунок охолодження навколишнього середовища (під терміном охолодження мається на увазі відбір тепла, так як реально, температуру навколишнього середовища тепловий насос не знизить).

В якості джерела енергії сучасні теплові насоси для систем опалення та охолодження використовують грунт, грунтові води або повітря. Вони невибагливі й універсальні завдяки можливості роботи від будь-яких джерел енергії - від центральної електромережі до сонячних батарей, розташованих на даху будинку. Цілком і повністю безпечний для екосистеми джерело енергії виявляється до того ж зручним для людини - він дає можливість відмовитися від газового котла опалення, колонки для нагрівання води, системи кондиціювання повітря й інших окремих систем. Комплексна система керування мікрокліматом у приміщенні на базі теплового насоса може вирішити всі ці завдання. Однак варто пам'ятати, що теплообмінник теплового насоса повинен розташовуватися в середовищі з постійною температурою: на дні ріки, наприклад, або в ґрунті нижче рівня промерзання.

Схема роботи теплового насоса представлено на рисунку 1.9.

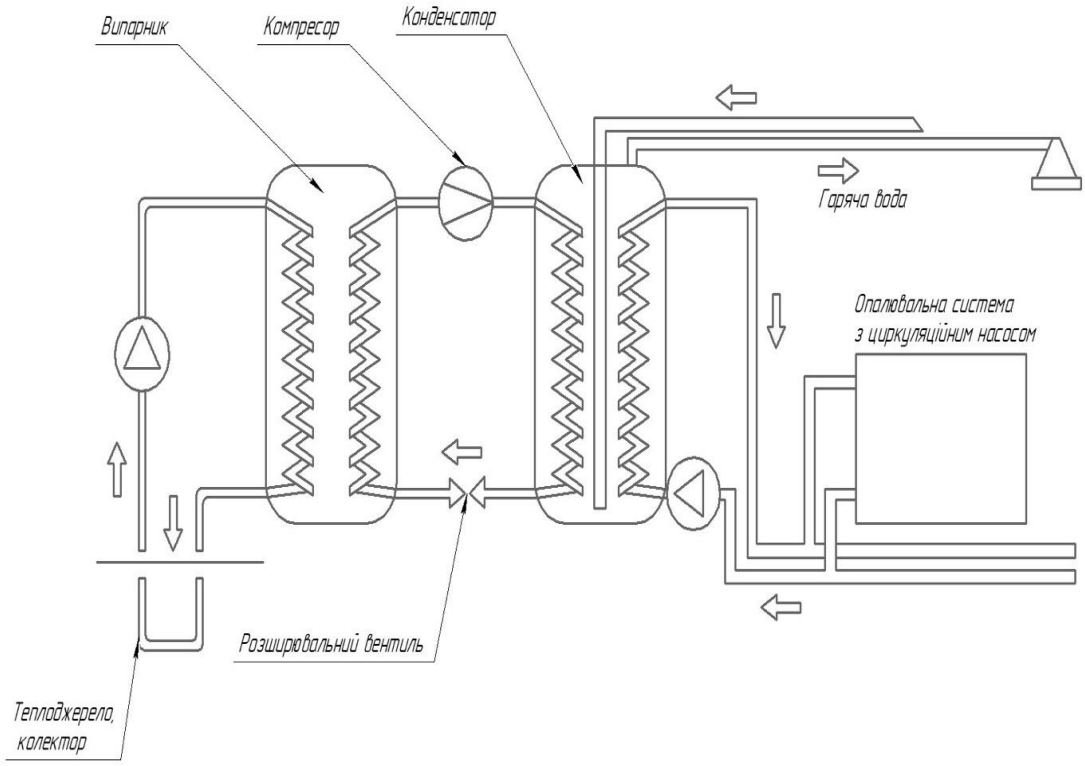


Рисунок 1.9 - Схема роботи теплового насоса

Основна проблема при використанні теплового насоса полягає в тому, що «якість» одержуваного тепла не завжди задовольняє потреби в опаленні - температура теплоносія при його використанні не досягає необхідних 50...60 ^{0}C.

На сьогодні розроблені і серійно випускаються модульні когенераційні установки (рис.1.9), які призначені для організації автономного ДТ. Блочно-модульний принцип побудови забезпечує можливість простої побудови когенераційної установки необхідної потужності. Відсутність необхідності прокладки теплотрас і будівництва будівель когенерації знижують вартість комунікацій і дозволяють суттєво підвищити темпи нового будівництва. Окрім цього, це дає можливість використовувати установки для оперативного маневрування та забезпечення теплопостачання в умовах аварійних та надзвичайних ситуацій в період опалювального сезону.

Блочно-модульні когенераційні установки являють собою повністю функціонально завершені вироби, які оснащені всіма необхідними приборами автоматики і безпеки.



Рисунок 1.9 – Блочно-модульна когенераційна утановка

Рівень автоматизації забезпечує безперебійну роботу всього устаткування без постійної присутності оператора.

Автоматика відслідковує потребу об’єкту в теплі в залежності від погодних умов і самостійно регулює роботу всіх систем для забезпечення заданих режимів. Цим досягається більш якісне дотримання теплового графіку і додаткова економія палива. У випадку появи нештатних ситуацій, витоків газу, система безпеки автоматично припиняє подачу газу і попереджає можливість аварій.

Багато підприємств, зорієнтувавшись до сьогоденних умов і підрахувавши економічну вигоду, відходять від централізованого теплопостачання.

Якщо брати до уваги недолік автономного опалення від невеликих котелень і відносно невисоких димовідвідних труб і в зв’язку з цим порушення екології, то значне зменшення споживання газу навпаки в 2 і більше разів зменшує викиди.

Впровадження програм децентралізації джерел тепла дозволяє в два і більше разів скоротити потребу в природному газі і в декілька разів знизити витрати на теплопостачання кінцевих споживачів.

Принципи енергозбереження, закладені в чинній системі теплопостачання, стимулюють появу нових технологій і підходів, здатних вирішити цю проблему в повному обсязі, а економічна ефективність ДТ робить цю сферу привабливою для інвестицій.

1.4. Технологічний розвиток когенераційних установок

Війна суттєво вплинула на енергетичний сектор України, особливо через масовані атаки на критичну інфраструктуру. Через удари по теплових та гідроелектростанціях втрачено близько 9 ГВт потужностей, а загальні збитки галузі, за оцінками МВФ, перевищують $56,5 млрд. В умовах постійної загрози нових атак відновлення централізованих станцій є складним, що робить децентралізовані джерела енергії, зокрема когенераційні установки, важливим елементом забезпечення стабільності енергопостачання.

Основним викликом для української енергосистеми є її централізованість. Атаки на великі електростанції призводять до масових відключень та дефіциту електроенергії, як це спостерігалося минулої зими. Обмежені можливості імпорту електрики ще більше ускладнюють ситуацію.

Когенераційні установки (КГУ), розташовані поблизу кінцевих споживачів, можуть значно підвищити стійкість системи. Вони мінімізують втрати при передачі енергії, працюють із високим ККД (до 90%) та

забезпечують одночасне виробництво електроенергії та тепла, що є особливо актуальним для зимового періоду.

Когенерація дозволяє ефективно використовувати паливо, виробляючи одночасно електроенергію та тепло. Газопоршневі або газотурбінні двигуни обертають генератор, а відпрацьоване тепло спрямовується на опалення або технологічні процеси. Це дає змогу суттєво скоротити споживання енергоресурсів та витрати на них.

Когенерація активно використовується в Німеччині, Данії та інших країнах як частина стратегії скорочення викидів CO_2 та підвищення енергоефективності. У багатьох європейських містах когенераційні установки інтегровані з відновлюваними джерелами енергії.

Когенераційні системи широко використовуються в промисловості США. Уряд підтримує їх розвиток через податкові пільги та субсидії, стимулюючи інвестиції в ефективні енергетичні рішення.

Сучасні КГУ дозволяють значно підвищити ефективність використання палива. У традиційних електростанціях ККД становить лише 30–50%, тоді як когенерація досягає понад 80%, що зменшує витрати та викиди CO_2 [10].

Висока гнучкість когенераційних станцій робить їх особливо важливими для оперативного реагування на кризові ситуації. Їх запуск займає всього 2–7 хвилин, що дозволяє швидко реагувати на перебої в постачанні електроенергії.

Інвестиції в когенерацію допоможуть Україні зміцнити енергетичну безпеку, знизити залежність від централізованих електростанцій і створити більш стійку енергетичну систему. Завдяки зменшенню втрат при передачі енергії та високій ефективності використання палива когенераційні установки можуть стати одним із ключових елементів енергетичної стратегії країни в умовах війни та післявоєнного відновлення.

Когенераційні установки є предметом численних наукових досліджень, присвячених їх розробці, оптимізації та впровадженню в енергетичні системи. Зокрема, в Національному технічному університеті України "КПІ ім. Ігоря Сікорського" було виконано науково-дослідну роботу, спрямовану на

розробку та вдосконалення методологічного, математичного, алгоритмічного та програмного забезпечення для обґрунтування структури, параметрів і режимів роботи нових та вдосконалених рішень у системах теплозабезпечення населених пунктів з використанням когенераційних установок [12].

Також досліджено ефективність використання когенераційних установок у системах енергопостачання промислових та комунально-побутових споживачів. Зокрема, розглянуто можливість застосування когенераційних установок малої потужності з використанням додаткових альтернативних джерел енергії для ефективного комбінованого енергозабезпечення.

Крім того, вивчено роботу когенераційних установок на біопаливі та їх інтеграцію з теплонасосними системами для підвищення ефективності енергопостачання. Зокрема, запропоновано встановлення теплонасосної установки з приводом компресора від когенераційних поршневих або газотурбінних двигунів у водогрійній котельні з постійним тепловим навантаженням.

Ці дослідження сприяють розвитку та вдосконаленню когенераційних технологій, підвищенню їх ефективності та інтеграції в сучасні енергетичні системи.

Газопоршневі установки (ГПУ) набувають все більшого поширення в Україні, особливо в контексті підвищення енергоефективності та забезпечення енергетичної безпеки. За оцінками директора Центру дослідження енергетики Олександра Харченка, країна потребує близько 3500 МВт потужностей газотурбінних та газопоршневих установок, що вимагає інвестицій до $3,5 млрд .

Уряд України також сприяє розвитку цієї технології. Зокрема, у травні 2024 року Кабінет Міністрів ухвалив постанову, яка спрощує процедуру розміщення газопоршневих та газотурбінних установок, а також пов'язаних з ними мереж.

Використання ГПУ дозволяє досягти ефективності до 90% при одночасному виробництві електроенергії та тепла, що значно перевищує показники традиційних теплових електростанцій [13].

Крім того, такі установки забезпечують швидкий запуск та гнучкість в експлуатації, що є критично важливим в умовах можливих енергетичних криз.

Таким чином, динаміка використання газопоршневих установок в Україні демонструє тенденцію до зростання, підкріплену як державними ініціативами, так і економічними та екологічними перевагами цієї технології.

Когенерація (або комбіноване виробництво тепла та електроенергії – Combined Heat and Power, CHP) і роздільне виробництво електрики та тепла мають суттєві відмінності за ефективністю, впливом на довкілля та економічними аспектами [14,15].

Когенераційні установки використовують до 90% енергії палива, тоді як при роздільному виробництві частина тепла просто втрачається. Економне використання палива знижує викиди парникових газів, що є важливим для екології, також менше витрат на енергоресурси завдяки ефективному використанню тепла. Децентралізовані когенераційні установки дозволяють виробляти енергію та тепло там, де вони потрібні, зменшуючи втрати при транспортуванні [16].

Однак, у когенераційних установках висока початкова вартість установки і її установка економічно доцільна лише там, де є стабільна потреба і в електроенергії, і в теплі, деякі види когенераційних установок залежать від певного типу палива (наприклад, газових турбін).

Види когенераційних установок.

За типом двигуна КУ розподіляються на: газопоршневі, газотурбінні, паротурбінні КУ, мікротурбіни, органічні цикли Ренкіна (ORC – Organic Rankine Cycle).

Газопоршнева установка (рис.1.10) – це когенераційний агрегат, що працює на газовому двигуні внутрішнього згоряння. Вона одночасно виробляє електроенергію та тепло, використовуючи паливо максимально ефективно.



Рисунок 1.10 - Газопоршнева когенераційна установка

Газопоршнева когенераційна установка складається з газового двигуна, який працює на природному газі, біогазі або синтез-газі, генератора, який виробляє електроенергію, системи охолодження, яка відбирає тепло від двигуна для подальшого використання, теплообмінника, який забезпечує передачу тепла до системи опалення або гарячого водопостачання і системи управління, яка контролює параметри роботи.

Газ спалюється в двигуні, обертаючи колінвал, що приводить у рух електрогенератор. Відпрацьоване тепло двигуна не втрачається, а використовується для опалення або промислових потреб.

Газопоршневі КУ мають ККД: до 90% (електрика – 35–45%, тепло – 40–50%), потужність: від 100 кВт до 10+ МВт, термін служби: 60 000–80 000 мотогодин (≈10 років роботи), вони екологічніші за традиційні ТЕЦ, можуть працювати в ізольованих системах, але мають високу вартість початкової інвестиції та потребують регулярного технічного обслуговування.

Газотурбінна когенераційна установка (ГТУ) – це енергетична система, що виробляє електроенергію та тепло за допомогою газової турбіни. Вона є ефективним рішенням для великих промислових об'єктів, ТЕЦ і комерційних підприємств.

Газотурбінна когенераційна (рис.1.11) установка складається з газової турбіни, яка перетворює енергію палива в механічну енергію, компресора, що стискає повітря перед подачею в камеру згоряння, в якій спалюється паливо (природний газ або дизель), нагріваючи стиснене повітря, з генератора, який виробляє електроенергію, теплообмінника (утилізатор тепла), який збирає залишкове тепло для подальшого використання (наприклад, для опалення або технологічних процесів) та системи управління, яка контролює роботу установки.

Принцип роботи ГТУ: повітря стискається в компресорі, у камері згоряння відбувається спалювання газу, нагріте повітря розширюється й рухає турбіну. Турбіна приводить у рух генератор, що виробляє електроенергію. Відпрацьовані гази передають тепло через теплообмінник, яке можна використовувати для опалення або технологічних процесів.

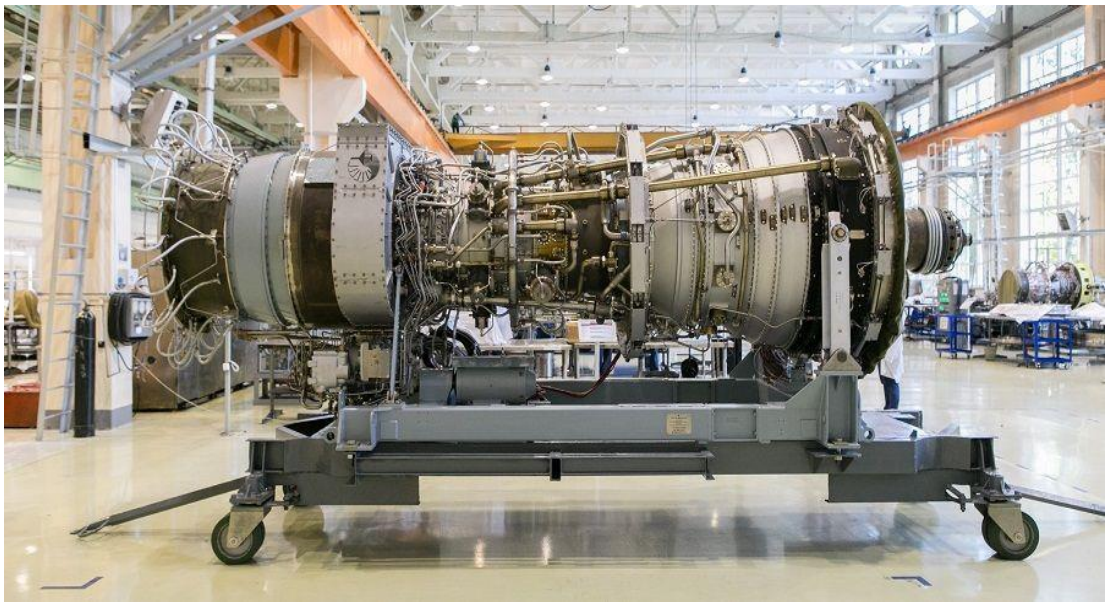


Рисунок 1.11 Газотурбінна когенераційна установка

ГТУ мають ККД : до 80% (електрика – 30–40%, тепло – 40–50%), потужність: від 500 кВт до 100+ МВт, паливо: природний газ, рідке паливо (дизель), біогаз, термін служби: 100 000+ мотогодин. Але вони вимагають високі вимоги до якості палива і мають меншу ефективність на малих потужностях.

Паротурбінна когенераційна установка (рис.1.12) – це система, що використовує парову турбіну для виробництва електроенергії та тепла. Вона зазвичай працює на великих ТЕЦ, промислових підприємствах і в теплоелектростанціях, що використовують вугілля, біомасу або промислові відходи.



Рисунок 1.12 Паротурбінна когенераційна установка

Паротурбінна когенераційна установка складається з таких основних елементів:

1. Котел (парогенератор) – нагріває воду, утворюючи високотемпературний пар.
2. Парова турбіна – приводиться в рух паром, що надходить під високим тиском.

3. Генератор – перетворює механічну енергію обертання турбіни в електроенергію.

4. Конденсатор – охолоджує відпрацьований пар, перетворюючи його на воду для повторного використання.

5. Система теплоутилізації – відбирає частину тепла для опалення або промислових процесів.

6. Система управління – регулює роботу всіх компонентів.

В паротурбінній КУ паливо (вугілля, біомаса, газ, сміття) спалюється в котлі, вода в котлі перетворюється на пару високого тиску, гарячий пар обертає парову турбіну, яка з'єднана з електрогенератором, відпрацьований пар частково використовується для опалення або промислових процесів, решта повертається в конденсатор і цикл повторюється.

Паротурбінні установки мають ККД: до 85% (електрика – 30–40%, тепло – 40–50%), потужність від 1 МВт до 500+ МВт, термін служби: понад 25 років.

Паротурбінні установки працюють за перевіреною технологією, що працює десятиліттями, вони ефективні для великих електростанцій, підходять для металургії, нафтохімії, целюлозно-паперової галузі, але потребують великої площі для розміщення та мають довгий час запуску (нагрівання котла займає години).

Мікротурбіна – це малопотужна газотурбінна установка, яка виробляє електроенергію та тепло одночасно. Завдяки компактним розмірам і високій ефективності мікротурбіни широко використовуються для автономного енергозабезпечення офісів, житлових будівель, лікарень та малих підприємств.

Мікротурбінна установка складається з таких основних компонентів:

1. Компресор – стискає повітря перед подачею в камеру згоряння.

2. Камера згоряння – спалює паливо (природний газ, біогаз, дизель), нагріваючи стиснене повітря.

3. Мікротурбіна – перетворює енергію гарячого повітря в механічний рух.

4. Генератор – виробляє електроенергію.

5. Теплообмінник – відбирає частину тепла для системи опалення або гарячого водопостачання.

6. Система управління – контролює роботу установки.

В мікротурбінній установці повітря стискається компресором і подається в камеру згоряння, паливо змішується з повітрям і згорає, утворюючи гарячий газ, який розширюється і рухає мікротурбіну, яка обертає електрогенератор. Відпрацьовані гази передають тепло через теплообмінник для використання в опаленні або промислових процесах.

Мікротурбінні установки мають ККД: до 85% (електрика – 25–35%, тепло – 50–60%), потужність: від 25 кВт до 500 кВт, термін служби: 40 000–80 000 мотогодин.

Мікротурбінні установки займають мало місця, легко монтуються, екологічніші за дизельні генератори, можуть працювати незалежно від мережі, мають мінімум рухомих частин, менше потребують обслуговування,можуть працювати на біогазі, але вони мають нижчу ефективність у порівнянні з більшими когенераційними установками вимагаютьє стабільної якості палива.

Органічні цикли Ренкіна (ORC – Organic Rankine Cycle) працюють за принципом класичного парового циклу Ренкіна, але з використанням органічних робочих рідин замість води. Це дозволяє ефективно використовувати низькотемпературні джерела тепла, такі як біомаса, геотермальна енергія, відпрацьоване тепло промислових процесів і навіть сонячна енергія.

ORC-установка складається з таких основних компонентів:

1. Теплообмінник (випарник) – передає тепло від джерела енергії до робочої рідини.

2. Робоча рідина – органічний теплоносій (силіконові олії, фреони, толуол), що випаровується при низьких температурах.

3. Турбіна – перетворює енергію пари в механічну енергію, обертаючи генератор.

4. Генератор – виробляє електроенергію.

5. Конденсатор – охолоджує відпрацьовану пару, перетворюючи її знову в рідину.

6. Насос – перекачує рідину назад у теплообмінник, і цикл повторюється.

В ORC-установці тепло передається органічній рідині в теплообміннику, і вона випаровується, пари рідини обертають турбіну, яка приводить у рух генератор, а відпрацьований пар конденсується та знову використовується в циклі.

Органічні цикли Ренкіна (рис.1.13) мають ККД: 10–25% (електрика) + до 70% (корисне тепло), потужність: від 50 кВт до 10+ МВт, термін служби: понад 20 років.



Рисунок 1.13 - Органічний цикл Ренкіна

Вони ефективні для відновлюваної енергетики та утилізації відпрацьованого тепла, працюють без води та пари, що зменшує корозію та знос обладнання, знижують викиди CO_2, оскільки можуть працювати на вторинному теплі та не потребують постійного обслуговування, але мають нижчий ККД порівняно з традиційними паротурбінними установками та потребують спеціальних вимог до охолодження та теплообмінників.

Отже, когенераційні установки можна адаптувати під різні потреби – від невеликих будівель до великих електростанцій. Вибір типу залежить від доступного палива, потужності та специфіки об'єкта.

За видом палива КУ також класифікують за видом палива:

- природний газ – найпоширеніший варіант, висока ефективність, низькі викиди, біогаз – екологічний варіант для сільськогосподарських підприємств, очисних споруд, вугілля – використовується на великих ТЕЦ, але має високі викиди CO_2, біомаса – деревина, відходи сільського господарства, паливні гранули, сміття та промислові відходи – когенерація на сміттєспалювальних заводах.

За останні роки спостерігається тенденція до збільшення використання альтернативних видів палива в газопоршневих установках. Зокрема, зростає інтерес до біогазу та синтетичного газу, що пов'язано з екологічними вимогами та прагненням до енергетичної незалежності.

В Україні впровадження ГПУ на біогазі активно підтримується в аграрному секторі, де є значний потенціал для виробництва біогазу з відходів сільського господарства. Це сприяє не лише підвищенню енергоефективності, але й вирішенню проблем утилізації відходів.

Використання природного газу залишається домінуючим, проте зростаючий інтерес до відновлюваних джерел енергії та екологічних стандартів стимулює перехід на альтернативні види палива.

Загалом, динаміка використання газопоршневих установок демонструє поступовий перехід від традиційних до більш екологічних та відновлюваних видів палива, що відповідає глобальним тенденціям у сфері енергетики.

За масштабом використання КУ класифікують на :

- малі когенераційні установки (до 1 МВт) – для житлових комплексів, офісів, лікарень;

- середні (1–10 МВт) – для заводів, тепличних господарств, лікарень;

- великі (від 10 МВт) – для ТЕЦ, промислових підприємств, міст.

Впровадження КУ різних розмірів має свої особливості:

Малі КУ зазвичай використовуються для забезпечення енергією окремих будівель або невеликих підприємств. Їхня перевага полягає у швидкому монтажі та можливості встановлення без значних капіталовкладень.

Середні КУ застосовуються в житлово-комунальному господарстві та на середніх підприємствах. Вони забезпечують енергією більші об'єкти та можуть бути інтегровані в існуючі системи теплопостачання.

Великі КУ призначені для промислових підприємств та великих об'єктів інфраструктури. Їхнє впровадження потребує значних інвестицій та ретельного планування, але вони забезпечують високу ефективність та значну економію енергоресурсів.

Загалом, тенденція впровадження когенераційних установок в Україні свідчить про зростання інтересу до малих та середніх КУ, особливо в контексті підвищення енергоефективності та забезпечення енергетичної незалежності на місцевому рівні.

2 ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК

2.1 Характеристика технологічного процесу локомотиво -вагонного депо

Локомотиво-вагоне депо виконує ремонт та обслуговування тепловозів та вагонів. Безвідмовна робота тепловозів залежить від своєчасного проведення робіт з технічного обслуговування й поточного ремонту.

Технічне обслуговування й планово-попереджувальні ремонти є основними профілактичними заходами, що забезпечують нормальну експлуатацію тепловоза. Технічні обслуговування ТО-1, ТО-2 і ТО-3 являють собою мінімальний обсяг робіт, необхідний для підтримки працездатності й чистоти тепловоза, змащення тертьових частин, контролю над ходовими частинами, гальмовим обладнанням, сигналізацією й системами керування й т.д., що забезпечують безпеку руху поїздів і попереджуючих несправностей тепловоза в експлуатації. Поточні ремонти ПР-1, ПР-2, ПР-3 передбачають ревізії, заміни й відновлення окремих вузлів і деталей, випробування й регулювання, що гарантують працездатність тепловоза між відповідними видами ремонту. Середній ремонт полягає у відновленні експлуатаційних характеристик тепловоза шляхом заводського ремонту або заміни тільки ушкоджених або зношених частин. Крім того, при середньому ремонті обов'язково перевіряється технічний стан інших складових частин.

Капітальний ремонт передбачає відновлення повного або близького до повного ресурсу тепловоза до наступного капітального ремонту, для чого виконується повне розбирання й огляд всіх частин устаткування тепловоза, непридатні замінюють, а зношені відновлюють. Капітальний ремонт виконується спеціальними ремонтними підприємствами. Середній і капітальний ремонти роблять по спеціально розробленій технічній документації.

2.2 Аналіз загальновиробничих витрат енергоресурсів локомотиво-вагонного депо

Аналіз загальновиробничих витрат енергоресурсів депо складається з енергоносіїв, дані з яких наведені нижче.

1. Електропостачання депо отримує від підстанцій 6/0,4 – 630 кВА і 6/0,4 – 1000 кВА. На підстанції встановлені трансформатори ТМ 630/6 і ТМ 1000/6. Резервне живлення 0,4 кВ.

У таблиці 2.1 і на рисунку 2.1 наведена кількість електроенергії спожитої за 2022 рік.

Таблиця 2.1- Кількість електроенергії спожитої у депо за 2022 рік

Місяць	Витрати, кВт·год
1	109 300
2	106 500
3	105 100
1 квартал	320 900
4	97 100
5	88 300
6	85 200
2 квартал	270 600
7	85 500
8	87 800
9	90 100
3 квартал	263 400
10	97 000
11	102 800
12	110 500
4 квартал	310 300
Рік	1 165 200

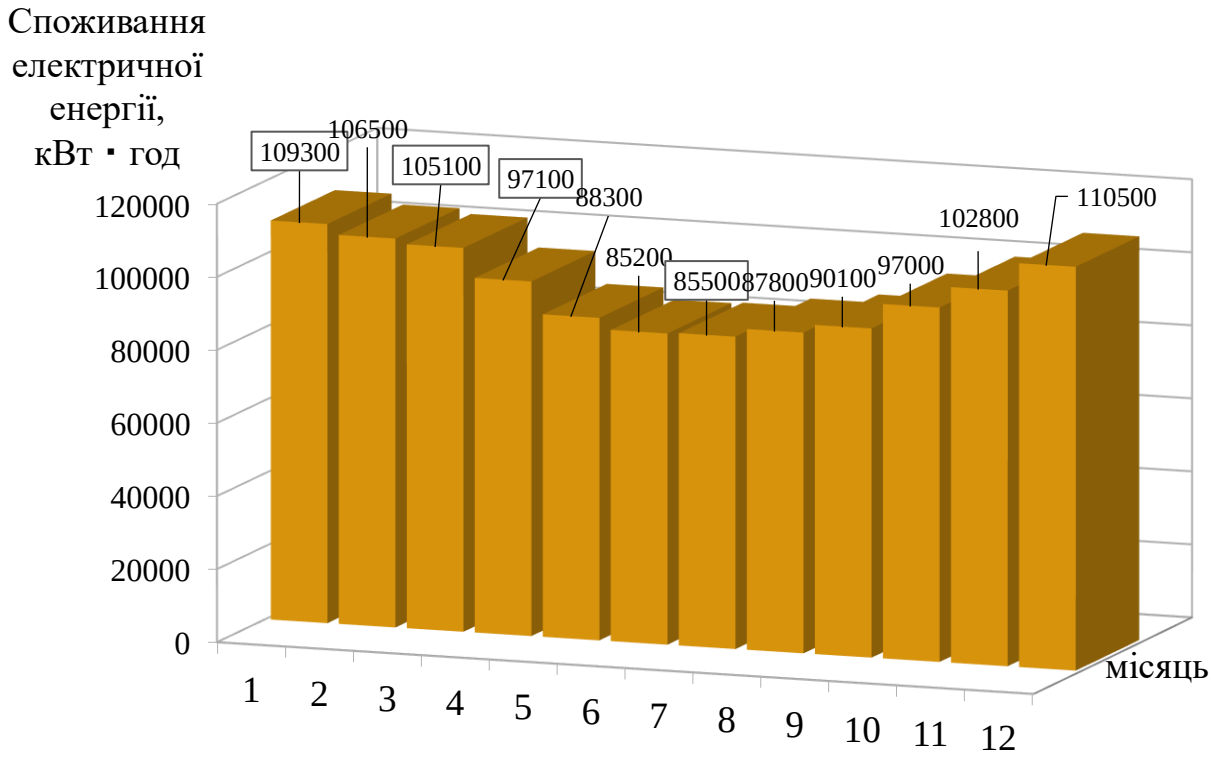


Рисунок 2.1 - Кількість електроенергії спожитої у депо за 2022 рік



Рисунок 2.2-Поквартальні сезонні споживання електричної енергії за 2022р.

З наведених даних у таблиці 2.1 та рисунку 2.1 видно, що споживання електроенергії має сезоний характер, у холодний період року споживання зростає.

Споживання гарячої води для опалення.

Подача гарячої води для опалення локомотиво-вагонного депо здійснюється від котельні. Гаряча вода для опалення надходить у депо по магістралі.

Температура вхідної води – 80 °С; діаметр трубопроводу – 300 мм.

Спосіб прокладки трубопроводу – підземний.

На рисунках 2.3, 2.4 і в таблиці 2.2 представлене споживання теплової енергії за опалювальний сезон 2021-2022 р.р.

Таблиця 2.2 - Споживання теплової енергії в опалювальному сезоні 2021-2022 року

Місяць	***кВт·год***
11	279 120
12	337 270
4 квартал 2007 року	**616 390**
1	327 966
2	308 195
3	255 860
1 квартал 2008 року	**892 021**
4	29 075
2 квартал 2008 року	**29 075**
Усього за сезон	**1 537 486**

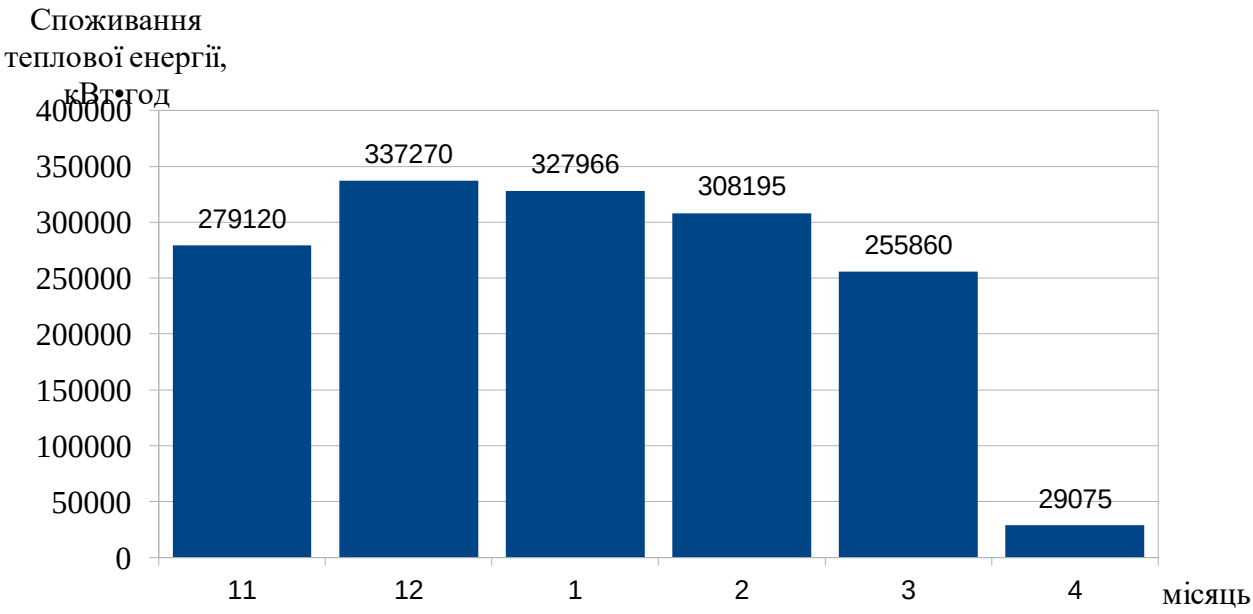


Рисунок 2.3 - Сезонні споживання теплової енергії за 2021-2022 рр.

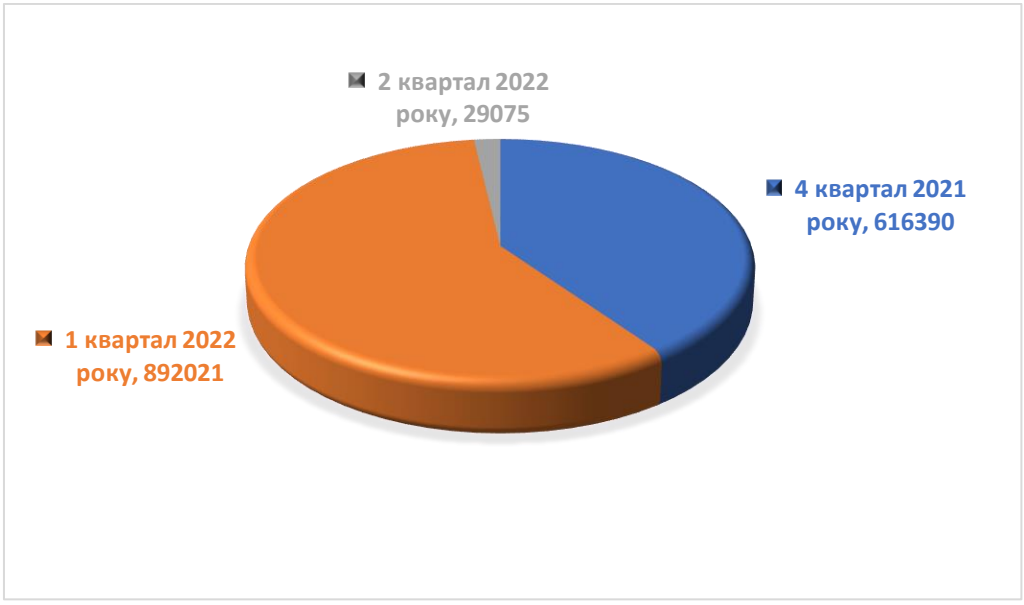


Рисунок 2.4 - Поквартальні сезонні споживання теплової енергії за 2021-2022 рр.

Середнє споживання теплової енергії для опалення:

- Опалювальний сезон 2020-2021 року становить у добу 20436 кВт·год теплової енергії й у годину 852 кВт·год теплової енергії.

- Опалювальний сезон 2021-2022 року становить у добу 10580 кВт·год теплової енергії й у годину 441 кВт·год теплової енергії.

Споживання природного газу.

Газопостачання підприємства здійснюється від заводських мереж через одне введення. Споживання газу постійне. Газ споживається у ковальській майстерні, відділенні гумовотехнічних виробів і для виробництва зварювальних робіт.

Споживання питної води.

Подача води здійснюється через одне введення трубою діаметром 100 мм. Відвід каналізаційних стоків здійснюється двома трубами 500 мм. Вода використовується у побутових цілях. Цеху ремонту рухливого складу виділяється ліміт у використанні води у розмірі 5 тисяч метрів кубічних, які й витрачаються протягом місяця.

Споживання стисненого повітря

Стиснене повітря надходить у цех по магістралі й використовується для виробничих потреб. Параметри використовуваного стисненого повітря наступні: тиск – 6 атм.; діаметр повітропроводу – 100 мм; спосіб прокладки повітропроводу – естакадний. Споживання стисненого повітря постійне.

Кисень надходить у цех по магістралі й використовується для зварювальних робіт. Діаметр трубопроводу - 50 мм; спосіб прокладки трубопроводу - естакадний. Споживання кисню постійне.

Частка кожного енергоресурсу наведена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Частка кожного енергоресурсу

Енергоносій	Відсотки
Електроенергія	34,5
Теплова енергія на опалення	44,9
Природний газ	4,6
Питна вода	16,0
Усього	100,0

З проведеного енергоаудиту видно, що частку основних параметрів в енергоспоживанні цеху - це електроенергія й опалення (рисунок 2.5).

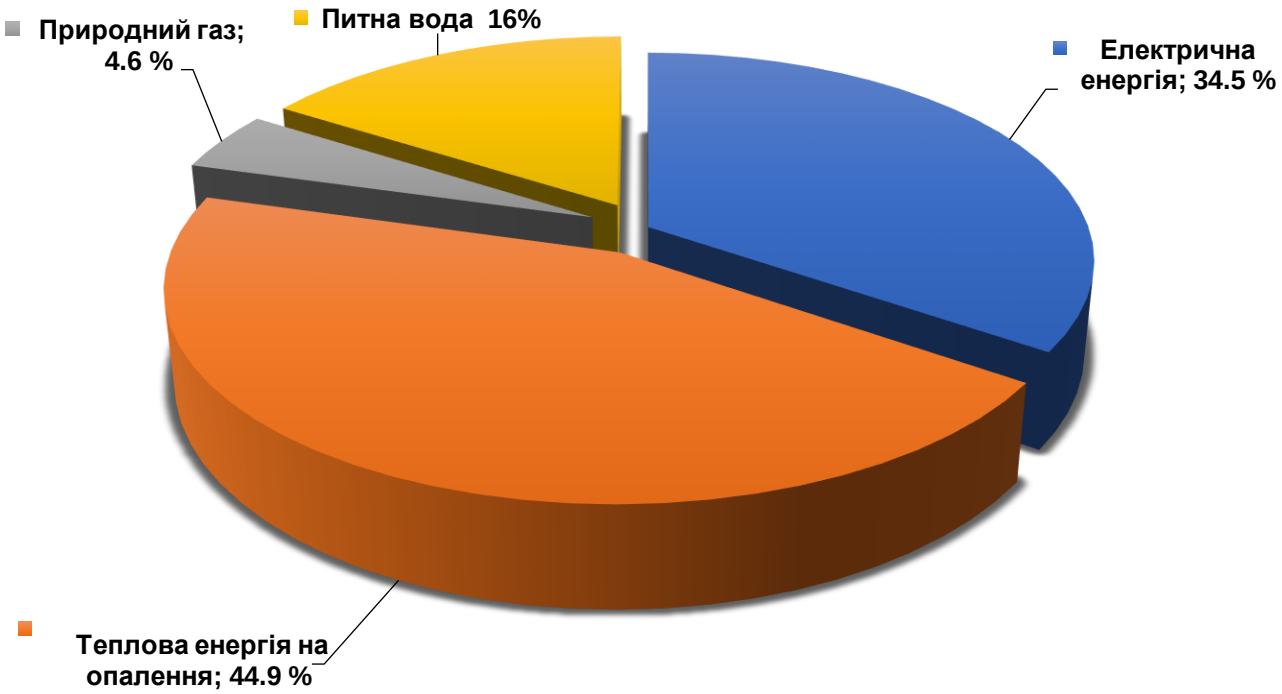


Рисунок 2. 5 - Частка спожитих енергоресурсів у 2022 році

У наслідок тенденції подорожчання енергоресурсів ухвалене рішення будівництва когенераційної установки для виробництва опалення та електричної енергії.

2.3 Технічне обґрунтування вибору когенераційних установок

Досліджуване виробниче приміщення перебуває у місті – Запоріжжя. Орієнтація головного фасаду по сторонах світла – Північ.

Приймаємо, що переважаючий напрямок вітру направлений на головний фасад будинку. Швидкість вітру U=5,4 м/с.

Температура зовнішнього повітря для розрахунку систем опалення приймається рівній температурі найбільш холодним п'яти добам $t^{p}_{но}$=-22°С.

Температура повітря в приміщенні приймається по нормах, залежно від розрахункової температури зовнішнього повітря $t_в$=20°С.

Середня температура опалювального періоду $t_{оп}$=1,8°С.

Тривалість опалювального періоду Z=175 діб.

Обсяг приміщення депо $V_д$=39763 м^3.

Обсяг побутових приміщень $V_{пп}$=600,1 м^3.

Висота депо $h_д$ = 12м.

Висота побутових приміщень $h_{пп}$=3 м.

Теплотехнічні характеристики матеріалів конструкцій, що обгороджують, і умови їхньої експлуатації залежать від зони вологості в якій перебуває приміщення.

Зона вологості – *С.*

Умови експлуатації – *А.*

Теплотехнічні характеристики депо винесені в таблицю 2.4

Таблиця 2.4 Теплотехнічні характеристики зовнішніх огороджень

	Матеріал огороджуючих конструкцій	Щільність ρ, кг/м^3	Товщина δ, мм	Коефіцієнт теплопровідності λ, Вт/(Мк)
1	2	3	4	5
Зовнішні стіни				
1	Цегла селикатна	1800	395	0,755
2	Мінеральна плита	300	50	0,049
3	Штукатурка	7700	2	51,7
Підлога				
1	Бетон на щебні з природного камня	2400	20	1,74

Продовження таблиці 2.4

2	Цементо - піщаний розчин	1800	15	0,755
3	Основа з трамбованого щебеню	900	60	0,209
Горищне перекриття				
1	Єврорубероїд	600	1,5	0,174
2	Теплоізоляція з плити – кам'яної вати PAROC	150	80	0,038
3	Залізобетона плита	2500	160	1,92

1. Зовнішні стіни.

Розрахуємо опір теплопередачі зовнішньої стіни, м^2 К/Вт:

$$R^{\phi}_{o}= \frac{1}{a_{â}}+\frac{\delta_1}{\lambda_1}+\frac{\delta_2}{\lambda_2}+\frac{\delta_3}{\lambda_3}+\frac{1}{a_{í}}, \qquad (2.1)$$

$$R^{\phi}_{o}= \frac{1}{8,7}+\frac{0,395}{0,755}+\frac{0,002}{51,7}+\frac{0,05}{0,049}+\frac{1}{23}=1,701,$$

де $a_в$ – коефіцієнт теплосприйняття внутрішньої поверхні системи, $a_в$=8,7 Вт/м^{2}К;

$\delta_1;\delta_2;\delta_3$ - товщина шару, м;

$\lambda_1;\lambda_2;\lambda_3$ - коефіцієнт теплопровідності шару;

$a_н$ – коэфіцієнт тепловіддачі від зовнішньої стіни до оточуючого повітря, $a_н$=23 Вт/м^{2}К.

Ескіз зовнішньої стіни наведений на рисунку 2.6.

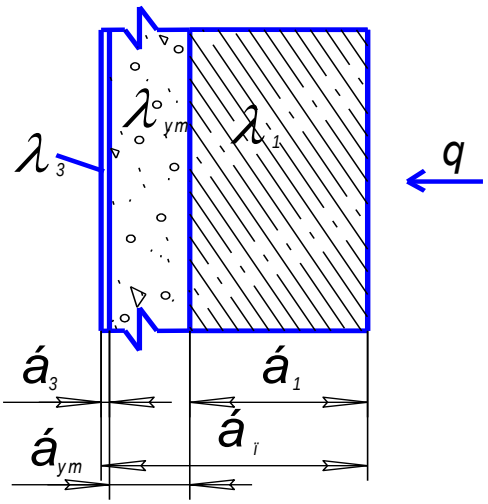


Рисунок 2.6 - Ескіз зовнішньої стіни

Коефіцієнт теплопередачі визначається як зворотня величина коефіцієнта термічного опору, Вт/м^{2}К:

$$K_{нс} = \frac{1}{R_{î}^{ô}}\ , \qquad (2.2)$$

$$K_{нс} = \frac{1}{1{,}701} = 0{,}59.$$

При розрахунку горищного перекриття користуємося тією же методикою, що й для зовнішніх стін, м^{2}К/Вт:

$$R_{î}^{ô} = \frac{1}{à_{â}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{à_{í}}\ , \qquad (2.3)$$

$$R_{î}^{ô} = \frac{1}{8{,}7} + \frac{0{,}0015}{0{,}174} + \frac{0{,}08}{0{,}038} + \frac{0{,}16}{1{,}92} + \frac{1}{11{,}6} = 2{,}39,$$

де $a_н$- коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні до навколишнього повітря, для горищних перекриттів, $a_н$=11,6 Вт/м^{2}К

Коефіцієнт теплопередачі визначається аналогічно, Вт/м^{2}К:

$$K_{нс} = \frac{1}{R_o^{ф}} \quad , \tag{2.4}$$

$$K_{нс} = \frac{1}{2,39} = 0,42.$$

2. Підлога

Термічний опір утепленої підлоги, розташованої безпосередньо на ґрунті визначаємо по формулі, м^{2}К/Вт:

$$R = R_0 + \sum \frac{\delta_{ут}}{\lambda_{ут}} \quad , \tag{2.5}$$

$$R = 2,1 + \frac{0,02}{1,74} + \frac{0,015}{0,755} + \frac{0,06}{0,209} = 2,42 ,$$

де R_o – опір теплопередачі для не утеплених підлог, розташованих на ґрунті, визначається по зонах шириною 2м:

I зона – 2,1м^2/КВт;

II зона – 4,3м^2/КВт;

III зона – 8,6м^2/КВт;

IV зона – 14,2м^2/КВт (для всієї площі ,що залишилась).

Коефіцієнт теплопередачі утепленої підлоги на грунті, Вт/м^{2}К:

$$K\,I = \frac{1}{2,42} = 0,413;$$

$$K\,II = 0,217;$$

$$K\,III = 0,112;$$

$$K\,IV = 0{,}069.$$

Ескіз підлоги наведений на рисунку 2.7.

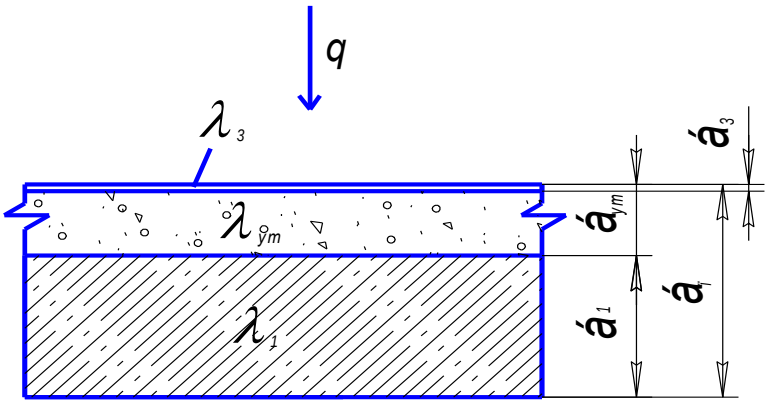


Рисунок 2.7 - Ескіз підлоги

3.Зовнішні вікна.

Так як для підрахунку втрат тепла через стіни поверхні охолодження вимірюють без відрахування площі вікон, то площа вікон ураховується двічі. Тому коефіцієнт *К* для вікон приймаємо як різницю його значень для вікон і стін:

$$K^{ф}_{ок} = K_{ок} - K_{нс}\,, \tag{2.6}$$

$$K^{ф}_{ок} = 3{,}5 - 0{,}59 = 2{,}91 \text{ Вт/м}^2\text{К}.$$

Аналогічно розраховуємо коефіцієнт для зовнішніх воріт і дверей.

$$K^{ф}_{в\,і\,д} = K_{в\,і\,д} - K_{нс}\,, \tag{2.7}$$

$$K^{ф}_{в\,і\,д} = 4{,}65 - 0{,}59 = 4{,}06\ Вт/м^2К.$$

Розрахунок теплових втрат приміщення депо

Основні теплові втрати конструкціями, що обгороджують, визначаються по формулі, Вт:

$$Q_{осн} = K\,F\,n\,(t_{ср} - t^{р}_{но})\,p, \qquad (2.8)$$

де F – площа огороджуючої конструкції, м^2;

p – множник додаткових тепловтрат у частках до основ $Q_{осн}$;

$$p = 1 + 0{,}01\,\eta, \qquad (2.9)$$

де η – відсоток додаткових тепловтрат (добавка на орієнтацію огороджень по сторонах світла (приймаємо для стін, дверей, вікон звернених на північ - 10%);

n – коефіцієнт, що показує відношення конструкції, що обгороджує, до зовнішнього повітря.

Теплові втрати зовнішніх стін, Вт:

$$Q_{осн\,с} = 0{,}59 \cdot 22907 \cdot 1 \cdot (21{,}6-(-22)) \cdot 1{,}001 = 589848{,}9.$$

Для теплотехнічного розрахунку виробничого приміщення теплові втрати стелі розраховуємо з урахуванням добавки на висоту, її вводять у приміщення висотою більше 4 м. Приймаємо підвищення температури повітря на 1м висоти (починаючи від робочої зони) 0,2 °С, як для приміщень із незначними тепловиділенями. У розрахунку тепловтрат через зовнішні стіни приймаємо середнє значення температури:

$$t_{ср} = \frac{t_{пр} + t_{вн.р.}}{2}\ , \qquad (2.10)$$

$$t_{ср} = \frac{22{,}2 + 20}{2} = 21{,}1\,^{\circ}\text{C},$$

де $t_{пр} = 0{,}2 \cdot 10{,}94 + 20 = 22{,}2°C$.

$$Q_{осн\,п} = 0{,}42 \cdot 3313 \cdot 0{,}9 \cdot (22{,}2-(-22)) = 55368{,}9\ \ Вт.$$

Витрата теплоти на нагрівання повітря, що надходить до приміщення.

У виробничих приміщеннях витрата тепла на нагрівання холодного повітря, що надходить через вікна, двері, ворота досягає до 30 - 40 % від основних тепловтрат. З огляду на більшу величину, при визначенні тепловтрат виробничих приміщень роблять спеціальні розрахунки витрат тепла на нагрівання холодного повітря, що надходить до приміщення.

1.Витрату зовнішнього повітря, що надходить до приміщення, *G* визначають з формули, кг/°С:

$$G = \sum a \cdot j \cdot L \quad , \tag{2.11}$$

$$G = 4 \cdot (3 \cdot 11{,}8 \cdot 3{,}04) + 4 \cdot (3 \cdot 11{,}8 \cdot 8{,}4) + (1 \cdot 11{,}8 \cdot 9{,}41) = 1730{,}942,$$

де *a* – поправочний коефіцієнт (для одинарних переплетів, дерев'яних а = 1; для воріт і дверей без тамбурів і шлюзів а = 3);

j – витрата повітря, що проникає в приміщення через 1м отвору, кг/год;

L – довжина вікон, що відкриваються, дверей і воріт, м.

2. Кількість тепла, необхідна для нагрівання масової витрати зовнішнього повітря, що має температуру $t_н$, до температури в робочій зоні приміщення $t_в$, дорівнює, Вт:

$$Q_{інф} = 0{,}278 \cdot G \cdot c \cdot (t_в - t_н) \quad , \tag{2.12}$$

$$Q_{інф} = 0{,}278 \cdot 1730{,}942 \cdot 1{,}005 \cdot (20 - (-22)) = 20311{,}53,$$

де *c* – питома теплоємність повітря, дорівнює 1,005 кДж/(кг·°С).

У промислових приміщеннях добавку на вирівнювання холодного повітря через ворота й двері, що не мають тамбура й шлюзу, якщо вони відкриті менш ніж 15 хвилин у 1 годину, приймають рівною 300 %.

Тепловиділення від технологічного устаткування

Робота механізмів супроводжується тепловиділеннями, які можуть бути визначені, якщо відома кількість витрачаємого на цю роботу механічної або електричної енергії. Ця енергія переходить у тепло від тертя частин механізмів, ударів, розщеплення або зміни форми й структури оброблюваних матеріалів.

У депо встановлені вальце-шліфувальний верстат (потужністю 4,3 кВт), точильно-шліфувальний верстат (потужністю 3 кВт), шліфувальний верстат (потужністю 4 кВт), токарський верстат (потужністю 4 кВт), один намотувальний верстат (потужністю 2 кВт).

Кількість тепла, що виділяється у приміщення від механічної енергії працюючого устаткування, Вт:

$$Q_a = \sum N_{уст} \cdot a \cdot \eta \,, \qquad (2.13)$$

$$Q_a = (4300+4000+3000+4000+2000) \cdot 0{,}25 \cdot 1 = 4325.$$

Розрахунок теплового навантаження приміщення депо

Розрахунок теплового навантаження приміщення депо виконуємо по формулі, кВт:

$$Q_{ТПд} = Q_{осн} + Q_{інф} - Q_a \,, \qquad (2.14)$$

де $Q_{осн}$ – основні втрати тепла (через конструкції, що обгороджують, і стеля) депо, кВт;

$Q_{інф}$ – витрата теплоти на нагрівання інфільтруючого зовнішнього повітря через конструкції, що обгороджують, приміщення, кВт;

Q_a – тепловиділення від устаткування, кВт.

Теплове навантаження депо, кВт:

$$Q_{ТПд} = (589{,}849+55{,}37) - 4{,}33 + 20{,}31 = 661{,}2.$$

Розрахунок теплових втрат побутового приміщення

Основні теплові втрати конструкціями, що обгороджують, визначаються по формулі, Вт:

$$Q_{осн} = K\,F\,n\,(t_{ср} - t^{р}_{но})\,p, \qquad (2.15)$$

де F – площа огороджуючої конструкції, м^2;

p – множник додаткових тепловтрат у частках до основ $Q_{осн}$;

$$p = 1 + 0{,}01\,\eta, \qquad (2.16)$$

де η – відсоток додаткових тепловтрат (добавка на орієнтацію огороджень по сторонах світла (для стін, дверей, вікон звернених на північ – 10 %);

n – коефіцієнт, що показує відношення конструкції, що обгороджує, до зовнішнього повітря.

Теплові втрати зовнішніх стін, Вт:

$$Q_{осн\,с} = 0{,}59 \cdot 700{,}7 \cdot 1 \cdot (21{,}6-(-22)) \cdot 1{,}001 = 18042{,}8.$$

Для теплотехнічного розрахунку побутового приміщення теплові втрати стелі. У розрахунку тепловтрат через зовнішні стіни приймаємо середнє значення температури:

$$t_{ср} = \frac{t_{пр} + t_{вн.р.}}{2}, \qquad (2.17)$$

$$t_{ср} = \frac{20 + 20}{2} = 20\,^{\circ}\mathrm{C},$$

де $t_{пр} = 20°C$,

$$Q_{осн\,п} = 0{,}42 \cdot 310{,}5 \cdot 0{,}9 \cdot (20-(-22)) = 5477{,}3 \ Вт.$$

Витрата теплоти на нагрівання повітря, що надходить до приміщення.

У побутових приміщеннях витрата тепла на нагрівання холодного повітря, що надходить через вікна, двері, досягає до 30 - 35 % від основних тепловтрат. З огляду на більшу величину, при визначенні тепловтрат побутових приміщень роблять спеціальні розрахунки витрат тепла на нагрівання холодного повітря, що надходить до приміщення.

1.Витрата зовнішнього повітря, що надходить до приміщення, *G* визначають з формули, кг/°С:

$$G = \sum a \cdot j \cdot L \quad , \tag{2.18}$$

$$G = 4 \cdot (3 \cdot 11{,}8 \cdot 3{,}04) + 4 \cdot (3 \cdot 11{,}8 \cdot 8{,}4) + (1 \cdot 11{,}8 \cdot 9{,}41) = 1730{,}942,$$

де *a* – поправочний коефіцієнт (для дерев'яних дверей а = 1; для дверей без тамбурів і шлюзів а = 3);

j – витрата повітря, що проникає в приміщення через 1м отвору, кг/год;

L – довжина вікон, що відкриваються, дверей, м.

2. Кількість тепла, яке необхідне для нагрівання масової витрати зовнішнього повітря, що має температуру $t_н$, до температури в робочій зоні приміщення $t_в$, дорівнює, Вт:

$$Q_{інф} = 0{,}278 \cdot G \cdot c \cdot (t_в - t_н) \quad , \tag{2.19}$$

$$Q_{інф} = 0{,}278 \cdot 1730{,}942 \cdot 1{,}005 \cdot (20 - (-22)) = 20311{,}53,$$

де *c* – питома теплоємність повітря, дорівнює 1,005 кДж/(кг·°С).

Розрахунок теплового навантаження побутового приміщення депо

Розрахунок теплового навантаження приміщення депо виконуємо по формулі, кВт:

$$Q_{ТПп} = Q_{осн} + Q_{інф} \tag{2.20}$$

де $Q_{осн}$ – основні втрат тепла (через конструкції, що обгороджують, і стеля) депо, кВт;

$Q_{інф}$ – витрата теплоти на нагрівання інфільтруючого зовнішнього повітря через конструкції, що обгороджують, приміщення, кВт;

Теплове навантаження побутового приміщення, кВт:

$$Q_{ТПп}=(18,043+5,477)+20,31=43,83$$

Теплове навантаження цеху, кВт:

$$Q_{ТП} = Q_{ТПд} + Q_{ТПп}, \quad (2.21)$$

$$Q_{ТП} = 661,2+43,83=705,3.$$

Кількість працюючих в цеху прийнята на основі даних табельного обліку. В цеху установлені прибори обліку гарячої води.

В таблиці 2.5 наведені норми витрати води споживачами.

Таблицая 2.5 - Норма витрати води споживачами

Водоспожива чі	Вимір ювач	Норми витрати води, л				Норми витрати води, л		Витрата води пристроєм, л/с (л/ч)	
		в середню добу		в добу найбільшого водоспоживання		в годину найбільшого водоспоживання			
		Загальна (в тому числі гаряча)	гаряча	Загальна (в тому числі гаряча)	гаряча	Загальна (в тому числі гаряча)	гаряча	Загаль-на (холод-на та гаряча)	Холод-на або гаряча
Душові в побутових приміщеннях промислових підприємств	1 душе-ва сітка в зміну			500	270	500	270	0,2 (500)	0,14 (270)

Вибір установленої потужності когенераційної установки

Найбільше електричне та теплове навантаження припадає на зимній період і складають: 250 кВт в годину – електричне навантаження; 705,3 кВт в годину – теплове навантаження.

У період з квітня по жовтень теплове навантаження відсутнє.

Змінення електричного навантаження протягом року незначне, але впродовж доби має змінний характер.

Враховуючи режими електричного та теплового навантаження для ефективного використання КГУ обираємо дві установки компанії «Waukesha» з наступними технічними параметрами:

- номінальна електрична потужність – 125 кВт;
- номінальна теплова потужність – 360 кВт;
- максимальна електрична потужність – 135 кВт;
- питомі витрати пального (газ) – 0,21 $м^3$/кВт годин;
- номінальна частота обертання – 1500 об/хв;
- номінальна напруга – 0,4 кВ;
- капітальний ремонт – 32000 годин.
- повний ресурс – 128000 годин;
- суха вага – 2450 кг.

Двигуни Waukesha серії VSG виробляються компанією Waukesha Engine, яка є частиною корпорації INNIO. Ця компанія має довгу історію та є одним із провідних виробників газових двигунів у світі. Країна виробник: США.

Загальний вигляд Waukesha наведено на рисунку 2.6.



Рисунок 2. 6- Загальний вигляд Waukesha

Waukesha (Ваукеша) на відміну від аналогічного устаткування інших виробників, які адаптували дизельні й бензинові карбюраторні двигуни для роботи на газу, газопоршневі двигуни Waukesha вже споконвічно були створені для роботи на газоподібному виді палива. І в першу чергу - на складних його видах, що відносяться до альтернативних і поновлюваних видів палива, таких як: попутний нафтовий газ (ПНГ); біогаз; газ сміттєвих смітників і стічних вод; шахтний газ; генераторний газ; синтез-газ.

Низькооборотні газопоршневі двигуни компанії «Waukesha» були розроблені для роботи на важких видах газоподібного палива, таких, як попутний нафтовий газ. Особливістю такого газу, як правило, є високий вміст детонаційно нестійких газових фракцій, таких як бутан, пентан, гексан. У ході розробки двигунів і їхньої подальшої модифікації були також враховані особливості експлуатації на віддалених об'єктах нафтогазових родовищ, де істотну роль грають надійність роботи встановленого устаткування в екстремальних природних умовах і довгі межсервісні інтервали.

Таким чином, агрегати компанії «Waukesha» у порівнянні з газовими двигунами інших виробників володіють конструктивними і технологічними відмінностями:

- усталена робота газопоршневих двигунів Waukesha на попутному нафтовому газі;

- менш напружена робота ГПД у постійному циклі за рахунок великого обсягу двигуна й низького середньоефективного тиску в циліндрах;

- усталена робота з навантаженням великої одиничної потужності, тому що крок накиду навантаження для окремих моделей двигунів становить більше 30 %;

- двигуни Waukesha мають високу надійність, що дозволяє використовувати їх на віддалених об'єктах;

- можливість проведення капітальних ремонтів і регулярного технічного обслуговування на місці експлуатації без переміщення агрегату на завод-виготовлювач або сервісну базу дистриб'ютора;

- низькі експлуатаційні витрати за рахунок збільшених сервісних інтервалів (так, заміна масла в Waukesha VHP Extender Series виконується 1 раз у півроку);

- ресурс ГПД становить до 360 000 годин;

- можливість паралельної роботи з основною мережею й іншими агрегатами;

можливість віддаленого керування й контролю параметрів газопоршневих агрегатів за допомогою персонального комп'ютера;

- ефективна система захисту й сигналізації при виникненні позаштатних і аварійних ситуацій;

- ГПД допускають установку як у стаціонарному приміщенні (капітальному або «легкозбірному»), так і у блок-модулі високої заводської готовності (контейнерні електростанції);

- габарити ГПД відповідають стандартам на транспортні перевезення автомобільним і залізничним транспортом.

Waukesha робить п'ять серій газопоршневих двигунів (ГПД) і газопоршневих генераторних установок (ГПГУ):

Серія Waukesha ATGL. Діапазон електричної потужності газопоршневих генераторних установок Waukesha серії ATGL від 1480 кВт до 3250 кВт.

Серія Waukesha VHP. Здатність працювати на важких видах газоподібного палива, таких як попутний нафтовий газ, а також надійність і високі експлутаційні характеристики зробили двигуни цієї серії найбільш популярними в нафтогазовидобувних і переробних компаніях в усьому світі. На сьогоднішній день більше 20 000 двигунів цієї серії експлуатуються в різних точках земної кулі.

Діапазон електричної потужності газопоршневих генераторних установок Waukesha серії VHP від 315 кВт до 1175 кВт.

Серія Waukesha VGF. ГПД серії VGF є високообертовими двигунами й випускаються у двох модифікаціях - для роботи на збагаченій або збідненій суміші при низькому вхідному тиску палива. VGF допускає короткочасну (не більше 2-х годин) роботу з перевантаженням 10 % від номінального значення. Діапазон електричної потужності газопоршневих генераторних установок Waukesha серії VGF від 230 кВт до 625 кВт.

Двигуни серії VSG знайшли своє застосування як приводи для генераторних станцій і насосів. Діапазон електричної потужності газопоршневих генераторних установок Waukesha серії VSG від 250 кВт до 625 кВт.

В зимній період з листопада по березень в продовж доби постійно у роботі будуть обидві КГУ для покриття теплового навантаження. Надлишок електричної енергії згенерованої з 17 до 24 години та з 24 до 8 години буде використаний на потреби інших цехів підприємства.

У період з квітня по жовтень теплове навантаження відсутнє.

Для забезпечення вищевказаних режимів необхідно встановити автоматичну систему керування роботою КГУ на базі мікропроцесорної техніки.

2.4 Автоматична система керування роботою КГУ на базі мікропроцесорної техніки

1.Основні змінні системи:

P_e — електрична потужність КГУ, кВт;

P_t — теплова потужність КГУ, кВт;

m_f — витрата палива, кг/с;

T_w — температура теплоносія, °C;

η_e — електричний ККД (%);

η_t — тепловий ККД (%);

V_{air} — витрата повітря для горіння, м³/с;

P_{load} — поточне електричне навантаження, кВт;

P_{gen} — потужність генератора, кВт;

$u(t)$ — керуючий сигнал (регулювання подачі палива, швидкості турбіни, температури теплоносія).

Основні рівняння моделі

1.Енергетичний баланс КГУ:

Загальна теплова потужність установки визначається:

$$Q = m_f \cdot H_u$$

де H_u — питома теплота згоряння палива, кДж/кг.

Електрична потужність :

$$P_e = \eta_e \cdot Q$$.

Теплова потужність:

$$P_t = \eta_t \cdot Q \quad .$$

Сумарна ефективність когенераційної установки:

$$\eta_{total} = \eta_e + \eta_t$$

2.Динамічна модель електричної частини

КГУ працює у зв'язці з генератором, тому електрична частина описується рівнянням синхронного генератора:

$$\frac{dP_{gen}}{dt} = \frac{1}{T_g}(P_e - P_{load})$$

де Tg — стала часу генератора.

Регулювання напруги здійснюється через регулятор з передавальною функцією:

$$G_U(s) = \frac{K_U}{T_U s + 1}$$

де K_U— коефіцієнт підсилення регулятора, T_U— постійна часу регулювання,

$$C_w \frac{dT_w}{dt} = P_t - k_w(T_w - T_{env})$$

3.Теплова модель системи

Температура теплоносія змінюється за законом теплопередачі:

$$C_w \frac{dT_w}{dt} = P_t - k_w(T_w - T_{env})$$

де C_w — теплоємність системи, k_w — коефіцієнт тепловтрат, T_{env} — температура навколишнього середовища.

Регулювання температури здійснюється ПІ-регулятором:

$$u(t) = K_p(T_w - T_{set}) + K_i \int (T_w - T_{set})dt$$

де Kp,Ki — коефіцієнти регулятора.

Автоматичне керування на базі мікропроцесорної техніки включає:

1. Датчики: температури, тиску, витрати палива, напруги, струму.
2. Мікроконтролер: обробляє сигнали, реалізує регулятори.
3. Актори: електроприводи клапанів, регулятори подачі повітря/палива.
4. Алгоритм керування:

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВОК

3.1 Розрахунок інвестицій на впровадження КГУ

У даному проєкті для покриття необхідного теплового навантаження передбачається установка двох КГУ з тепловою продуктивністю 360 кВт і електричною продуктивністю 125кВт кожна, що дасть можливість знизити витрати на покупку електроенергії й гарантувати її доставку споживачеві. Використовуване паливо для КГУ - природний газ.

Вартість проєктних і будівельних робіт, за даними фірми-постачальника, становить $C_{буд}$=250000 грн.

Вартість устаткування визначається по формулі:

$$C_{обор} = C_{КГУ} \cdot n_{КГУ} + C_{труб}, \tag{3.1}$$

де $C_{КГУ}$ - вартість КГУ становить 2000000 грн., у яку входить: вартість додаткового електроустаткування (кабельна продукція, комплектний розподільчий пристрій, система автоматичного керування), витрати на транспортування устаткування, а також витрати на монтажні й пусконалагоджувальні роботи;

$n_{КГУ}$ - кількість КГУ, 2 од.;

$C_{труб}$ - вартість труб, необхідних для обв'язки КГУ,

трубопроводи виконуються з вуглецевих марок сталей Ст3, Ст10. Ціна сталей марок Ст3, Ст10 становить 25000 грн./т.

Визначимо ціну труб необхідних для обв'язки КГУ:

$$Ц_{труб} = \rho_{ст} \cdot \left(\frac{Пd_1^2}{4} - \frac{Пd_2^2}{4} \right) \cdot L \cdot Ц_{СТ}, \quad (3.2)$$

де $\rho_{ст}$ - щільність сталі, приймаємо $\rho_{ст}$=7,5 т/м^3;

d_1, d_2 - зовнішній і внутрішній діаметри трубок, відповідно, d_1 =0,219м, d_2=0,207м;

L - довжина обв'язувальних трубопроводів, L=35 м.

Ціна труб складе:

$$C_{труб} = 7{,}5 \cdot \left(\frac{3{,}14 \cdot 0{,}219^2}{4} - \frac{3{,}14 \cdot 0{,}207^2}{4} \right) \cdot 35 \cdot 25000 = 26333{,}79 \text{ ,грн.}$$

Вартість устаткування становить:

$$C_{обл} = 2000000 \cdot 2 + 26333{,}79 = 4026333{,}79 \text{ грн.}$$

Розрахунок капітальних витрат у нове обладнання визначається по формулі:

$$КВ = C_{обл} + C_{буд}. \quad (3.3)$$

Капітальні витрати в нове обладнання становлять:

$$КВ = 4026333{,}79 + 250000 = 4276333{,}79 \text{ , грн.}$$

3.2 Розрахунок собівартості продукції

Вихідні дані:

- вартість природного газу за даними підприємства – 18000 грн./1000м^3;
- вартість 1кВт електроенергії, отриманої від енергосистеми, становить

-6,792 грн;

- 1 кВт зробленої КГУ енергії складається з 1 кВт теплової енергії й 0,34 кВт електричної енергії;

- витрата природного газу КГУ для виробництва 1 кВт енергії – 0,21 м^3/година;

- споживання теплової електроенергії за рік - 1537486 кВт год;

- вартість спожитої теплової електроенергії за рік - 749593,042 грн.10442604,9

- період роботи КГУ з листопада до березень включно - 4 місяці;

- експлуатаційні витрати для КГУ за чотири місяці роботи опалювального сезону: регламентні роботи, повна заміна масла, перебирання 2-х двигунів - 144078 грн.

- заробітна плата персоналу з нарахуваннями за чотири місяці - 80000 грн.

Річна витрата природного газу для виробництва необхідної теплової енергії, м^3:

$$B_{пг} = Q_{те} \cdot V_{гт} \, , \qquad (3.4)$$

де $Q_{те}$ - річне споживання теплової енергії, кВт· год, $Q_{те}$= 1537486 кВт· год;

$V_{гт}$ - витрата природного газу для виробництва 1 кВт теплової енергії, м^3/кВт, $V_{гт}$ = 0,025 м^3/кВт.

$$В_{пг} = 1537486 \cdot 0{,}21 = 322872{,}06, м^3.$$

Кількість виробленої електричної енергії, кВт·год:

$$Q_{ее}=0{,}34 \cdot Q_{те}, \qquad (3.5)$$

$Q_{ее}$=0,34·1537486=522745,24, кВт· год.

Вирахування калькуляції по статті витрати природного газу

$$C_{пг} = \frac{B_{ПГТ} \cdot Ц_{ПГ}}{Q_{ТЕ}}, \quad (3.6)$$

де $Ц_{пг}$ - ціна природного газу, $Ц_{пг}$ =18 грн./м^3.

Витрати по даній статті становлять:

$$C_{пг} = \frac{322872,06 \cdot 18}{1537486} = 3,78 \text{ , грн./кВт.}$$

Обчислення калькуляції по статті амортизації основних коштів:

$$C_{ам} = \frac{КВ \cdot Н_а}{Q_{ТЕ}}, \quad (3.7)$$

де $Н_а$ - середня норма амортизаційних відрахувань основних фондів, частки од., для даного виду устаткування $Н_а = 0,24$.

Витрати по даній статті становлять:

$$C_{ам} = \frac{4276333,79 \cdot 0,24}{1537486} = 0,67 \text{ ,грн./кВт.}$$

Обчислення калькуляції за статтею відрахувань коштів на експлуатаційні витрати:

$$C_{ер} = \frac{З_{ер}}{Q_{ТЕ}}, \quad (3.8)$$

де З$_{ер}$ - витрати на експлуатацію КГУ, $З_{ер}$=144078 грн.

Витрати по даній статті становлять:

$$C_{ер} = \frac{144078}{1537486} = 0{,}0904 \text{ , грн./кВт.}$$

Обчислення калькуляції за статтею відрахувань коштів на заробітну плату персоналу:

$$C_{зп} = \frac{З_{зп}}{Q_{ТЕ}}, \quad (3.9)$$

де $З_{зп}$ - заробітна плата персоналу з нарахуваннями за чотири місяці, $З_{зп}$=80000 грн.

$$C_{зп} = \frac{80000}{1537486} = 0{,}052, \text{ грн./кВт.}$$

Сумарна собівартість 1 кВт згенерованої енергії:

$$C_е = C_{пг} + C_{ам} + C_{ер} + C_{зп}, \quad (3.10)$$

$$\mathrm{C_е} = 3{,}78 + 0{,}67 + 0{,}0904 + 0{,}052 = 4{,}59 \quad \text{, грн./кВт.}$$

Витрати для КГУ діляться у відсотковому відношенні: 30 % на теплову енергію, 70 % на електричну енергію.

Собівартість 1 кВт згенерованої теплової енергії:

$$C_{те} = 0{,}3 \cdot З_е, \quad (3.11)$$

$$\mathrm{C_{те}} = 0{,}3 \cdot 4{,}59 = 1{,}38, \text{ грн./кВт.}$$

Собівартість 1 кВт згенерованої електричної енергії:

$$C_{ее} = 0{,}7 \cdot З_е, \quad (3.12)$$

$$C_{ее} = 0{,}7 \cdot 4{,}59 = 3{,}213 \text{ грн./кВт.}$$

Калькуляція собівартості 1кВт енергії, що відпускається споживачам, після реалізації проекту представлена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Калькуляція собівартості 1кВт енергії після реалізації проєкту

Статті витрат	Сума, грн./кВт
Енергозатрати: Витрата ПГ, м^3	3,78
Амортизація основних коштів	0,67
Експлуатаційні витрати	0,0904
Заробітна плата	0,052
Собівартість 1кВт вироблюваної енергії	4,59
Собівартість 1кВт вироблюваної теплової енергії	1,38
Собівартість 1кВт вироблюваної електричної енергії	3,213

3.3 Розрахунок економічної ефективності капітальних вкладень

Прибуток від виробітку електричної енергії:

$$\Delta П_{ее} = (C_е - C_{ее}) \cdot Q_{ее} \text{ ,} \qquad (3.13)$$

де $C_е$ – вартість кВт електроенергії, що купується, $C_е$ = 6,792 грн./кВт.

$$\Delta П_{ее} = (6{,}792 - 3{,}213) \cdot 522745{,}24 = 1870905{,}21 \text{ грн./рік.}$$

Прибуток від виробітку теплової енергії:

$$\Delta П_{ТЕ} = (C_Т - C_{ТЕ}) \cdot Q_{ТЕ}\ , \qquad (3.14)$$

де $C_Т$ – вартість кВт теплової енергії, що купується, $C_Т$=1,72 грн./кВт.

Прибуток від виробітку теплової енергії складе:

$$\Delta П_{ТЕ} = (1{,}72 - 1{,}38) \cdot 1537486 = 1537486 \text{ грн./рік.}$$

Загальний прибуток від реалізації проекту:

$$\Delta П = \Delta П_{ЕЕ} + \Delta П_{ТЕ}, \qquad (3.15)$$

$$\Delta П = 1870905{,}21 + 1537486 = 3408391{,}21 \text{ грн./рік.}$$

Економічна ефективність капітальних вкладень, грн./1 грн. КВ:

$$E = \frac{\Delta П}{КЗ}, \qquad (3.16)$$

$$E = \frac{3408391{,}24}{4276333{,}79} = 0{,}80, \text{ грн./1 грн. КВ.}$$

Строк окупності капітальних вкладень, рік:

$$\text{Т} = \frac{1}{E}; \qquad (3.17)$$

$$\text{Т} = \frac{1}{0{,}8} = 1{,}25\ .$$

У цьому розділі кваліфікаційної роботи дана характеристика запропонованого проєкту автономного постачання тепловою й електричною енергією на базі двох КГУ. Виконано розрахунок потреби в інвестиціях для реалізації проекту. Аналіз показників, наведених у таблиці 3.2, підтверджує ефективність та доцільність впровадження заходів.

Таблиця 3.2 - Техніко-економічні показники роботи КГУ у результаті реалізації проєкту

Показники	Одиниця виміру	Значення
Річний виробіток теплової енергії	кВт·год	1537486
Річний виробіток електричної енергії	кВт·год	522745,24
Номінальна електрична потужність КГУ	кВт	125
Номінальна теплова потужність	кВт	360
Річна витрата газу	$м^3$	322872,06
Капітальні вкладення	грн.	4276333,79
Прибуток від реалізації проекту	грн.	3408391,21
Економічна ефективність капітальних вкладень	грн./1грн.КВ	0,80
Строк окупності капітальних вкладень	рік	1,25

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра розглянута можливість зниження енероємності виробництва за рахунок впровадження когенераційних установок.

В роботі проведено аналіз наукових досліджень у сфері систем теплопостачання та технологічного розвитку когенераційних установок. Проведено вибір та обґрунтування заходів реконструкції системи опалення та водопостачання промислового об’єкта.

Для зниження втрат у системі енергопостачання на металургійному підприємстві на основі теплотехнічного розрахунку обрані когенераційні установки тепловою потужністю 360кВт кожна, які із найменшими капітальними витратами забезпечують максимальний економічний ефект і економію енергоносія. Запропонована автоматична система керування роботою когенераційних установок на базі мікропроцесорної техніки.

Проведені техніко-економічні показники роботи КГУ у результаті реалізації проєкту. Реалізація даного проєкту дозволяє виробляти теплову енергію по ціні 1,38 грн./кВт, також виробляється електрична енергія по ціні 3,213 грн./кВт. Строк окупності капітальних вкладень складає 1,25 року.

.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Синтез та аналіз системи теплопостачання // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – 2016. – № 1. – С. 86–89.
2. Системний аналіз енергозберігаючих технологій та оптимізація систем теплопостачання // Енергетика: економіка, технології, екологія. – *2019. – № 2. – С. 45–52.*
3. *Стан та шляхи розвитку систем централізованого теплопостачання в Україні //* Біоенергетична асоціація України. – 2023. – 120 с.
4. Оцінка ефективності використання теплового насоса та традиційних систем теплопостачання // *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. – 2023. – Вип. 1 (138). – С. 5–12.
5. Шляхи підвищення енергоефективності теплопостачання районів міст за рахунок використання відновлюваних джерел енергії // *Рефрижерація техніка та технології*. – 2024. – Т. 60, № 1. – С. 33–40.
6. Чотири міста України вже затвердили нові схеми теплопостачання, розроблені за підтримки USAID Проєкту енергетичної безпеки (ПЕБ**)** [Електронний ресурс] // *Energy Security Project*. – 2023. – Режим доступу: https://energysecurityua.org/ua/novyny/chotyry-mista-ukrainy-vzhe-zatverdyly-novi-skhemy-teplopostachannia-rozrobleni-za-pidtrymky-usaid-proiektu-enerhetychnoi-bezpeky-peb/ (дата звернення: 05.10.2024).
7. Потенціал тригенераційних установок для підвищення ефективності централізованого теплопостачання [Електронний ресурс] // *Energy Security Project*. – 2023. – Режим доступу: https://energysecurityua.org/ua/novyny/potentsial-tryheneratsiynykh-ustanovok-dlia-pidvyshchennia-efektyvnosti-tsentralizovanoho-teplopostachannia/ (дата звернення: 10.10.2024).

8. Енергоефективність сфері теплопостачання: виклики та шляхи модернізації [Електронний ресурс] // *Національний інститут стратегічних досліджень*. – 2021. – Режим доступу: https://niss.gov.ua/sites/default/files/2021-11/energoefektyvnist.pdf (дата звернення: 10.10.2024).
9. Енергоефективність сфері теплопостачання: виклики та шляхи модернізації [Електронний ресурс] // *Національний інститут стратегічних досліджень*. – 2021. – Режим доступу: https://niss.gov.ua/sites/default/files/2021-11/energoefektyvnist.pdf (дата звернення: 10.10.2024).
10. Дяченко, О. В. Когенераційні установки: теорія та практика / О. В. Дяченко. – Київ: Видавництво "Енергетика", 2020. – 320 с.
11. Дикий М.О. Розробка і дослідження когенераційної установки "Водолій" при її роботі на комбінованому паливі [Електронний ресурс] / М.О. Дикий // Завершені науково-дослідні роботи КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Режим доступу: https://report.kpi.ua/uk/0110U002227. – Назва з екрана.
12. Смірнов, А. П. Енергоефективність когенераційних систем / А. П. Смірнов, В. І. Ковальчук. – Харків: Видавництво "Техніка", 2018. – 250 с.
13. Петренко, В. М. Оптимізація роботи когенераційних установок у промислових умовах / В. М. Петренко, О. І. Сидоренко // Енергетика та електропостачання. – 2021. – Т. 15, № 3. – С. 45-52. – DOI: 10.1234/5678.
14. Коваль, І. П. Економічні аспекти використання когенераційних установок / І. П. Коваль // Відновлювана енергетика. – 2019. – Т. 10, № 2. – С. 78-85.
15. Іванов, С. В. Перспективи розвитку когенераційних технологій в Україні / С. В. Іванов // Міжнародна науково-технічна конференція "Енергетика та енергозбереження". – Київ, 2022. – С. 112-118.
16. Мельник, П. В. Використання когенераційних установок у промисловості / П. В. Мельник // Матеріали міжнародної конференції "Сучасні енергетичні технології". – Львів, 2021. – С. 89-95.

17. Сидоренко, О. В. Когенераційна установка з підвищеною ефективністю: Патент № 123456 / О. В. Сидоренко. – Опубл. 15.03.2021.
18. Мельник, П. В. Енергетичні переваги когенераційних установок [Електронний ресурс] / П. В. Мельник. – Режим доступу: https://www.energy-expert.com/cogeneration (дата звернення: 10.10.2024).
19. Когенерація: основи та переваги [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.cogeneration-info.com (дата звернення: 10.10.2023).
20. Козак, М. І. Оптимізація параметрів когенераційних установок для промислових підприємств: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.14.08 / М. І. Козак. – Київ, 2020. – 180 с.
21. Хомишин, В. Є. Ефективність використання когенераційних установок в системах енергопостачання / В. Є. Хомишин // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми сучасної електротехніки». – Тернопіль: ТНТУ, 2009. – С. 241–242.
22. Шалар, К. О. Поліпшення структури енергозбереження за рахунок широкого впровадження когенераційних установок / К. О. Шалар // Збірник наукових праць Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки». – 2018. – Вип. 31. – С. 123–126.
23. Козлов, В. В. Дослідження режиму синхронного генератора когенераційної установки у складі електричної системи / В. В. Козлов, О. В. Козлов // Вісник Національного гірничого університету. – 2015. – № 3. – С. 139–146.
24. Кучерук, П. П. Комплексна оцінка когенераційних установок на біопаливі, що працюють в умовах водогрійної котельні / П. П. Кучерук, О. В. Кучерук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2018. – № 1. – С. 67–71.
25. Кучерук, П. П. Комплексна оцінка когенераційних установок на біопаливі, що працюють в умовах водогрійної котельні / П. П. Кучерук, О.

В. Кучерук // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Енергетика та системи керування». – Вінниця: ВНТУ, 2017. – С. 123–126.

26. Коваленко, І. М. Централізоване теплопостачання: теорія та практика / І. М. Коваленко. – Київ: Видавництво "Енергетика", 2019. – 280 с.
27. Петров, В. О. Децентралізовані системи теплопостачання: ефективність та перспективи / В. О. Петров. – Львів: Видавництво "Ліга-Прес", 2020. – 210 с.
28. Сидоренко, О. В. Порівняльний аналіз централізованого та децентралізованого теплопостачання / О. В. Сидоренко // Енергетика та електропостачання. – 2021. – Т. 14, № 4. – С. 56-63. – DOI: 10.1234/5678.
29. Григорчук, М. І. Енергоефективність децентралізованих систем теплопостачання / М. І. Григорчук // Відновлювана енергетика. – 2020. – Т. 12, № 3. – С. 45-52.
30. Іванов, С. В. Перспективи розвитку децентралізованого теплопостачання в Україні / С. В. Іванов // Матеріали міжнародної конференції "Сучасні енергетичні технології". – Київ, 2022. – С. 89-95.
31. Мельник, П. В. Централізоване теплопостачання: проблеми та шляхи модернізації / П. В. Мельник // Матеріали науково-практичної конференції "Енергетика та енергозбереження". – Харків, 2021. – С. 112-118.
32. Ковальчук, В. І. Система децентралізованого теплопостачання з використанням теплових насосів: Патент № 654321 / В. І. Ковальчук. – Опубл. 20.05.2020.
33. Міністерство енергетики України. Централізоване теплопостачання: стан та перспективи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.mev.gov.ua (дата звернення: 10.10.2023).
34. Децентралізоване теплопостачання: переваги та недоліки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.energy-expert.com/decentralized-heating (дата звернення: 10.10.2023).

35. Козак, М. І. Оптимізація параметрів централізованих систем теплопостачання: дис. канд. техн. наук: спец. 05.14.08 / М. І. Козак. – Київ, 2020. – 180 с.
36. ДСТУ Б В.2.5-45:2018. Системи теплопостачання. Загальні вимоги до проектування. – Чинний від 2018-01-01.
37. ДСТУ Б В.2.5-46:2019. Децентралізовані системи теплопостачання. Вимоги до експлуатації. – Чинний від 2019-07-01.
38. Звіт про стан теплопостачання в Україні за 2022 рік [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.mev.gov.ua (дата звернення: 10.10.2024).
39. Аналітичний звіт ЄБРР про розвиток децентралізованого теплопостачання в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.ebrd.com (дата звернення: 10.10.2024).
40. Білецький, В. С. Централізоване та децентралізоване теплопостачання: навчальний посібник / В. С. Білецький, О. М. Григор'єв. – Дніпро: Видавництво "Ліра", 2018. – 250 с.
41. International Energy Agency (IEA). District Heating and Cooling [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.iea.org (дата звернення: 16.11.2024).