

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра Будівництва та експлуатації будівель, доріг та транспортних споруд

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри
Будівництва та експлуатації
будівель, доріг та транспортних споруд _____ О. П.
Новицький

«__» _____ 2024р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим рівнем вищої освіти

На тему: «Техніко-економічне обґрунтування використання міні - котельні для опалення загальноосвітньої школи в м. Тростянець»

Виконав (ла)

(підпис)

О. В. Фурс

(Прізвище, ініціали)

Група

Буд 2301-1м

(Науковий)
керівник

(підпис)

М. В. Нагорний

(Прізвище, ініціали)

Суми – 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: Будівництва та експлуатації будівель, доріг та транспортних споруд
Спеціальність: 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Фурс Олег Володимирович

Тема роботи: Техніко-економічне обґрунтування використання міні - котельні для опалення загальноосвітньої школи в м. Тростянець

Затверджено наказом по університету № 3455/ос від " 07 " 10 2024р.
Строк здачі студентом закінченої роботи: " 1 " грудня 2024 р.

Вихідні дані до роботи:

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

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

Розділ 1. Загальна характеристика роботи, 1.1. Аналіз проблеми енергозбереження, 1.2. Техніко-економічне обґрунтування, Розділ 2. Опис

архітектурно-планувального рішення будівлі, 2.1. Ситуаційний план, 2.2. Об'ємно-планувальне рішення, 2.3. Архітектурно-конструктивне рішення,
Список використаних джерел

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

21 слайд мультимедійного матеріалу

Керівник :

(підпис)

М. В. Нагорний
(Прізвище, ініціали)

Консультант

(підпис)

М. В. Нагорний
(Прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання:

Здобувач

(підпис)

О. В. Фурс
(Прізвище, ініціали)

Анотація

Фурс Олег Володимирович «Техніко-економічне обґрунтування використання міні - котельні для опалення загальноосвітньої школи в м. Тростянець» – Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2024.

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

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

Основна стратегія розвитку національних економік передових країн спрямована на забезпечення сталого економічного зростання через зниження енергоємності виробництва, що досягається впровадженням енергозберігаючих технологій і ефективним управлінням енергогенеруючими системами. За останні два десятиліття це дозволило знизити енергоємність економік на 26%, що стало важливим фактором для їх економічного зростання. В Україні підвищення енергоефективності стає критичним національним завданням для стабільного зростання та зміцнення енергетичної безпеки, особливо через модернізацію шкільних котелень.

Одним із важливих напрямів модернізації є перетворення шкільних котелень на комбіновані теплоелектростанції, використовуючи сучасні газові двигуни та парові турбіни для ефективного виробництва тепла і електроенергії. Це дозволяє використовувати вторинні енергетичні ресурси, такі як димові гази, для відновлення тепла та генерації електроенергії. Модернізація вимагає детального техніко-економічного аналізу існуючого обладнання та можливості інтеграції нових технологій, зокрема замкнутих систем парових турбін з низькокиплячими робочими рідинами.

Наукова новизна дослідження полягає у впровадженні технології органічного циклу Ренкіна для підвищення енергоефективності котелень. Це дозволяє використовувати низькокипляче тепло димових газів і водопровідної води для генерації електроенергії. Дослідження показало, що за допомогою цієї технології можна знизити енергоспоживання котелень до 72%, одночасно підвищуючи їх ефективність і зменшуючи викиди. Розроблені рекомендації можуть бути використані для оптимізації теплових режимів і конструкцій котелень, що сприяє зниженню витрат і підвищенню екологічності.

Ключові слова: котельня, опалення, енергоефективність.

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

1. Нагорний М.В. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ МІНІ-КОТЕЛЬНІ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ/ О.В.Фурс./ / Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції , 29 листопада 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.44.

2. Фурс О. Дослідження корозійної стійкості конструкційних матеріалів з мінеральними добавками в складі в'язучих на прикладі будівлі с/г призначення: техніко-економічний аспекти / Матеріали 86 Міжнародної наукової конференції студентів, 8-12 квітня 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.46

В додатках наведено тези конференції, альбом слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи.

Робота складається з основного тексту на 48 сторінках, у тому числі 6 таблиць, 10 рисунків. Текст роботи містить загальну характеристику роботи, 2 розділи, висновки і рекомендації за результатами роботи, список з 22 використаних джерел. Графічна частина складається з 21 слайд мультимедійної презентації.

Abstracts

Furs Oleg Volodymyrovych "Technical and economic justification of the use of mini-boiler house for heating a secondary school in the city of Trostyanets" - Master's qualification work in the form of a manuscript.

Master's qualification work in specialty 192 "Construction and civil engineering". - Sumy National Agrarian University, Sumy, 2024.

The work consists of the content, general characteristics of the work and its qualification features, a review of research on the selected topic, sections of the main part, conclusions based on the results of the MCR (in Ukrainian and English).

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

The main strategy for the development of national economies of advanced countries is aimed at ensuring sustainable economic growth through a decrease in the energy intensity of production, which is achieved by the introduction of energy-saving technologies and effective management of energy-generating systems. Over the past two decades, this has allowed to reduce the energy intensity of economies by 26%, which has become an important factor for their economic growth. In Ukraine, increasing energy efficiency is becoming a critical national task for sustainable growth and strengthening energy security, especially through the modernization of school boiler houses.

One of the important areas of modernization is the transformation of school boiler houses into combined heat and power plants, using modern gas engines and steam turbines for efficient heat and electricity production. This allows the use of secondary energy resources, such as flue gases, for heat recovery and electricity generation. Modernization requires a detailed feasibility study of existing equipment and the possibility of integrating new technologies, in particular closed steam turbine systems with low-boiling working fluids.

The scientific novelty of the study lies in the implementation of the organic Rankine cycle technology to increase the energy efficiency of boiler houses. This allows the use of low-boiling heat from flue gases and tap water to generate

electricity. The study showed that using this technology, it is possible to reduce the energy consumption of boiler houses by up to 72%, while simultaneously increasing their efficiency and reducing emissions. The developed recommendations can be used to optimize thermal regimes and boiler house designs, which contributes to reducing costs and increasing environmental friendliness.

Keywords: boiler house, heating, energy efficiency.

List of publications and/or speeches at student conferences:

1. Nagorny M.V. TECHNICAL AND ECONOMIC SUBSTITUTION OF THE USE OF MINI-BOILER ROOMS FOR HEATING/ O.V. Furs./ / Materials of the XVIII International Scientific and Practical Conference, November 29, 2024, KHNADU, Kharkiv, P.44.

2. Furs O. Research on the corrosion resistance of structural materials with mineral additives in the composition of binders on the example of an agricultural building: technical and economic aspects / Materials of the 86th International Scientific Conference of Students, April 8-12, 2024, KhNADU, Kharkiv, P.46

The appendices contain the conference abstracts, an album of multimedia presentation slides.

Structure of the work.

The work consists of the main text on 48 pages, including 6 tables, 10 figures. The text of the work contains a general description of the work, 2 sections, conclusions and recommendations based on the results of the work, a list of 22 sources used. The graphic part consists of 21 slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

Розділ 1. Загальна характеристика роботи.....	9
1.1. Аналіз проблеми енергозбереження.....	11
1.2. Техніко-економічне обґрунтування.....	21
Розділ 2. Опис архітектурно-планувального рішення будівлі.....	39
2.1. Ситуаційний план.....	39
2.2. Об'ємно-планувальне рішення.....	40
2.3. Архітектурно-конструктивне рішення.....	40
Список використаних джерел.....	47

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми: Стратегія розвитку економік передових країн спрямована на сталий економічний ріст через зниження енергоемності продукції. Це досягається впровадженням енергозберігаючих технологій і оптимізацією енергосистем. За останні 20 років такі заходи знизили енергоемність економік на 26%, забезпечивши 64,4% їхнього зростання.

Для України підвищення енергоефективності є критично важливим. Модернізація котелень у школах має значний потенціал для енергозбереження. Перетворення котельні на міні-теплоелектростанцію з використанням сучасних газових двигунів, парових і газотурбінних систем, а також замкнутих циклів на низькокиплячих рідинах дозволить ефективно виробляти тепло та електроенергію.

Першим кроком є аналіз стану котельного обладнання для вибору оптимальних технологій і оцінки можливості використання вторинного тепла. Важливо також врахувати енергію димових газів, які можуть бути утилізовані через турбіни на низькокиплячих рідинах, що забезпечить додаткове виробництво електроенергії для школи без додаткового палива.

Мета і завдання дослідження: Метою роботи є підвищення ефективності муніципальної енергетики шляхом впровадження технологій комбінованого виробництва тепла та електроенергії. Це передбачає використання малопотужних установок, вдосконалення теплових процесів і режимів роботи систем.

Необхідно проаналізувати енергоефективність теплопостачальних систем і можливості інтеграції сучасних технологій. Особливу увагу слід приділити порівнянню методів виробництва електроенергії (газові й парові турбіни), оцінці замкнутих циклів з низькокиплячими робочими рідинами та вибору обладнання, яке відповідає технічним і економічним вимогам.

Об'єкт дослідження: Техніко-економічне обґрунтування використання міні - котельні для опалення.

Предмет дослідження: Загальноосвітня школа в міста Тростянець.

Методи дослідження: Дослідження поєднує якісні та кількісні методи для оцінки доцільності впровадження міні-котелень.

Аналіз існуючої системи опалення, включаючи збір даних про енергоспоживання, витрати та стабільність температури через прямі вимірювання, рахунки та інтерв'ю з персоналом.

Техніко-економічне обґрунтування з оцінкою інфраструктури школи, доступності місць для обладнання та консультаціями з інженерами.

Зіставлення ефективності міні-котелень із традиційними системами опалення на основі моделювання енергоспоживання, витрат і місцевих умов.

Вивчення впливу міні-котелень на викиди та енергозбереження з використанням даних подібних об'єктів.

Наукова та технічна новизна одержаних результатів: Наукова новизна дослідження полягає у впровадженні органічного циклу Ренкіна (ORC) для підвищення енергоефективності водогрійних котелень через утилізацію низькопотенціального тепла димових газів і водопровідної води.

Встановлено, що оптимальна робота котлів досягається при навантаженні 61% і температурі димових газів нижче 118°C. У зимовий період ORC при роботі двох котлів (42% і 48% навантаження) генерує 610 кВт активної потужності та додатково 735 кВт через рекуперацію тепла води (105°C), що забезпечує до 72% енергопотреб котельні. У літній період ORC генерує 86 кВт при ККД 7,5%.

Запропоновано річний цикл роботи ORC для безперервної рекуперації тепла, що оптимізує енергетичний баланс. Рекомендації щодо конструктивних і режимних рішень універсальні для теплогенераторів, забезпечуючи енергоефективність, екологічність і економічність.

Апробація та публікація результатів роботи: 1. Нагорний М.В. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ МІНІ-КОТЕЛЬНІ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ/ О.В.Фурс./ / Матеріали XVIII Міжнародної

науково-практичної конференції , 29 листопада 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.44.

2. Фурс О. Дослідження корозійної стійкості конструкційних матеріалів з мінеральними добавками в складі в'язучих на прикладі будівлі с/г призначення: техніко-економічний аспекти / Матеріали 86 Міжнародної наукової конференції студентів, 8-12 квітня 2024 р., ХНАДУ, Харків, С.46

1.1. Аналіз проблеми енергозбереження

У початковому розділі було проведено комплексний аналіз проблем енергозбереження в різних галузях національної економіки, з особливим акцентом на комунальній енергетиці України. Ця експертиза включає оцінку низькопотенційного використання відхідного тепла в процесі виробництва теплової енергії. Аналіз підкреслює значний потенціал для впровадження когенераційних технологій на районних котельнях, які на даний момент використовують діюче теплогенеруюче обладнання. Дана стратегія впровадження спрямована на покращення існуючих теплових схем з мінімальними капітальними витратами та внесенням лише незначних коригувань існуючих технологічних процесів.

Крім того, проведено порівняльну оцінку централізованих і децентралізованих систем виробництва теплової та електричної енергії. Ця оцінка підкреслює критичну проблему енергозбереження на об'єктах теплоенергетики, зокрема під час одночасного виробництва теплової та електричної енергії. Обґрунтовано використання газоенергетичних приводів, енергетичних турбоагрегатів, газотурбінних установок та схем органічного циклу Ренкіна як сучасного підходу до економії паливно-енергетичних ресурсів у муніципальній енергетиці.

Конденсуючи частину водяної пари, присутньої в димових газах, стає можливим використовувати як відчутне тепло, так і приховане тепло, що виділяється під час конденсації. Цей процес охолодження ретельно контролюється, щоб температура димових газів перед димососом залишалася не нижче 65 градусів. У цьому контексті вода, призначена для хімічної

обробки, повітря для горіння або низькокипляча робоча рідина для контуру органічного циклу Ренкіна можуть служити теплоносієм в установці рекуперації тепла.

На основі інформації, отриманої в результаті цього комплексного аналізу, цілі та завдання дослідження були чітко визначені. Ці завдання передбачають наукове обґрунтування та розробку ефективних стратегій, спрямованих на підвищення техніко-економічних показників теплоенергетичного обладнання підприємств комунальної енергетики. Це буде досягнуто за рахунок інтеграції малопотужного обладнання для виробництва електроенергії та вдосконалення робочих процесів.

Моделювання та розрахунок фізичних процесів, що відбуваються в теплових схемах енергетичних установок, проводяться з урахуванням термодинамічних властивостей задіяних робочих тіл. Ці властивості необхідні для точного опису поведінки робочих органів за різних умов температури і тиску, забезпечення достовірності аналізу теплової системи.

Після ретельної оцінки численних рівнянь стану рівняння стану Пенга-Робінсона було вибрано як найбільш підходяще для цієї мети. Рівняння Пенга-Робінсона, удосконалення вихідного рівняння Ван-дер-Ваальса, пропонує розширені можливості прогнозування поведінки реальних газів, особливо в умовах, що стосуються електростанцій. Його форма включає поправки на неідеальну поведінку газів, враховуючи міжмолекулярні притягнення та кінцевий об'єм частинок газу, забезпечуючи тим самим більш точне представлення термодинамічних властивостей робочих рідин у теплових системах.

Ця модифікація покращує точність розрахунків процесів і широко використовується в науковому моделюванні енергетичних систем, особливо там, де поведінка робочого тіла значно відхиляється від ідеального газу.

$$P = \frac{R \cdot T}{v - b} - \frac{a \cdot \alpha}{v^2 + 2 \cdot b \cdot v - b^2},$$

$$\text{де } a = \frac{0,457235 \cdot R^2 \cdot T_c^2}{P_c};$$

$$b = \frac{0,077796 \cdot R \cdot T_c}{P_c};$$

$$\alpha = \left(1 + m \cdot \left(1 - \sqrt{T/T_c}\right)\right)^2;$$

$$m = 0,37464 + 1,54226 \cdot \omega - 0,26992 \cdot \omega^2,$$

де a , b – деякі константи (тяжіння і відштовхування), що залежать від обраної речовини; P – тиск, Па; v – питомий об'єм, м³/кг; R – газова постійна, Дж/(кг·К);

T – температура, К; α – універсальна функція, що залежить від двох індивідуальних параметрів, що характеризують властивості конкретної рідини:

критичної температури T_c і, так званого, ацентричного фактору Пітцера ω .

Врахування термодинамічних властивостей робочих рідин під час обчислювального аналізу теплових схем на електростанціях дозволяє точно моделювати фізичні процеси, що відбуваються в цих теплових системах та їх відповідних компонентах. Ця методологія має важливе значення для з'ясування складних взаємодій і перетворень енергії, які відбуваються під час роботи об'єкта виробництва електроенергії.

Математична модель, розроблена для електростанції, використовує стратегію внутрішнього представлення, концептуалізовану як інформаційна модель. Ця модель ґрунтується на принципі організації об'єктів на основі компонентів, що полегшує систематичне розташування різноманітних елементів, присутніх у силовій установці. Інформаційна модель побудована на основі структурного представлення електростанції, що зображує систему як збірку взаємопов'язаних компонентів. Це структурне представлення не лише охоплює фізичні характеристики кожного компонента, але й окреслює взаємозв'язки та взаємодію між ними, таким чином уможливлуючи цілісний аналіз динаміки системи.

Застосовуючи цей структурований підхід, модель значно покращує розуміння залучених теплових процесів і відіграє ключову роль в оптимізації

продуктивності системи в рамках виробництва енергії. Цей комплексний аналіз має вирішальне значення для підвищення ефективності та результативності технологій виробництва електроенергії, що зрештою сприяє більш стійкій енергетичній практиці.

$$\bar{G} = (G, P_n),$$

де $G = \langle U, V \rangle$ – складовий об'єкт; $U = \{\alpha_j, j=1, 2, \dots, n\}$ – безліч інформаційних моделей компонент; $V \subset U \times U$ – зв'язки між інформаційними моделями компонент; P_n – зв'язки між складовими об'єктами.

Математична модель складається з кількох взаємопов'язаних підмоделей, кожна з яких представляє певні аспекти або компоненти загальної системи. Ці підмоделі функціонують спільно, щоб симулювати складну поведінку та взаємодію всередині системи, дозволяючи всебічний аналіз явищ, що вивчаються.

Кожна підмодель служить для фіксації окремих фізичних процесів або зв'язків, сприяючи точності та надійності загальної математичної структури. Інтегруючи ці різні підмоделі, математична модель може ефективно розглядати складну динаміку системи, сприяючи глибшому розумінню та більш надійним прогнозам щодо її продуктивності та поведінки за різних умов.

$$\alpha_j = \langle k_j, B_j, Y_j, \Gamma_j \rangle,$$

де $k_j \in K$ – умовне ім'я компоненти; K – безліч кодів елементів; $B_j = \langle X_1, \dots, X_n \rangle$ – впорядкована безліч фізичних властивостей; $\Gamma_j = \langle P_1, \dots, P_n \rangle$ – впорядкована безліч геометричних властивостей; $Y_j = \langle H_1, \dots, H_n \rangle$ – впорядкована безліч полюсів елемента.

Для оцінки доцільності впровадження енергозберігаючих заходів проводиться комплексне техніко-економічне обґрунтування об'єктів енергетики. У цьому дослідженні використовуються різні критерії для оцінки потенційних проектів, включаючи максимізацію виробництва електроенергії, мінімізацію капіталовкладень і скорочення періоду окупності, пов'язаного з розширенням систем комбінованого виробництва тепла та електроенергії.

У контексті підвищення ефективності існуючих теплогенеруючих потужностей основним показником для оцінки доцільності проекту було

обрано термін окупності. Цей показник відображає час, необхідний для повернення інвестицій за рахунок накопичених заощаджень або збільшення доходів. Розставляючи пріоритети за періодом окупності, аналіз зосереджується на визначенні проектів, які не лише демонструють негайні економічні вигоди, але й сприяють довгостроковій стійкості та ефективності муніципальних енергетичних систем. Такий підхід гарантує, що вибрані заходи з енергозбереження відповідають головним цілям оптимізації ресурсів та економічної життєздатності в енергетичному секторі.

$$\tau_{ок} = c_N \cdot N_e' / (\tau \cdot \Delta B_{год}),$$

де N_e' – номінальна електрична потужність;

c_N – питома вартість встановленої електричної потужності;

τ – річне напрацювання установки;

$\Delta B_{год}$ – зміна витрат на ТЕЦ за годину після встановлення установки, яка розраховувалася таким чином

$$\Delta B_{год} = \sum_{j=1}^2 (\tau_j / (\tau_1 + \tau_2)) \{ (c_{e,m} - c_{e,t}) [N_{ej} + (N_{eГj} - N_{ej}) (1 - \Delta c_m)] + Q_{тj} (1 - \Delta C_{Qj}) c_Q \}$$

де j – індекс сезону (літо $j = 1$; зима $j = 2$);

$c_{e,m}$ – ціна електроенергії 2 класу в мережі без ПДВ; $c_{e,t}$ – собівартість виробництва електроенергії на ТЕЦ;

$N_{eГj}$ – генерація електричної потужності турбіною в обраний сезон за вирахуванням власних потреб турбіни;

N_{ej} – потреби на котельні в електричній потужності в обраний сезон;

Δc_m – частка ціни електроенергії, що дістається електромережі за послуги;

ΔC_{Qj} – частка підвищення витрат на виробництво теплоти після встановлення турбіни;

c_{Qj} – собівартість виробництва теплоти на ТЕЦ з використанням турбіни в обраний сезон;

$Q_{т1} = Q_{т2} = 27$ Гкал/год – кількість теплоти, що отримується з вихлопу турбіни.

У процесі дослідження застосовувалася техніко-економічна модель для визначення стратегії підвищення ефективності теплоенергетичних підприємств та оцінки доцільності впровадження енергозберігаючих заходів шляхом інтеграції когенераційних технологій.

Економічна модель, розроблена під час цього дослідження, забезпечує основу для визначення періодів окупності, пов'язаних із впровадженням принципів комбінованого виробництва теплової та електричної енергії. У цьому аналізі враховуються ключові показники вартості, пов'язані з енергетичним обладнанням та змінними режимами роботи муніципальних енергетичних об'єктів, що дозволяє детально оцінити фінансову життєздатність.

У дослідженні визначено основні передумови впровадження когенераційних технологій України. Ретельний аналіз міського енергетичного ландшафту показав, що в багатьох регіонах котельні є переважаючими джерелами теплової енергії.

Детальна оцінка показала, що споживання електроенергії та пов'язані з ним витрати на закупівлю становлять другу за величиною витрату в загальній структурі витрат на виробництво. Зокрема, у зимові місяці витрати на електроенергію складають від 12 до 14 відсотків від загальних витрат на паливо, а влітку цей показник зростає до 23-26 відсотків. Враховуючи цей значний фінансовий тягар, необхідність скорочення витрат на електроенергію стає критичною проблемою для підвищення економічної стійкості підприємств теплоенергетики.

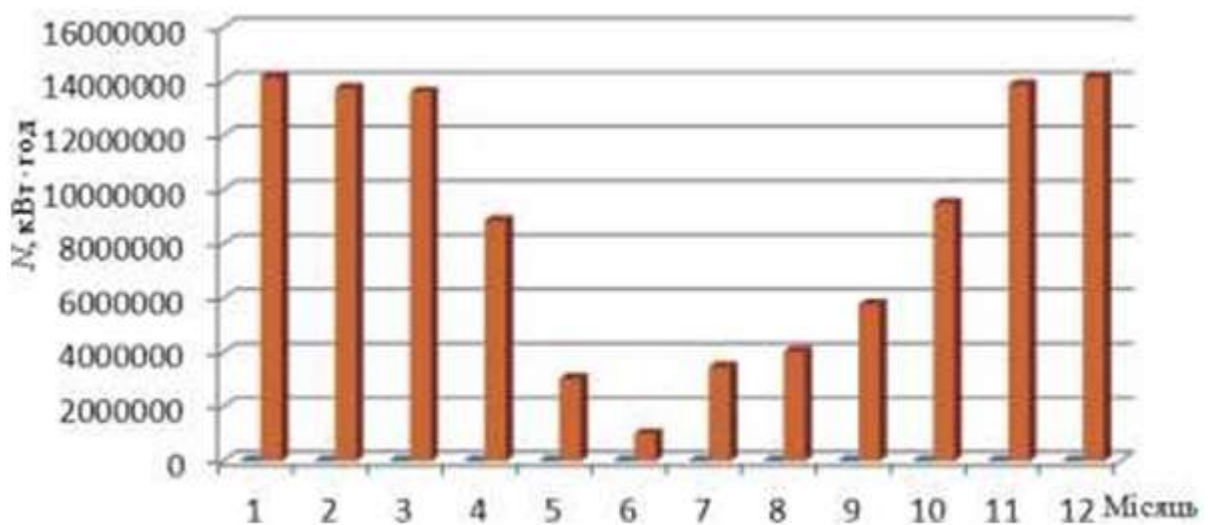


Рис. 1.1. Динаміка помісячного споживання електроенергії

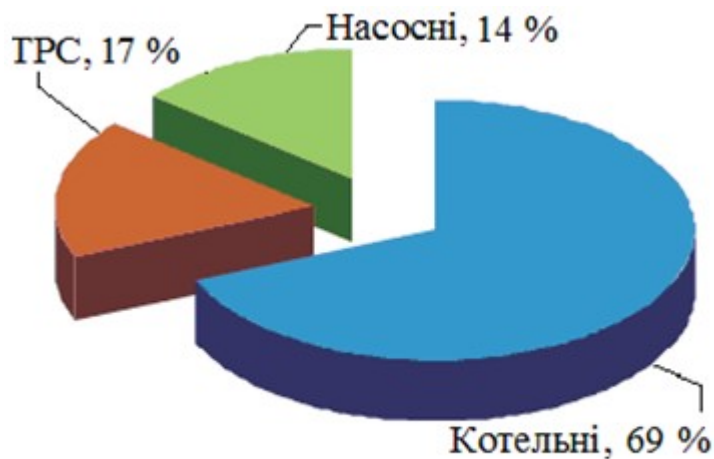


Рис. 1.2. Розподіл споживання електроенергії

На представлений діаграмі видно, що котельні є основними споживачами електроенергії в енергосистемі. Отже, важливо віддати пріоритет їхньому аналізу в зусиллях щодо підвищення енергоефективності та зменшення загального споживання.

Примітно, що в загальному споживанні електроенергії, що перевищує 105 млн. кВт/год на рік, великий внесок великих котельнь, а саме понад 42 відсотків цієї загальної кількості. Ця значна частка підкреслює критичну роль, яку ці об'єкти відіграють у загальному профілі енергоспоживання, підкреслюючи потенціал значної економії енергії шляхом цілеспрямованого втручання в їхню роботу та управління.

З огляду на попередній аналіз, вирішення проблеми енергозбереження найефективніше досягається впровадженням принципів когенерації на найбільших і найпотужніших котельнях на схожих об'єктах. По кожній котельні проведено ретельне обстеження технічного стану та режимів роботи енергетичного обладнання з використанням даних.

Для наочності наведено показники роботи котельні оснащеної чотирма котлами ПТВМ-110, кожен з яких демонструє ККД 92%. Питомі норми споживання енергоносіїв на даній котельні такі: фактичне споживання палива становить 156,92 кг палива на гікалорію, що є покращенням порівняно із затвердженою нормою 158,4 кг палива на гікалорію; так само

фактичне споживання електроенергії становить 25,1 кіловат на гікакалорію, що значно нижче затвердженої норми в 28,2 кіловат на гікакалорію.

На даний момент загальне підключене навантаження котельні становить 278 393 гікакалорії на годину, що включає потреби в опаленні та вентиляції 162 567 гікакалорій на годину, а також потребу в гарячому водопостачанні 116 827 гікакалорій на годину. Основна демографія споживачів складається з місцевого населення, на яке припадає 82 відсотки попиту на опалення та 93 відсотки постачання гарячої води. Така висока залежність побутових споживачів від котельні підкреслює важливість оптимізації використання енергії на цих об'єктах для підвищення загальної енергоефективності та стійкості.

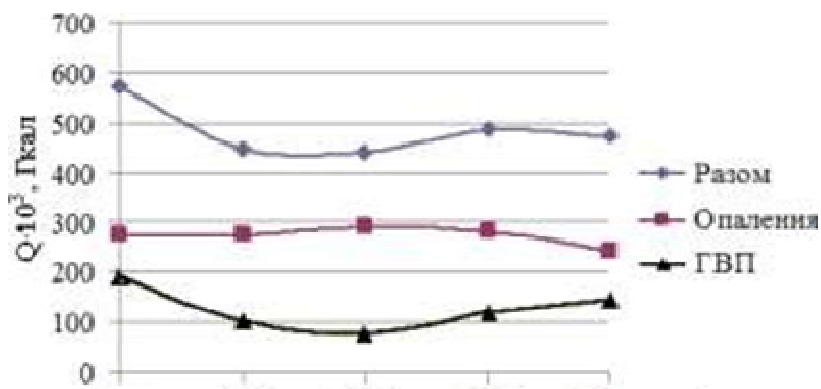


Рис. 1.3. Динаміка виробництва теплоенергії за видами

На основі наданих компанією даних було проведено аналіз динаміки виробництва тепла за період з 2019 по 2023 роки. Графічне представлення цього аналізу вказує на помітну тенденцію до зниження обсягів виробництва в останні роки. Таке зниження в першу чергу можна пояснити підвищенням середніх температур протягом опалювального сезону разом із зменшенням кількості опалювальних днів.

Крім того, слід зазначити, що обсяг тепла, виробленого тепловими установками, також зменшився порівняно з рівнями, зафіксованими у 2019 році. Це зменшення може бути пов'язане зі зростанням цін на енергоносії та широким впровадженням систем обліку на об'єктах споживачів, які підвищили ефективність використання енергії.

Кореляційний зв'язок між обсягом теплопродукції та температурою зовнішнього повітря очевидний при аналізі середньомісячних значень температури. З метою ілюстрації дані, що відображають виробництво теплової енергії для опалення, по відношенню до градусо-днів, надані за період з січня по квітень 2024 року. Ці дані підкреслюють важливість температурних коливань для потреб опалення, додатково підкреслюючи важливість адаптації виробництва стратегії узгодження з кліматичними змінами.

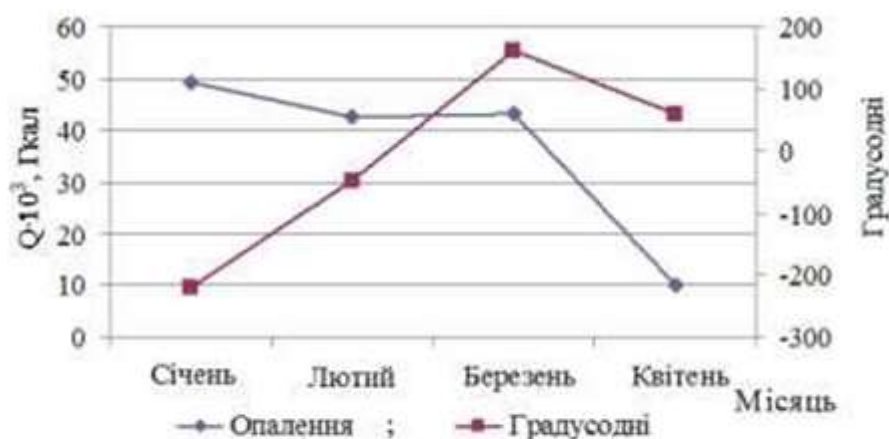


Рис. 1.4. Зв'язок між градусоднями та виробленням теплоти на опалення

Зв'язок між теплопродукцією і температурою навколишнього повітря можна з'ясувати, аналізуючи середньомісячні значення температури повітря. Прикладом цього співвідношення є дані про виробництво теплової енергії для опалення.

Графічне зображення демонструє пряму залежність виробництва теплової енергії від температури навколишнього середовища, про що свідчить порівняльний аналіз місячних показників. Ця пряма залежність вказує на те, що зміни зовнішньої температури суттєво впливають на кількість виробленої теплової енергії.

Для оцінки ефективності генеруючої системи досліджуються питомі показники енергоспоживання котельні в процесі виробництва тепла. Питоме споживання електроенергії визначається кількістю виробленої теплової

енергії та залежить від різних факторів, включаючи втрати в мережі та робочий стан обладнання.

Як показано на графіку, слід зазначити, що питоме споживання електроенергії має тенденцію до збільшення протягом літніх місяців, незважаючи на зменшення виробництва теплової енергії, особливо для підігріву гарячої води. Ця тенденція свідчить про потенційну неефективність системи в періоди нижчого попиту на теплову енергію, підкреслюючи необхідність подальшого дослідження оптимізації робочих параметрів для підвищення загальної енергоефективності.

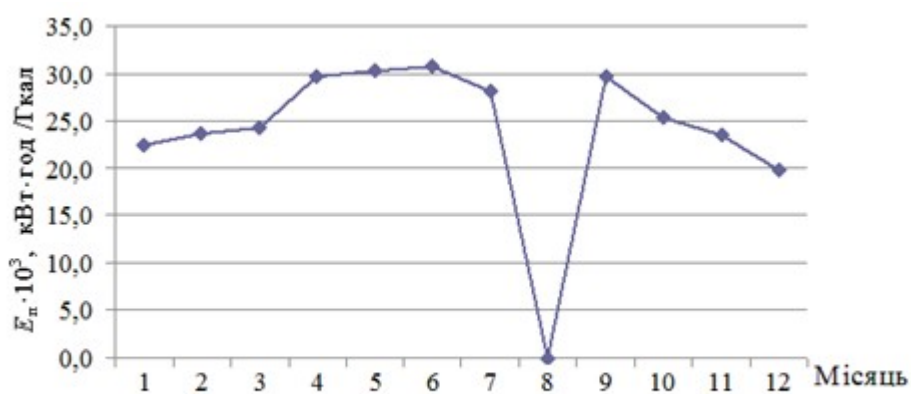


Рис. 1.5. Динаміка питомої витрати електроенергії за рік

Проведений аналіз вказує на те, що всі котельні працюють в схожих кліматичних умовах, що полегшує порівняльну оцінку їх потенціалу для переходу на міні-системи теплоенергетики шляхом встановлення електрогенеруючого обладнання. Ключовими факторами, що впливають на цей перехід, є наявність фінансових ресурсів, спрямованих на вдосконалення існуючих схем опалення, наявність достатнього фізичного простору для встановлення необхідної інфраструктури та рівні робочого навантаження обладнання протягом року.

Ці елементи є вирішальними в оцінці економічної життєздатності енергозберігаючих заходів на муніципальних енергетичних об'єктах, зокрема щодо інтеграції обладнання для виробництва електроенергії. Отже, вони створюють основу для вибору районних котельень для подальших детальних обчислювальних досліджень, зосереджених на застосуванні принципів

когенерації. Очікувані результати цих досліджень спрямовані на підвищення енергоефективності та покращення економічних показників муніципального енергетичного сектору.

Для реалізації поставленого завдання було проведено комплексний аналіз за участю кількох виробників енергетичного обладнання зазначеного типу, а також оцінку переваг та недоліків різних енергоблоків. Важливо відзначити, що фактичні умови експлуатації цих двигунів часто значно відрізняються від стандартних специфікацій. Порівняльний аналіз газових турбін і газопоршневих установок як компонентів міні-теплоенергетичної системи показав, що газові турбіни придатні для установок з електричним навантаженням понад 15-16 мегават. Однак через значне споживання газу турбіни, рекомендовані для таких установок розраховані на великі електростанції з потужністю від 52 мегават, особливо ті, що мають стабільне електричне та теплове навантаження.

Переобладнання міні-котельні дає можливість отримати повну незалежність від зовнішнього електропостачання. Тим не менш, ця трансформація передбачає значні ризики, такі як надзвичайні ситуації або дефіцит палива, які необхідно ретельно оцінити. Критичним фактором при виборі енергоблоків для муніципального та комунального господарства є коливання навантаження протягом року, яке змінюється в залежності від сезонних змін. Аналіз п'яти котелень міста Тростянець показує, що споживання електроенергії влітку і взимку відрізняється в 2,2 - 2,4 рази. Ця значна різниця підкреслює практичну необхідність встановлення двох енергоблоків. Взимку обидва блоки можуть працювати одночасно, тоді як під час літнього сезону з низьким попитом один агрегат можна вимкнути, максимізуючи ефективність двигуна в умовах зниженого навантаження.

1.2. Техніко-економічне обґрунтування

З огляду на ці міркування найбільш раціональним для розглянутих котелень видається газопоршневий агрегат. Проведено техніко-економічне обґрунтування доцільності переобладнання котельні з використанням

газових турбін. Це дослідження включало розрахунки капітальних вкладень і термінів окупності. Для теплекономічних розрахунків було обрано трьох провідних світових виробників: дві установки Caterpillar (кожна потужністю 392 кВт), дві установки TCG 2018 V09 C (потужністю 404 кВт кожна) та дві MAN-404N (кожна потужністю 402 кВт). Мета полягала в тому, щоб налаштувати міні-теплоенергетичну систему на вироблення приблизно 810 кіловат електроенергії, яка б задовольнила максимальне внутрішнє електричне навантаження котельні.

Вирішальним фактором, що впливає на вибір обладнання, є довговічність і витривалість двигунів в процесі експлуатації. Двигун MWM забезпечує час капітального ремонту до 78 000 годин і загальний термін служби 250 000 годин. Для порівняння, двигуни Caterpillar і MAN забезпечують термін служби 48 000 годин до капітального ремонту і 175 000-195 000 загальних годин роботи відповідно. Капітальні інвестиції, необхідні для кожного комплексу, також є ключовим фактором, причому витрати є відносно порівнянними: MWM — 10 050 050 грн, Caterpillar — 10 200 100 грн, MAN — 10 400 500 грн. Ці оцінки були використані для проведення розрахункових досліджень, які в кінцевому підсумку визначали термін окупності для кожної електростанції виробника, забезпечуючи ретельну оцінку економічної доцільності проекту.

Таблиця 1.1. Розрахунок техніко-економічних показників проекту розширення котельні з установкою ГПД надбудови

Режим роботи котельні	До розширення котельні		Після розширення котельні					
			"MWM"		"MAN"		"Caterpillar"	
	На гаряче водопостачання	На опалення та гаряче водопостачання	На гаряче водопостачання	На опалення та гаряче водопостачання	На гаряче водопостачання	На опалення та гаряче водопостачання	На гаряче водопостачання	На опалення та гаряче водопостачання
Пора року	літо	зима	літо	зима	літо	зима	літо	зима
Природний газ	Параметри палива							
Середня ціна газу, грн/тис. м ³ (без ПДВ)	1387	1387	1387	1387	1387	1387	1387	1387
Електрична потужність споживання, кВт	800	800	250	800	250	800	250	800
Сумарне вироблення теплоти на котельні (відпуск споживачам), Гкал/год	4,2	33,9	4,2	33,9	4,2	33,9	4,2	33,9
Відпускна ціна теплоти без ПДВ для населення, грн/Гкал	312,08	312,08	312,08	312,08	312,08	312,08	312,08	312,08
Відпускна ціна теплоти без ПДВ для бізнесу, грн/Гкал	965,5	965,5	965,5	965,5	965,5	965,5	965,5	965,5
Ціна купівлі електроенергії 2 кл. з мережі без ПДВ, грн/(кВт год)	1,1861	1,1861	1,1861	1,1861	1,1861	1,1861	1,1861	1,1861
Електрична потужність ГПД станції, кВт	-	-	250	800	250	800	250	790
Собівартість електроенергії, грн/(кВт год)	0,0	0,0	0,374	0,231	0,337	0,218	0,346	0,225
Сумарні витрати на ГПД станції, тис. грн/міс	-	-	141,5	280,5	152,2	314,7	153,0	314,3
Собівартість теплоти від ГПД, грн/Гкал	-	-	507,0	314,1	457,0	295,3	469,1	305,0
Середня сума щомісячних витрат по котельному цеху, тис. грн/міс	261	1255	210	697	210	697	210	697
Витрати на паливо в місяць, тис. грн/міс	563,1	4526,3	534,5	4434,9	522,9	4397,9	525,1	4406,4
Собівартість теплоти від котлів, грн/Гкал	196,2	170,4	209,3	159,7	208,3	159,4	208,6	159,5
Місячні витрати на котельні, тис. грн/міс	823,7	5781,3	838	5318	817	5269	821	5281
Фінансові показники котельні за місяць, тис. грн/міс	334	3575	266	3865	264	3843	264	3847
Собівартість теплоти на ТЕЦ, грн/Гкал	196	170	223	163	225	163	225	163
Наведена відпускна ціна теплоти, грн/Гкал	377	377	377	377	377	377	377	377
Прибуток за сезон від виробітку електроенергії власного споживання, тис. грн	0	0	839	3536	877	3587	868	3561
Прибуток за сезон від продажу теплоти, тис. грн	2634	28490	2092	29902	2064	29819	2060	29805
Прибуток за рік, тис. грн	31124		36470		36448		36379	
Капіталовкладення, тис. грн	-		10040		10100		10300	
Простий термін окупності, рік	-		1,9		1,9		2,0	

Розрахунки для цього дослідження ґрунтувалися на припущенні, що 92 відсотків необхідного природного газу буде закуповуватися за тарифами, визначеними для побутового споживання. Різниця у вартості виробництва електроенергії є відносно мінімальною і в першу чергу залежить від ефективності термічного процесу та розподілу витрат між виробництвом електроенергії та тепла. На прикладі котельні було проведено детальний техніко-економічний аналіз. Цей аналіз передбачав використання газопоршневих агрегатів трьох виробників — MWM, MAN і Caterpillar — із встановленою електричною потужністю кожного блоку приблизно 0,85 мегават. Виходячи з результатів, загальна сума інвестицій, необхідних для

реалізації проекту з використанням двох газопоршневих установок, становить приблизно 10,22 мільйона гривень, що відповідає близько 1000 доларів США за кіловат встановленої потужності. Подібність вартості між виробниками пояснюється порівнянною електричною потужністю одиниць, що розглядаються.

Економічна ефективність в першу чергу залежить від навантаження в літній сезон. Літні навантаження визначаються потребою в теплі та споживанням холодоагентів. У поточних цінах кіловат-годину електроенергії в мережі та 988 гривень за тисячу кубометрів природного газу для побутових потреб з використанням двох блоків TCG 2018 V09 C, як очікується, вироблятиме близько 795 кіловат електроенергії протягом зимових місяців. Собівартість виробництва електроенергії в цій конфігурації оцінюється в 0,334 гривні за кіловат-годину, а очікуваний прибуток від виробництва електроенергії для внутрішнього споживання в зимовий період – 3 854 000 гривень. Розрахунковий термін окупності цього проекту становить приблизно 1,91 року.

Результати дослідження показали, що ефективність роботи систем міні-ТЕЦ, оснащених газопоршневими агрегатами MWM, MAN, Caterpillar, не має істотних відмінностей між виробниками.

На наступному етапі досліджень було вивчено потенціал для впровадження принципів когенерації з використанням парових турбін. Для мінімізації капітальних витрат цей варіант розглядався для котелень, де вже працюють парові котли з відповідними параметрами. У таких системах пара, що виробляється котлами дроселюється з початкового діапазону тиску від 1,65 до 3,21 мегапаскалів до 0,21-0,54 мегапаскалів у блоку редукції та охолодження перед подачею в котел. Замінивши блок редукції та охолодження на протитискну парову турбіну, можна виробляти електроенергію, одночасно постачаючи теплову енергію та гарячу воду споживачам. У цьому дослідженні було оцінено доцільність впровадження паротурбінного циклу на районних котельнях шляхом оцінки споживання

палива, вироблення електроенергії, динаміки теплового потоку та використання води.

Показовий приклад впровадження когенерації було продемонстровано на котельні до складу якої входять три парові котли загальною продуктивністю до 205 тонн на годину. Дві установки, моделі NLZ 65/80, виробляють по 62 тонн на годину кожна, а установка DEM-104 може виробляти до 82 тонн на годину. Пара, яку виробляють ці котли, працює за таких параметрів: тиск 1,62 мегапаскалів і температура 354 градусів за Цельсієм.

Крім парових котлів, в котельні також є кілька водогрійних котлів, в тому числі один агрегат ПТВ-101, два агрегати ПТВМ-102 і два агрегати ПТВМ-183. Потреба котельні в електроенергії протягом опалювального сезону становить приблизно 4,05 мегават, з піковим добовим споживанням електроенергії 98 662 кіловат-годин, зафіксованим у січні 2023 року. У літній період споживання електроенергії зменшується до 1,74 мегават з максимальним добовим споживанням 40 512 кіловат-годин, зафіксованих влітку 2023 року.

Аналіз включає комплексні розрахунки техніко-економічних параметрів, необхідних для оцінки доцільності встановлення протитискної парової турбіни на котельні. Результат цієї оцінки чутливий до вартості палива, забезпечуючи науково обґрунтовану основу для потенційного впровадження парових турбін для підвищення загальної ефективності систем централізованого теплопостачання за допомогою когенерації.

Таблиця 1.2. Результати розрахунку технічних показників парової турбіни з протитиском, що може бути встановлено на ТЕЦ

Варіанти	1		2	3	
	Літо	Зима мах	Літо	Літо	Зима мах
Навантаження на турбіну	73%	100%	100%	41%	100%
Параметри пари на вході турбіни:					
- тиск, МПа	1,6				
- температура, °С	350				
Витрати пари через турбіну, кг/с	5,00	6,88	15,88	16,03	38,89
Частка електроенергії на власні потреби	0,03				
Електрична потужність турбіни, що відпускається, МВт	1,77	4,07	5,48	3,74	13,22
Електричний ККД циклу	0,125	0,126	0,126	0,122	0,128
Температура зворотної води, °С	50				
Тепловіст конденсату, що потрапляє у деаератор, кДж/кг	180,1				
Параметри живильної води:					
- тиск, МПа	0,7				
- температура, °С	165				
Кількість теплоти, що отримана з вихлопу турбіни, Гкал/год	9,58	12,73	29,36	20,84	70,09
Втрати теплоти	0,05				
Кількість теплоти, що відпущена споживачам, Гкал/год	8,81	20,19	27,00	19,17	64,49
Питома витрата умовного палива:					
- на відпущення теплоти бруто, кг у.т./Гкал	244,9	244,9	244,9	245,0	244,9
- на виробництво електроенергії бруто, г у.п./кВт	193,8	193,7	193,7	193,8	193,7

Аналіз був зосереджений на трьох різних конфігураціях для впровадження протитискової парової турбіни. Кожна конфігурація була розроблена з різними вихідними цільовими показниками. Перша конфігурація мала на меті задовольнити лише внутрішні потреби електростанції в електроенергії, які оцінювалися в 4,04 мегават взимку та 1,73 мегават влітку. Друга конфігурація була розроблена для збільшення виробництва з урахуванням теплового навантаження влітку в 28 гігакалорій на годину з аналогічним попитом на тепло взимку. Третя конфігурація мала на меті максимізувати вихід пари з двох котлів, NLZ 65/80 і DEM, щоб впоратися з піковим тепловим навантаженням взимку, мінімізуючи навантаження на турбіну влітку. З'єднання протитиску парової турбіни в усіх конфігураціях відповідали тепловій схемі, представленої на наданій схемі.

Переглядаючи результати розрахунків, було зроблено декілька ключових зауважень. У першій конфігурації була обрана турбіна з номінальною електричною потужністю 4.02 МВт. Ця турбіна працює з параметрами пари на вході 1,62 мегапаскаля і температурою 356 градусів за

Цельсієм, з протитиском 0,24 мегапаскаля. Взимку турбіна працює на повну потужність, а влітку її потужність знижується приблизно до 74 відсотків від номінальної. Основна проблема, пов'язана з цією конфігурацією, пов'язана з труднощами із задоволенням літніх потреб електростанції в 1,75 мегават. Ця проблема пов'язана з тим, що котел працює на мінімальному порозі ефективності, коли працює на 31 відсотків номінальної потужності, що для котла відповідає виробленню пари 17.95 тонн на годину.

При розрахунковому споживанні пари 19,62 тонни на годину для турбіни, система генеруватиме приблизно 1,84 мегават електроенергії та постачатиме 8,88 гікакалорії на годину тепла споживачам через систему гарячого водопостачання. Однак, щоб повністю задовольнити теплове навантаження виробництва гарячої води в 24 гікакалорій на годину, необхідно додатково подати 17,29 гікакалорій на годину тепла. Це додаткове теплове навантаження нижче мінімально допустимого експлуатаційного навантаження для котла, що відповідає 28 відсоткам його номінальної потужності або 24 гікакалоріям на годину.

Як наслідок, незважаючи на нижчі інвестиційні витрати, пов'язані з цією першою конфігурацією порівняно з другою та третьою конфігураціями, це неможливо з технічної чи економічної точки зору. Неможливість надійно забезпечити необхідне літнє теплове навантаження та експлуатаційна неефективність, яка виникає в умовах часткового навантаження, роблять цей варіант непрактичним. Обмеження, які накладаються мінімальними експлуатаційними вимогами котла, у поєднанні з недостатньою потребою в теплі влітку, заважають системі функціонувати оптимально, знижуючи як її ефективність, так і загальну життєздатність.

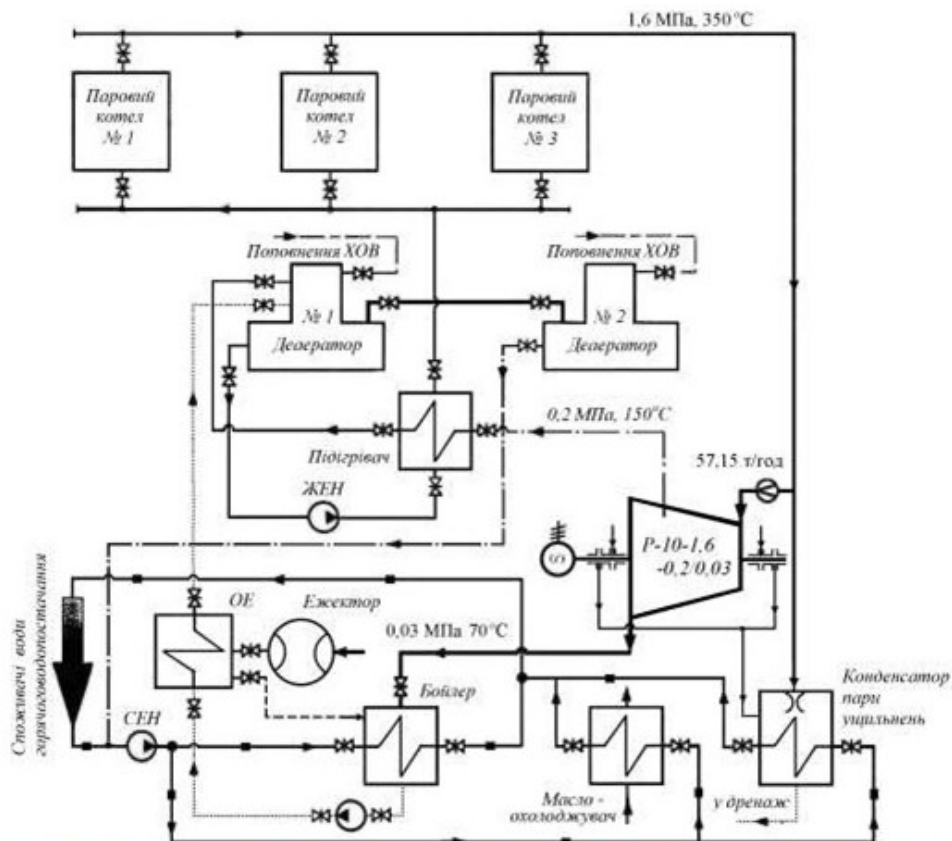


Рис. 1.6. Принципова тепла схема включення на котельні парової турбіни з протитиском 0,03 МПа: СЕН – сітьовий електричний насос; ЖЕН – живильний електричний насос; ОЕ – охолоджувач ежектора; ХОВ – хімічно очищена вода

Друга конфігурація, що розглядається, передбачає установку парової турбіни, яка працює з тими ж параметрами на вході, що й перший варіант, з тиском пари 1,67 мегапаскала і температурою 357 градусів Цельсія. Однак ця турбіна має вищу номінальну потужність — 6.4 мегават, при споживанні пари — 64 тонни на годину. Під час літньої роботи, коли витрата пари на вході турбіни досягає 57,54 тонн на годину, система передає 26 гігакалорій на годину води з температурою 66 градусів Цельсія з котельні в систему гарячого водопостачання. На даний момент витрата пари на підігрів води становить 12,34 тонн на годину. На виході з турбіни вода нагрівається до 162 градусів за Цельсієм, одночасно виробляючи 5,64 мегават електроенергії.

У цьому сценарії одна з котельень забезпечує необхідну пару для роботи турбіни влітку. Зокрема, котли NLZ працюють близько номінального навантаження, тоді як котли DEM працюють приблизно на 74 відсотки своєї

потужності. В опалювальний сезон турбіна може продовжувати працювати з таким же навантаженням, як і влітку. Вироблена надлишкова електроенергія, яка становить до 1,45 МВт взимку і 3,74 МВт влітку, може бути продана в мережу або перенаправлена на тепловий пункт через окрему гілку мережі.

Третя конфігурація передбачає встановлення більшої турбіни потужністю 14.12 мегават і протитиском 0,22 мегапаскаля. Ця турбіна споживає на вході 144 тонн пари на годину, а два котли працюють з однаковими параметрами пари на вході 1,62 мегапаскалів і 355 градусів за Цельсієм. Влітку турбіна працює зі знизеним навантаженням на 42 відсотки, подаючи в систему гарячого водопостачання 27.17 гігакалорій на годину води температурою 66 градусів Цельсія. Одночасно турбіна виробляє 5,42 мегават електроенергії, що досягається шляхом вилучення 12,14 тонн пари на годину та нагрівання живильної води котла до 164 градусів за Цельсієм.

Однак через знизення внутрішнього ККД при частковому навантаженні турбіна П-14 виробляє менше електроенергії влітку порівняно з турбіною П-6. В опалювальний період турбіна П-14 працює з витратою пари до 142 тонн на годину, виробляє до 13,65 мегават електроенергії та віддає оборотну воду з тепловим навантаженням 64,12 гігакалорії на годину. Незважаючи на вищу електричну потужність взимку, знизення продуктивності влітку призводить до більш тривалого періоду окупності цієї конфігурації.

На основі техніко-економічних розрахунків визначено, що найбільш ефективним і раціональним рішенням є встановлення турбіни П-6. Поєднання кращої загальної ефективності експлуатації та більш сприятливого періоду окупності робить цю конфігурацію найбільш оптимальною для реалізації. Детальні показники цих розрахунків наведено у відповідній таблиці.

Таблиця 1.3. Результати розрахунку ТЕП парової турбіни, що може бути встановлена на ТЕЦ

Параметри	1 варіант	2 варіант	3 варіант
Номінальна потужність турбіни, кВт	6000		
Теплотворна здатність природного газу, кДж/м ³	34408,8(8219 ккал/м ³)		
Витрата природного газу, тис.м ³ /год	5,252		
Кількість теплоти, яка підведена в котлі, кВт	44677		
Витрата умовного палива, т у.п./год	7708,2		
Питома витрата умовного палива	7523,3		
- на виробіток електроенергії бруто, г у.п./(кВт*год)	193,7		
Витрата пари, кг/с	16,26		
Комерційна ціна природного газу без ПДВ, грн/тис. м ³	6160		
Ціна природного газу для населення з ПДВ, грн/тис.м ³	1182	2383	3840
Середня ціна природного газу без ПДВ, грн/тис.м ³	1761	2612	3644
Середня ціна умовного палива, грн/тис.м ³	1200	1779,7	2483
Вартість природного газу, грн/год	9250	13718	19138
Сумарні витрати за годину на ТЕЦ, грн/год	11563	17148	22516
Собівартість електроенергії, грн/кВт*год	0,341	0,505	0,663
Кількість теплоти, що відпускається з турбіни, Гкал/год	27		
Собівартість теплоти від турбіни, грн/Гкал	359,2	532,7	699,4
Сумарна річна зміна витрат, тис. грн/рік	28450	23412	14843
- зміна витрат за літо, тис. грн	17275	13915	10685
- зміна витрат за опалювальний сезон, тис. грн	18932	15250	11711
- зміна витрат від подорожання теплоти влітку, тис. грн	-3879	-5753	-7553
- зміна витрат від подорожання теплоти взимку, тис. грн	-3879	-5753	-7553
Сумарні інвестиції, тис. грн	86400		
Простий термін окупності, год	3,0	3,7	5,8

Детальний аналіз результатів показує, що питома витрата палива на виробництво загальної теплової енергії відносно низька. В першу чергу це пов'язано з нижчими параметрами пари, що виробляється котлом, який має знижений ККД порівняно з водогрійними котлами. Зокрема, питома витрата палива на виробництво теплової енергії становить приблизно 246,98 кілограма умовного палива на гікакалорію, що значно перевищує 162 кілограмів на гікакалорію, які спостерігалися до встановлення парової турбіни. Збільшення є відображенням нижчої ефективності процесу виробництва пари, особливо в порівнянні зі звичайним водогрійним котлом.

Що стосується виробництва електроенергії, то питомі витрати палива на виробництво електроенергії помітно зменшуються і становлять 194,75 палива на кіловат-год. Це суттєве покращення порівняно з 325 грамами на кіловат-годину, які спостерігаються при виробництві електроенергії з турбіною К-300. Підвищена ефективність досягається завдяки використанню запропонованого процесу виробництва пари на основі природного газу, який

демонструє помітне збільшення використання енергії. Ці вдосконалення підкреслюють ефективність процесу виробництва електроенергії після встановлення турбіни П-6.

За розрахунковими даними, надлишок електроенергії, вироблений після встановлення турбіни П-6, може досягати до 1,42 МВт влітку і до 3,75 МВт взимку. Цю надлишкову електроенергію можна продати в електричну мережу або перенаправити на теплові станції та інші об'єкти через мережеві служби. Турбіни розраховані на стабільну роботу з однаковим режимом роботи як в літній, так і в зимовий періоди.

На додаток до удосконалення технології традиційної парової турбіни існує потенціал для подальшої оптимізації використання енергії за допомогою впровадження турбообладнання, призначеного для робочих рідин з низькою температурою кипіння. Використовуючи відпрацьоване тепло від вихлопних газів, це обладнання дозволить генерувати додаткову електроенергію, не вимагаючи додаткового споживання палива, тим самим підвищуючи загальну ефективність системи виробництва енергії.

Для визначення найбільш прийняттого варіанту було проведено комплексний аналіз доступних нових ресурсних технологій. Обрана технологія відповідає найвищим стандартам термодинамічної ефективності, експлуатаційної надійності, економічної життєздатності та екологічної стійкості. Цей вибір гарантує, що впровадження нової турбінної системи сприятиме не лише покращенню виробництва енергії, але й досягненню ширших екологічних та економічних цілей.

Таблиця 1.4. Основні властивості хладонів

Хладон	Формула	Молярна маса, г/моль	$T_{к\text{ли}}^{1)}$, °C	$T_{кр}^{2)}$, °C	$P_{кр}^{2)}$, МПа	ОРП ³⁾ (ODP)	ППП ⁴⁾ (GWP)	Вартість за 1 кг, грн
R134a	CF ₂ HCHF ₂	102,03	-22,5	101,10	4,07	0	1300	145
R142b	CH ₃ -CClF ₂	100,5	-10,01	137,05	4,12	0,06	2000	100
R600	C ₄ H ₁₀	58,12	-0,51	152,0	3,8	0	3	147
R600a	C ₄ H ₁₀	58,12	-11,79	134,83	3,65	0	3	165

1) Температура кипіння.

2) Значення параметрів в критичній точці.

3) ОРП – озоноруйнуючий потенціал.

4) PPP – потенціал глобального потепління.

Було проведено ряд розрахункових досліджень для визначення вихідної потужності циклу парової турбіни при застосуванні до вибраних робочих рідин. Ці дослідження стосувалися утилізації відхідного тепла димових газів котлоагрегату. Відповідно до технічних характеристик котла, його навантаження може суттєво коливатися в широкому робочому діапазоні. Ця зміна навантаження котла безпосередньо впливає на температуру та енергетичний вміст димових газів, які є критичними факторами в процесі рекуперації тепла.

Відпрацьовані гази котлоагрегату служать цінним джерелом тепла для системи рекуперації енергії. Залежно від температури димових газів продуктивність системи утилізації тепла, зокрема установки з новою технологією ресурсу, значно змінюється. Ця залежність між температурою газу та продуктивністю системи графічно представлена на малюнках, які демонструють ефективність роботи та потенціал відновлення енергії установки NRT за різних температурних умов.

Результати цих розрахунків забезпечують детальне розуміння того, як коливання навантаження котла та відповідна температура димових газів впливають на загальну ефективність перетворення енергії в циклі парової турбіни. Ці висновки пропонують ключове розуміння оптимізації конструкції та роботи систем рекуперації відпрацьованого тепла для парових турбін, особливо в промислових умовах, де використовуються великі котлоагрегати. Уловлюючи теплову енергію з димових газів і перетворюючи її на корисну енергію, запропонована система може значно підвищити загальну ефективність електростанцій і зменшити споживання палива, сприяючи як економічним, так і екологічним вигодам.

Наведені на рисунку дані свідчать про чітку кореляцію між ефективністю органічного циклу Ренкіна і вихідними термодинамічними параметрами робочої рідини. З підвищенням початкової температури і тиску робочої рідини ефективність системи демонструє відповідне поліпшення. Ця тенденція узгоджується з фундаментальними принципами термодинаміки, де

стани з вищою вхідною енергією призводять до покращення продуктивності циклу.

Розрахунки показують, що навіть коли в систему подається однакова кількість теплової енергії, вихідна потужність обладнання може коливатися в середньому приблизно на 12%. На цю зміну в першу чергу впливають два ключові чинники: теплофізичні властивості обраної робочої рідини та кількість утилізованого відпрацьованого тепла, доступного для перетворення. Різні робочі рідини демонструють різні характеристики теплопередачі, які впливають на ефективність перетворення циклу. У результаті вибір робочого середовища відіграє значну роль у визначенні загальної ефективності.

Крім того, кількість відпрацьованого тепла, отриманого від джерела, впливає на продуктивність системи. Зміни доступної теплової енергії, навіть за однакових умов введення, призводять до змін у процесі відновлення теплової енергії, що додатково впливає на вихід. Ці висновки підкреслюють важливість ретельного вибору робочої рідини та оптимізації системи рекуперації тепла для максимізації ефективності циклу, особливо в програмах, що включають утилізацію відпрацьованого тепла.

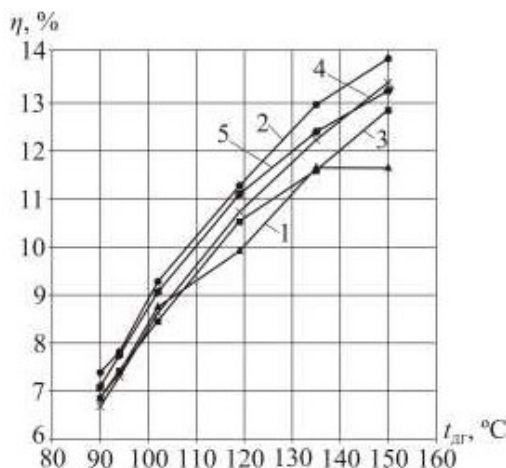


Рис. 1.7. Електричний ККД ORC циклу в залежності від ступеня завантаження котла (без обліку наявності парів вологи в ДГ): 1 – R134a; 2 – R142b; 3 – R152a; 4 – R600; 5 – R600a

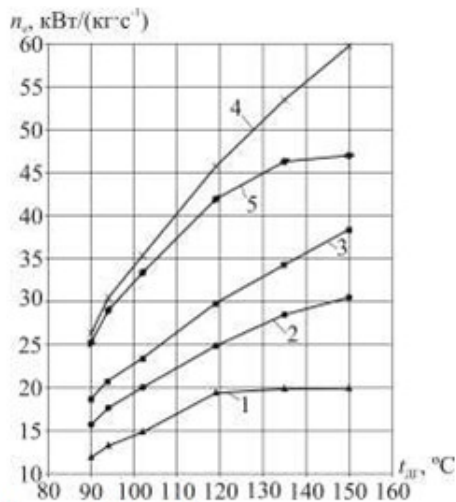


Рис. 1.8. Питома електрична потужність ОРС циклу (без обліку наявності парів води в ДГ): 1 – R134a; 2 – R142b; 3 – R152a; 4 – R600; 5 – R600a

Результати, отримані в результаті аналізу джерел тепла з низьким потенціалом, демонструють універсальну застосовність до різних енергетичних систем, особливо тих, що мають схожі профілі теплогенерації. Ця адаптивність особливо актуальна для водогрійних котелень, де інтеграція технології органічного циклу Ренкіна може значно підвищити енергоефективність.

Було проведено комплексне дослідження щодо оцінки доцільності впровадження технології ОРС у водогрійні котельні. В якості прикладу була обрана конкретна котельня, де детально проаналізовано режими роботи теплогенеруючого обладнання. Дослідження показало, що оптимальної енергоефективності як для окремих котлів, так і для всієї котельні можна досягти, обмеживши навантаження на котел максимум до 61%, підтримуючи при цьому температуру димових газів нижче 118°C.

Виходячи з цих обмежень, два котли були перевірені для роботи взимку протягом шести місяців. Було підібрано відповідні для цих умов експлуатації двигуни, розроблено теплову схему та проведено детальні розрахунки. Отриманий вихід енергії становив у середньому 88 гікакалорій на годину при 42% навантаженні для котла 1 і 48% навантаженні для котла 2.

Теплова утилізація відпрацьованих димових газів: рекуперуючи тепло з димових газів при температурах від 105 до 110°C, система ORC може генерувати до 610 кіловат активної потужності. Ця рекуперація використовує низькотемпературне тепло, що робить його високоефективним способом перетворення теплової енергії, яка інакше витрачається, на придатну для використання електроенергію.

Часткове використання тепла водопровідної води: протягом зимового сезону водопровідна вода, яка використовується для опалення, досягає температури приблизно 105°C. Завдяки інтеграції технології ORC можна використовувати це джерело тепла для виробництва до 735 кіловат активної потужності, що становить близько 32% внутрішніх потреб котельні в енергії взимку. Це виробництво електроенергії досягається за рахунок поєднання частини тепла від нагрітої води в мережі назад у зворотну лінію системи, а також використання залишкового тепла від процесу ORC.

Комбіноване використання тепла вихлопних газів і водопровідної води: коли тепло вихлопних газів і тепло водопровідної води використовуються разом у гібридній системі ORC, загальна вихідна потужність може досягати приблизно 1950 кіловат. Такий підхід забезпечує суттєве підвищення енергоефективності порівняно з використанням кожного джерела тепла окремо та забезпечує понад 72% загальних потреб котельні в енергії. Синергія між цими двома методами рекуперації тепла максимізує використання енергії, забезпечуючи більш комплексне рішення для управління температурою в роботі котлів.

Це дослідження демонструє, що інтеграція технології ORC з існуючими котельними системами не тільки зменшує відпрацьоване тепло, але й забезпечує надійне джерело додаткової електроенергії, сприяючи загальній ефективності системи та зниженню витрат на енергію.

діючого парового турбінного циклу є стратегічним прогресом в управлінні тепловими ресурсами, ефективно підвищуючи економічні показники котельні, одночасно задовольняючи коливальні потреби в теплі протягом року.

Висновок

Проведено комплексний аналіз структури, технічного стану та режимів роботи енергетичного обладнання об'єктів централізованого енергопостачання України. У результаті дослідження визначено методи підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів.

Одна із запропонованих стратегій удосконалення теплогенеруючих підприємств передбачає модифікацію котельних систем міні-комбінованого виробництва тепла та електроенергії, встановлення передових газових турбін та інтеграцію газових турбін малої потужності разом із впровадженням закритих парових турбінних циклів. Як рекомендовано системою органічного циклу Ренкіна. Щоб визначити найбільш відповідні та раціональні рішення, було проведено ретельне техніко-економічне обґрунтування, яке супроводжувалося економічним аналізом щодо впровадження технічної професійної підготовки, розвитку технічних навичок або газопоршневих двигунів.

Проведено порівняльну оцінку щодо впровадження газопоршневих двигунів і газотурбінних установок при переході котелень на когенераційні режими. Отримані дані показали, що для українських підприємств найбільш прийнятним варіантом є використання газопоршневих двигунів. Згодом було оцінено кілька газопоршневих двигунів від різних виробників.

Для вирішення проблеми власної генерації з одночасним підвищенням техніко-економічних показників котельних установок запропоноване рішення передбачає створення надбудови, що включає багатенергетичні газопоршневі двигуни загальною потужністю від 0,85 до 4,2 МВт. Ці міні-котельні здатні ефективно працювати в різних режимах чергування, демонструючи лише незначні варіації теплової ефективності.

Для когенераційних підприємств, які використовують парові котли, ефективним енергозберігаючим рішенням є встановлення парових протитискних турбін. Розрахунки показують, що встановлення парових турбін у поєднанні з паровими котлами сприяє застосуванню когенерації. Очікуваний термін окупності цієї інвестиції становить приблизно 3,8 року. Після впровадження когенерації прогнозується, що надлишок електроенергії становитиме близько 1,45 мегават взимку та 3,72 мегават влітку, який можна продавати в мережу або постачати споживачам з інших секторів.

Інтеграція замкнутого парового турбінного циклу в рамках ORC успішно вирішила проблему підвищення ефективності утилізації тепла відхідних газів для виробництва електроенергії. Проведено оцінку параметрів теплообміну та відхідного тепла при виробленні теплової енергії в міських енергетичних об'єктах, що призвело до визначення найбільш прийняттого робочого тіла з низькою температурою кипіння. Встановлено робочі параметри та режими замкнутого паротурбінного циклу.

При максимальному навантаженні водогрійного котла з повним використанням тепла димових газів вихідна потужність обладнання оцінюється приблизно в 2950 кВт. Обчислювальні дослідження свідчать про те, що найефективнішим підходом є впровадження замкнутого циклу парової турбіни в ORC з електричною потужністю близько 105 кіловат. На сучасному етапі розвитку технологій для таких циклів доцільно підбирати конфігурації, які можуть забезпечити потреби котельні в потужності на рівні 7-15% без необхідності додаткового спалювання палива.

РОЗДІЛ 2. ОПИС АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОГО РІШЕННЯ БУДІВЛІ

2.1. Ситуаційний план

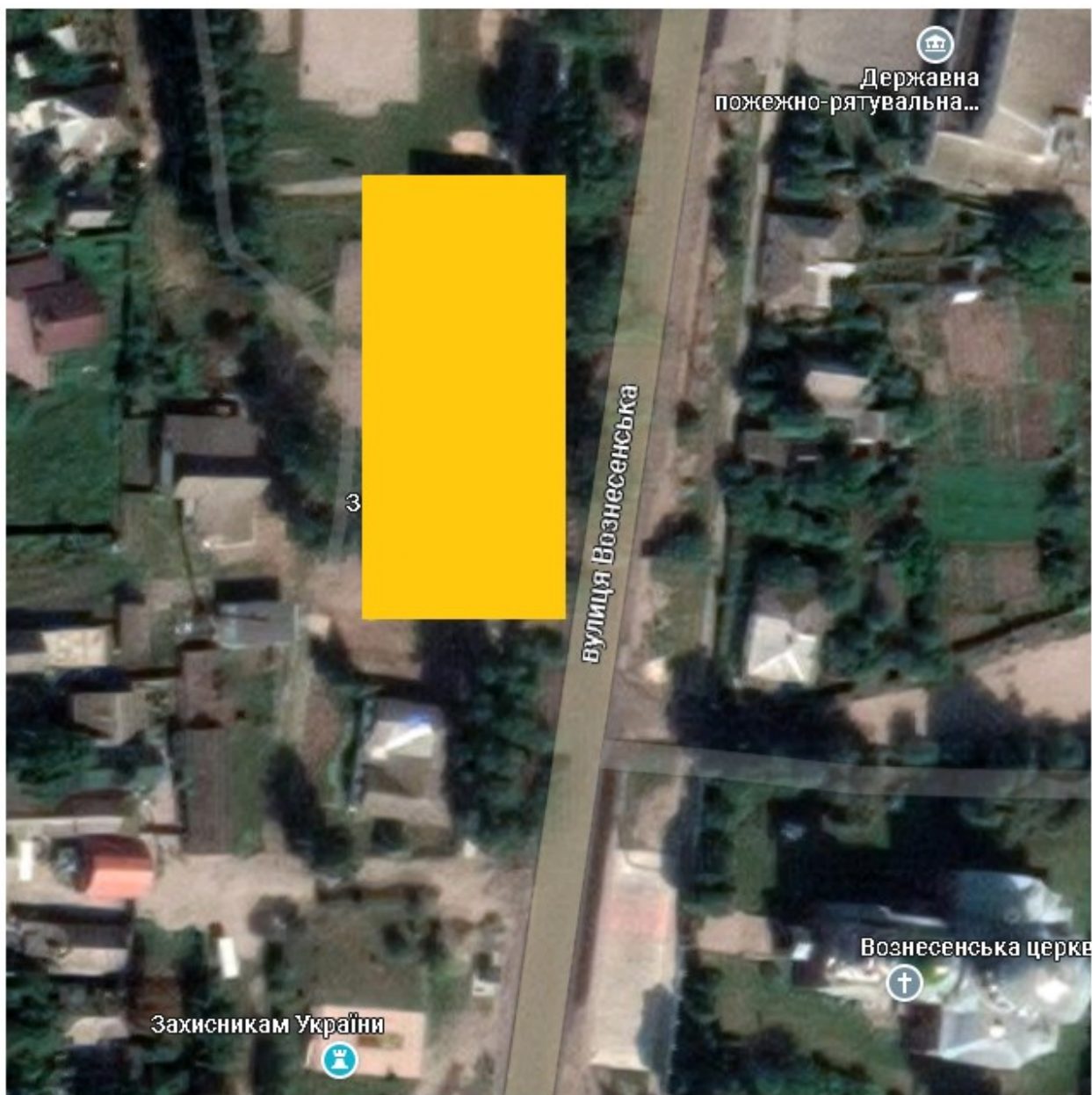


Рис. 2.1. Ситуаційний план

Будівельний майданчик нової школи на вулиці Вознесенській у Тростянці Сумської області поєднує традиції та сучасність. Він розташований поблизу церкви та пожежної частини, що підкреслює безпеку громади. Наявність продуктового магазину та громадського транспорту покращує доступність мешканців. Цей розвиток відображає місто, яке цінує свою спадщину та дивиться у світле майбутнє.

2.2. Об'ємно-планувальне рішення

Будівля школи побудована із застосуванням залізобетонного каркасу, який складається з високоміцного бетону та сталеві арматури. Ця комбінація забезпечує відмінну міцність на стиск, довговічність і стійкість до різних факторів навколишнього середовища, що робить його придатним для навчальних закладів.

Висота будівлі досягає 12,72 метра, ширина – 22,5 метра, довжина – 45 метрів. Він складається з трьох поверхів, висота кожного з яких становить 3 метри, що забезпечує достатню кількість природного освітлення та вентиляцію, що є важливим для створення сприятливого навчального середовища. Бетон, який використовується в каркасі має міцність на стиск 35 МПа, що забезпечує структурну стабільність і безпеку.

У школі також є підвал, у якому можуть бути використані гідроізоляційні мембрани для запобігання проникненню вологи, забезпечуючи сухе та безпечне місце для зберігання та інших функцій.

На території школи буде побудована міні-котельня з використанням енергоефективних систем опалення та матеріалів, таких як ізольовані труби та високоефективні котли, для оптимізації споживання енергії та підтримки комфортного клімату в приміщенні для учнів та персоналу. Така увага до матеріалів та їхніх властивостей сприяє загальній стійкості та довговічності будівлі.

2.3. Архітектурно-конструктивне рішення

Фундаменти та основи

В основі будівлі школи використовуються палеві фундаменти з високоміцного залізобетону з міцністю на стиск 30 МПа. Ця міцність гарантує, що палі можуть ефективно передавати навантаження від верхньої конструкції до глибших, стабільніших шарів ґрунту, таким чином мінімізуючи ризики осідання. Армування досягається за допомогою високоміцних сталевих прутків, які забезпечують міцність на розрив і

пластичність, необхідні для протистояння динамічним навантаженням і факторам навколишнього середовища.

Монолітний ростверк, який з'єднує палі, також виконується із залізобетону товщиною 400 мм, що покращує розподіл навантаження по фундаменту. У цьому ростверку використовується аналогічна бетонна суміш високої міцності, що забезпечує довговічність і стабільність протягом усього терміну служби будівлі.

Щоб вирішити проблему ґрунтових вод, критично важливі заходи з гідроізоляції. На зовнішню сторону фундаментних стін і ростверку накладається високоефективна гнучка гідроізоляційна полімермодифікована бітумна мембрана. Ця мембрана розроблена таким чином, щоб витримувати гідростатичний тиск і має стійкість до проколу щонайменше 500 Н, що гарантує, що вона може ефективно запобігати проникненню води та захищати цілісність основи.

Для теплоізоляції використовуються ізоляційні плити з екструдованого пінополістиролу, які мають теплопровідність приблизно 0,032 Вт/м·К. Ці плити мають високу міцність на стиск близько 300 кПа, що робить їх придатними для фундаментів, де несуча здатність є важливою. Ізоляція розміщена навколо зовнішньої сторони стін фундаменту та під ростверком, щоб мінімізувати втрати тепла та підвищити енергоефективність.

Зовнішні, внутрішні стіни та перегородки

Зовнішні та внутрішні стіни будівлі школи зведені з ненесучих газоблоків, які є різновидом газобетону автоклавного вироблення. Цей матеріал відомий своїми легкими властивостями, високими теплоізоляційними властивостями та чудовою вогнестійкістю.

Зовнішні стіни мають товщину 300 мм, що забезпечує ефективну ізоляцію від передачі тепла, зберігаючи при цьому легкий профіль. Газоблоки мають щільність від 400 до 600 кг/м³, що забезпечує легкість транспортування та монтажу. Завдяки високому термічному опору $R = 4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ стіни допомагають мінімізувати втрати тепла взимку та збільшення

тепла влітку, сприяючи загальній енергоефективності будівлі. Газоблоки є негорючими, мають вогнестійкість до чотирьох годин, що підвищує безпеку шкільного середовища.

Для захисту зовнішніх поверхонь наноситься атмосферостійка штукатурка, що забезпечує додаткову стійкість до зовнішніх впливів і підвищує естетичну привабливість. Цей зовнішній шар також запобігає проникненню вологи, дозволяючи стінам дихати, сприяючи здоровій атмосфері в приміщенні.

Внутрішні стіни, також з ненесучих газоблоків, мають товщину 200 мм. Ці стіни створені для забезпечення ефективної звукоізоляції з рейтингом класу звукопередачі 40 дБ, що зменшує передачу шуму між класними кімнатами та іншими приміщеннями всередині школи. Легкі характеристики газоблоків сприяють легкому монтажу та дозволяють гнучко планувати внутрішні приміщення.

Покрівля

Покрівля будівлі школи виконана у вигляді шатрової конструкції, має похилий дизайн, що сприяє ефективному водовідведенню та підвищує естетичну привабливість приміщення. Каркас даху виготовлено з технічної деревини, зокрема з використанням клеєного бруса. Ці матеріали вибрано через їхнє високе співвідношення міцності до ваги, довговічність і стійкість до викривлення, що робить їх придатними для конструкційних застосувань у покрівлі.

Дерев'яний каркас складається з крокв, розташованих на рівній відстані 600 мм, які підтримують покриття даху та ефективно розподіляють навантаження. Використання обробленої деревини також дозволяє збільшувати прольоти без необхідності проміжних опор, створюючи відкриті та різноманітні внутрішні простори.

Покриття даху складається з високоякісної водонепроникної мембрани, такої як мембрана з термопластичного поліолефіну, яка приклеєна до покрівлі. Ці мембрани відомі своєю довговічністю, стійкістю до

ультрафіолетового випромінювання та гнучкістю, що забезпечує тривалу роботу за різних погодних умов. Мембрана встановлюється в один шар, шви зварюються для створення безперервного водонепроникного бар'єру.

Під водонепроникною мембраною розташований жорсткий ізоляційний шар для підвищення теплових характеристик. Використовуються поліізоціануратні ізоляційні плити, які мають теплопровідність приблизно від 0,022 до 0,028 Вт/м·К. Ці плити допомагають мінімізувати втрати тепла взимку та приплив тепла влітку, сприяючи загальній енергоефективності будівлі. Ізоляцію встановлюють над настилом даху та під водонепроникною мембраною.

Збірка даху завершується відповідною дренажною системою, включаючи жолоби та водостоки, які відводять дощову воду від фундаменту будівлі. Ця система запобігає накопиченню води на поверхні даху, зменшуючи ризик протікання та пошкодження конструкції з часом.

Вікна та двері

Таблиця 2.1. Специфікація віконних отворів

Мар, поз	Позначення	Найменування	Кількість на поверхі				Маса од., кг.	Примітка
			1	2	3	Всього		
1	ВК-1	ВК1385x1670	8	8	8		32	
2	ВК-2	ВК1385x1820	4	4	4		16	

Таблиця 2.2. Специфікація дверних отворів

Мар, поз	Позначення	Найменування	Кількість на поведі					Маса од., кг.	Примітка
			1	2	3	4	Всього		
Д-1	Д.В. 1450x2100	Д-1	2				2		
Д-2	Д.М. 1200x2100	Д-2	3	3	3	3	12		
Д-3	ДО 1200x2100	Д-3	3	3	3	3	12		
Д-4	ДГ 900x2100	Д-4	6	6	6	6	24		
Д-5	Д.Б. 800x2100	Д-5	4	4	4	4	16		
Д-6	ДГ 800з3000	Д-6	11	1 1	1 1	1 1	44		

Покриття підлог

Композитна вінілова плитка — це підлогове покриття для класів і офісів. Кожна плитка має розміри 30 см на 30 см і товщину 2,5 мм. Вініл є міцним, простим у догляді та доступним у різних кольорах та візерунках. Він забезпечує гарне звукопоглинання, покращуючи навчальне середовище.

Керамограніт вибирають для їдалень і ванних кімнат завдяки його водонепроникності та довговічності. Розмір кожної плитки 30 см на 30 см, товщина 9 мм. Цей матеріал не пористий, стійкий до плям і може бути текстурований для захисту від ковзання, що забезпечує безпеку у вологих приміщеннях.

В актовому та спортивному залі використовується гумове покриття для його міцності та ударопоглинання. Випускається в рулонних листах товщиною 10 мм. Цей матеріал не ковзає і ідеально підходить для інтенсивної пішохідної прохідності, забезпечуючи безпеку під час фізичних навантажень.

Для коридорів вибирають лінолеум, відомий своїм натуральним складом і довговічністю. Випускається в листах товщиною 3 мм. Цей

екологічно чистий матеріал є пружним, антимікробним і доступним у різних кольорах, покращуючи зовнішній вигляд коридору, витримуючи інтенсивний рух людей.

Підлога з епоксидної смоли вибирається для технічних приміщень, пропонуючи виняткову міцність і хімічну стійкість. Товщина епоксидної підлоги 4 мм. Цю безшовну поверхню легко чистити та обслуговувати, забезпечуючи гігієнічне робоче місце, і для безпеки її можна зробити стійкою до ковзання.

Зовнішнє і внутрішнє опорядження

Фасад будівлі школи має сучасний і привабливий дизайн. Основним матеріалом фасаду є гладка світла штукатурка, доповнена темною керамічною плиткою, що додає візуального контрасту на рівні цокольного та першого поверхів.

Великі енергоефективні вікна в алюмінієвих рамах підсилюють природне освітлення і відкривають види на околиці, створюючи динамічний візуальний ритм. Вхід підкреслений помітним навісом, що підтримується декоративними колонами, пропонуючи притулок і архітектурну глибину.

Ландшафтні зони з місцевими рослинами та невибагливими до догляду чагарниками фланкують вхід, посилюючи естетичну привабливість. Загалом, фасад поєднує в собі сучасність і функціональність, сприяючи створенню гостинної атмосфери для шкільної спільноти.

Гіпсокартон використовується для оздоблення стін і стелі в аудиторіях і кабінетах. Кожна панель має розміри 120 см на 240 см і має товщину 12,5 мм. Цей матеріал забезпечує гладку поверхню, простий у монтажі та має гарну вогнестійкість. Він також звукопоглинаючий, що сприяє більш тихому навчальному середовищу.

Для стін в їдальні та санвузлах обрано фіброцементну дошку розміром 120 см на 240 см, товщиною 12 мм. Цей матеріал вологостійкий, забезпечує довговічність у вологих приміщеннях і підходить для плитки. Це також підвищує вогнестійкість і структурну стабільність.

Акустичні панелі використовуються для стелі в актовій та спортивній залах. Кожна панель має розміри 120 см на 120 см і товщину 2,5 см. Ці панелі призначені для поглинання звуку, зниження рівня шуму та покращення акустики під час зібрань і заходів. Вони також забезпечують завершений зовнішній вигляд і можуть бути налаштовані в різних кольорах.

Для коридорів використовується фарбований гіпсокартон як для стін, так і для стелі з панелями розміром 120 см на 240 см і товщиною 12,5 мм. Цей матеріал забезпечує гладке, пофарбоване покриття, що покращує естетику коридору, забезпечуючи довговічність і вогнестійкість.

Для оздоблення стін і стелі технічних приміщень вибирають сталеву вагонку розміром панелей 120 см на 300 см і товщиною 1,5 мм. Цей матеріал забезпечує чудову довговічність, стійкість до хімічних речовин і легкість у догляді, забезпечуючи гігієнічне та довготривале середовище для технічних операцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1.7-2016 [Чинний від 2017-06-01]. -К: Держбуд України, 2017. – 84 с. (Національні стандарти України).
2. Благоустрій територій (зі Змінами): ДБН Б.2.2-5:2011 [Чинний від 2012-09-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2019. – 44 с. (Національні стандарти України).
3. Природне і штучне освітлення: ДБН В.2.5-28:2018 [Чинний від 2019-02-28]. -К: Мінрегіонбуд України, 2018. – 7 с. (Національні стандарти України).
4. Склад та зміст проектної документації на будівництво: ДБН А.2.2-3-2014 [Чинний від 2014-10-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2014. – 10 с. (Національні стандарти України).
5. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016 [Чинний від 2016-10-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2017. – 15 с. (Національні стандарти України).
6. Навантаження і впливи. Норми проектування: ДБН В.1.2-2:2016 [Чинний від 2017-10-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2016. – 13-16 с. (Національні стандарти України).
7. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення: ДБН В.2.1-10:2018.
8. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією: ДБН В.2.6-33:2018.
9. Кам'яні та армокам'яні конструкції: ДБН В.2.6-162:2010.
10. Покриття будівель і споруд: ДБН В.2.6-220:2017
11. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Підлоги.
12. Вікна та двері: ДСТУ EN 14351-1:2020.
13. Кошторисні норми України. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Оздоблювальні роботи

14. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5-75:2013.
15. Охорона праці і промислова безпека в будівництві ДБН А.3.2-2-2009: [Чинний від 2012-04-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2012. – 53-54 с. (Національні стандарти України).
16. Організація будівельного виробництва: ДБН А.3.1-5:2016 [Чинний від 2016-01-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2016. – 44-46 с. (Національні стандарти України).
17. Кошторисні норми України «Настанова з визначення вартості будівництва»: [Чинний від 2021-11-09]. -К: Мінрегіонбуд України, 2021. – 44-46 с. (Національні стандарти України).
18. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6-98:2009 [Чинний від 2011-01-01]. -К: Мінрегіонбуд України, 2011. – 45 с. (Національні стандарти України).
19. Методичні вказівки до виконання курсового проекту “Монтаж будівельних конструкцій”, Суми, СНАУ, 2008.
20. Довідково-інформаційний збірник ресурсів та одиничних розцінок на будівельно-монтажні роботи, Суми, СНАУ – 2011 р.
21. Нормування праці та кошториси в будівництві. Суми -«Мрія – 1», 2010, 452 с.
22. Методичні вказівки до виконання курсового проекту “Монтаж будівельних конструкцій” Суми, СНАУ, 2008.